



**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

André Paiva Azevedo

**Título: Contributo da colonização por organismos macrobentónicos na consolidação e resistência mecânica de substratos inertes**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Ecologia

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Pedro Alexandre Faria Fernandes Teixeira  
Gomes

Professor Doutor Eduardo Nuno Borges Pereira

agosto de 2017

## DECLARAÇÃO

Nome: André Paiva Azevedo

Endereço eletrónico: paiva-55@hotmail.com      Telefone: 912162952

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 13900064

Título da dissertação: Contributo da colonização por organismos macrobentónicos na consolidação e resistência mecânica de substratos inertes

Orientadores:

Professor Doutor Pedro Alexandre Faria Fernandes Teixeira Gomes

Professor Doutor Eduardo Nuno Borges Pereira

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Ecologia

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura:

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado apenas foi possível com o apoio, colaboração, dedicação e o acreditar de toda a gente que me rodeou durante esta importante fase da minha vida. A essas pessoas um obrigado.

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Gomes, pelo apoio e pelas oportunidades de novas experiências que tive.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Eduardo Pereira, por toda a disponibilidade prestada, pelo apoio, confiança depositada e por todo o apoio transmitido. Muito obrigado por toda a ajuda e por me ter recebido tão bem no âmbito de uma área tão estranha a mim.

Muito obrigado aos meus amigos e colegas de mestrado pela amizade, companhia, debate de ideias e pelos momentos partilhados.

Ao Hugo Ferreira por toda a amizade, companhia, risos e palermices ao longo de todo este tempo. Muito obrigado pelo teu apoio.

À Catarina Alves, um enorme obrigado por toda a ajuda nesta dissertação. Sem ti, não seria possível. Obrigado pela amizade, pela companhia em todos os momentos, pelo apoio e por todas as conversas e momentos fantásticos ao longo de todo o meu percurso académico.

A todos os meus fantásticos amigos, por todos os bons momentos e por toda a ajuda a ultrapassar esta importante fase.

Aos meus tios José e Andrea por todas as conversas, apoio, carinho e por me terem proporcionado excelentes momentos e oportunidades. Ficarei sempre agradecido.

À Juliana, um agradecimento especial por toda a ajuda, amizade, amor e dedicação mostrados ao longo de todos os anos. Obrigado por me teres sempre apoiado e acreditado em mim, por me acompanhares sempre nos bons e maus momentos. Obrigado por tudo!

Às pessoas mais importantes da minha vida, os meus pais e irmã, obrigado pelas oportunidades de seguir os meus sonhos e por nunca deixarem de acreditar em mim. A vocês tenho de agradecer tudo o que sou hoje e tudo o que conquistarei no futuro, pois os vossos valores e educação irão sempre estar presentes. Muito obrigado por tudo!



# Contributo da colonização por organismos macrobentônicos na consolidação e resistência mecânica de substratos inertes

## Resumo

**Palavras-Chave:** Substratos artificiais; Colonização biológica; Resistência mecânica; Betão.

Em consequência do aumento populacional e das necessidades requeridas pelas sociedades modernas, observa-se uma crescente importância das estruturas artificiais em meio marinho. Em virtude de serem constituídas, na sua maioria, por betão, estas estruturas estão expostas a uma degradação física e química que conduz à redução da sua durabilidade, sendo certo que, quando introduzidas em meio marinho, ficam expostas ao efeito da colonização por parte de organismos.

O presente estudo tem como principal objetivo a avaliação dos processos de colonização em estruturas artificiais de betão, tentando-se compreender quais os fatores que têm repercussão nestes processos e as consequências que podem deter ao nível da durabilidade das estruturas. Com este objetivo, foi desenvolvido um protocolo de amostragem seguindo um esquema de 4 amostragens; 2 texturas; 6 réplicas por amostragem. Os substratos foram introduzidos numa zona intertidal durante um período de exposição de cerca de 9 meses (maio a fevereiro). De modo a garantir a representatividade e a repetibilidade do estudo, foi desenvolvido um protótipo de substrato de colonização, possibilitando a normalização dos testes de exposição em ambiente marinho.

Os resultados da colonização macrobentónica demonstram que as algas do género *Ulva* foram as primeiras colonizadoras, seguindo-se uma maior taxa de colonização por organismos bentónicos até ao final do Verão. A partir da segunda amostragem sobreveio uma diminuição da riqueza e abundância dos organismos macrobentónicos, coincidindo com o aumento da agitação marinha (Outono e Inverno). Na comparação das diferentes texturas, na altura de Primavera e Verão, não ocorrem diferenças ao nível de riqueza e abundância de macrorganismos. Aquando um maior stress abiótico as superfícies rugosas apresentaram maior capacidade de suporte das comunidades macrobentónicas.

Relativamente à resistência mecânica, as diferentes texturas demonstram um mesmo comportamento, aumentando a sua resistência ao longo do tempo, sendo provável que tenha ocorrido um segundo processo de hidratação do betão proporcionado pelo contacto com a água do mar. O aumento de ambas as resistências não foi proporcional, havendo um aumento mais acentuado da resistência de tração à flexão que o da resistência à compressão. Isto permite inferir que terá ocorrido algum processo que conduziu a um aumento da resistência à superfície, podendo esta dever-se ao efeito de macrorganismos colonizadores. No entanto, é necessário mais tempo de imersão dos substratos para se obterem resultados mais conclusivos.



## **Contribution of macrobenthic colonization in the consolidation and mechanical resistance of inert substrates.**

### **Abstract**

**KEYWORDS:** Artificial substrates; Biological colonization; Mechanical resistance; Concrete.

Artificial structures in the marine environment have been increasing over the years due to the population growth and the increasing human needs. These structures are mostly based on concrete and are exposed to physical and chemical degradation factors which lead to the reduction of their durability. When introduced into the marine environment the structures are susceptible to colonization by organisms.

The main objective of this study is to evaluate the colonization processes in concrete artificial structures, understanding which factors influence those processes and the consequences in structures durability. With this objective, a sampling protocol was developed consisting in 4 samplings; 2 textures; 6 replicates for sample. The substrates were introduced in an intertidal zone during an exposure period of about 9 months (May to February). In order to ensure the repeatability of the study, a prototype of colonization substrate was developed, allowing the standardization of the exposure tests in the marine environment.

The results of macrobenthic colonization show that seaweed of the genus *Ulva* was the first colonizer, followed by a higher rate of colonization by benthic organisms until the end of Summer. From the second sampling a decrease in macrobenthic organism's species richness and abundance was observed, coinciding with the increase of marine disturbances (Autumn and Winter). In the comparison of the different textures, at the height of Spring and Summer, showed no differences at the level of macroorganisms. At higher abiotic stress, the rough surfaces presented greater capacity to support macrobenthic communities.

Regarding the mechanical strength, the different textures demonstrate the same behaviour, increasing their resistance over the time, being probable that occurred a second hydration process of the concrete provided by the contact with sea water. The increase of both resistances was not proportional, there being a more pronounced increase in tensile strength at flexion than that of compressive strength. This allows to realize that has occurred some process that has led to an increase in surface resistance, being able due to the effect of colonizing macroorganisms. Nonetheless a longer immersion time of the substrates is required to obtain more conclusive results.





## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xv
<b>CAPÍTULO 1: Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Estruturas Artificiais.....	4
1.1.1. Materiais Constituintes do Betão.....	5
1.1.2. Durabilidade do Betão em Ambiente Marinho.....	7
1.2. Zonas Costeiras.....	8
1.2.1. Zona Intertidal.....	9
1.2.2. Estruturas Artificiais em Zona Intertidal.....	11
1.3. Colonização.....	11
1.3.1. Processo de Colonização.....	11
1.3.2. Propriedades inerentes aos Substratos que Influenciam a Colonização.....	14
1.4. Influências dos Organismos em Estruturas Artificiais.....	14
1.4.1. Biodeterioração.....	15
1.4.2. Efeitos Positivos dos Organismos.....	16
1.5. Objetivos do Trabalho.....	17
<b>CAPÍTULO 2: Materiais e Métodos.....</b>	<b>20</b>
2.1. Substratos.....	22
2.2. Localização.....	25
2.3. Amostragem.....	26
2.4. Avaliações Biológicas e Mecânicas.....	27
2.5. Avaliações Estatísticas.....	30
<b>CAPÍTULO 3: Resultados.....</b>	<b>32</b>
3. Resultados.....	34
3.1. Diferenças das Comunidades de Macrofauna entre Superfícies Lisas e Rugosas.....	34
3.1.1. Riqueza, Abundância, dominância e índice de equitabilidade.....	34

3.1.2.	Diversidade e Equitabilidade .....	36
3.1.3.	Análise de Dissimilaridade .....	37
3.2.	Diferenças das Comunidades de Macrofauna ao Longo do Tempo de Colonização em Superfícies Rugosas.....	37
3.2.1.	Riqueza, Abundância, Dominância e Índice de Equitabilidade .....	37
3.2.2.	Diversidade e Equitabilidade .....	39
3.2.3.	Análise de Dissimilaridade .....	40
3.3.	Área de Cobertura.....	41
3.4.	Avaliação Mecânica.....	42
3.4.1.	Rugosidade .....	42
3.4.2.	Ensaio de Flexão .....	44
3.4.3.	Ensaio de Compressão .....	45
3.4.4.	Comparação entre resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à flexão e raiz quadrada da resistência à compressão.....	47
<b>CAPÍTULO 4: Discussão, Conclusões e Perspectivas Futuras .....</b>		<b>48</b>
4.1.	Discussão .....	50
4.1.1.	Avaliação da Macroflora .....	50
4.1.2.	Comparação entre Superfícies Rugosas e Lisas ao Nível da Macrofauna .....	52
4.1.3.	Avaliação da Macrofauna ao Longo das Amostras .....	53
4.1.4.	Rugosidade .....	54
4.1.5.	Resistência mecânica .....	55
4.1.6.	Conclusões e Perspectivas Futuras .....	57
<b>Bibliografia .....</b>		<b>60</b>
Referências bibliográficas.....		62
Anexo 1 .....		70



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico com a representação da produção Mundial de betão. Adaptado de <a href="http://www.tececo.com/files/newsletters/Newsletter52.html">http://www.tececo.com/files/newsletters/Newsletter52.html</a> . .....	4
<b>Figura 2.</b> Zonação intertidal vertical (Infralitoral, Médiolitoral e Supralitoral). Adaptado de Pearson Prentice Hall, inc (2005). .....	10
<b>Figura 3.</b> Fases de colonização de substratos inertes em meio marinho. Adaptado de (Railkin 2005). 12	
<b>Figura 4.</b> Processo de colonização de larvas e esporos, desde o seu deslocamento para superfícies duras, passando pela ligação temporária ou permanente a estes, até à sua colonização, crescimento, maturação e reprodução de novas larvas ou esporos. Adaptado de (Thomason & Dürr 2010). .....	13
<b>Figura 5.</b> Ilustração dos substratos após a sua montagem. Elaborado com a ajuda do software SketchUp 2017. ....	22
<b>Figura 6.</b> Superfícies lisa sem e com parafina. ....	24
<b>Figura 7.</b> Superfícies rugosa sem e com parafina. ....	24
<b>Figura 8.</b> Localização do local de amostragem na Freguesia de Areosa em Viana do Castelo, Portugal (local exato representado por ponto vermelho). ....	25
<b>Figura 9.</b> Cronologia da amostragem dos substratos entre 30 de maio de 2016 e 16 de fevereiro de 2017. ....	26
<b>Figura 10.</b> Divisão imaginária dos substratos em 8 fragmentos de 12,5% cada. ....	28
<b>Figura 11.</b> Limites transversais e longitudinais utilizados na avaliação da rugosidade. ....	30
<b>Figura 12.</b> Riqueza de espécies em superfícies lisas (L2) e rugosas (R2) na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	35
<b>Figura 13.</b> Abundância de macrofauna entre superfícies lisas (L2) e rugosas (R2) na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	35
<b>Figura 14.</b> Índice de diversidade Simpson entre superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	37
<b>Figura 15.</b> Índice de equitabilidade de Simpson entre superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	37
<b>Figura 16.</b> Análise de agrupamentos (Cluster) numa matriz de distância entre as 6 amostras das superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, utilizando a distância de Bray-Curtis como medida de similaridade. ....	37

<b>Figura 17.</b> Riqueza de espécies ao longo das amostragens (R2 – Rugosas 2 <sup>a</sup> Amostragem; R3 – Rugosas 3 <sup>a</sup> Amostragem; R4 – Rugosas 4 <sup>a</sup> Amostragem), em que (a, b) representam diferenças estatisticamente significativas. ....	38
<b>Figura 18.</b> Abundância de macrofauna ao longo das amostragens (R2 – Rugosas 2 <sup>a</sup> Amostragem; R3 – Rugosas 3 <sup>a</sup> Amostragem; R4 – Rugosas 4 <sup>a</sup> Amostragem), em que (a, b) representam diferenças estatisticamente significativas. ....	38
<b>Figura 19.</b> Índice de diversidade Simpson ao longo das amostragens das superfícies rugosas, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	40
<b>Figura 20.</b> Índice de equitabilidade de Simpson ao longo das amostragens das superfícies rugosas, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas. ....	40
<b>Figura 21.</b> Análise de agrupamentos (Cluster) numa matriz de distância entre as 9 réplicas das superfícies rugosas ao longo do tempo de amostragem, utilizando a distância de Bray-Curtis como medida de similaridade. ....	40
<b>Figura 22.</b> Superfícies com o nível máximo de cobertura por cada amostragem. ....	41
<b>Figura 23.</b> Rugosidade das superfícies lisas (mm). ....	43
<b>Figura 24.</b> Rugosidade das superfícies rugosas (mm). ....	43
<b>Figura 25.</b> Esquema representativo do ensaio de resistência à flexão, em que "A" representa o local onde ocorre fendilhação. ....	44
<b>Figura 26.</b> Esquema da flexão da secção "A" nos provetes de controlo e colonizados, onde a rotura se dá por tração. ....	44
<b>Figura 27.</b> Valores da resistência à flexão. ....	45
<b>Figura 28.</b> Esquema representativo do ensaio à compressão nos provetes da primeira amostragem. ....	46
<b>Figura 29.</b> Esquema representativo do ensaio à compressão "prensa hidráulica nas 3 últimas amostragens. ....	46
<b>Figura 30.</b> Valores da resistência à compressão. ....	46
<b>Figura 31.</b> Correlação raiz quadrada da resistência à compressão vs resistência à flexão. ....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Número de substratos recolhidos ao longo das várias amostragens.....	27
<b>Tabela 2.</b> Níveis de percentagem de cobertura designadas para as superfícies em estudo. ....	28
<b>Tabela 3.</b> Riqueza de espécies e abundância de indivíduos por Filo entre superfícies rugosas e lisas. 36	
<b>Tabela 4.</b> Exclusividade e partilha de espécies entre superfícies rugosas e lisas.....	36
<b>Tabela 5.</b> Riqueza de espécies e abundância de indivíduos por Filo ao longo das amostragens de superfícies rugosas.....	39
<b>Tabela 6.</b> Exclusividade e partilha total de espécies ao longo das amostragens de superfícies rugosas. ....	39
<b>Tabela 7.</b> Níveis de cobertura da área das superfícies (rugosas e lisas) ao longo das amostragens.....	42
<b>Tabela 8.</b> Abundância de organismos por espécie e seu total por Filo ao longo do tempo em superfícies lisas e rugosas. ....	70
<b>Tabela 9.</b> Valores de rugosidade transversal (TL) e longitudinal (LL) das superfícies lisas (Ra - rugosidade média; Rq - desvio quadrático médio; Rv – valor máximo dos vales; Rp – valor máximo dos picos; Rt – valor máximo do perfil analisado).....	72
<b>Tabela 10.</b> Valores de rugosidade transversal (TR) e longitudinal (LR) das superfícies rugosas (Ra - rugosidade média; Rq - desvio quadrático médio; Rv – valor máximo dos vales; Rp – valor máximo dos picos; Rt – valor máximo do perfil analisado).....	72



## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

---

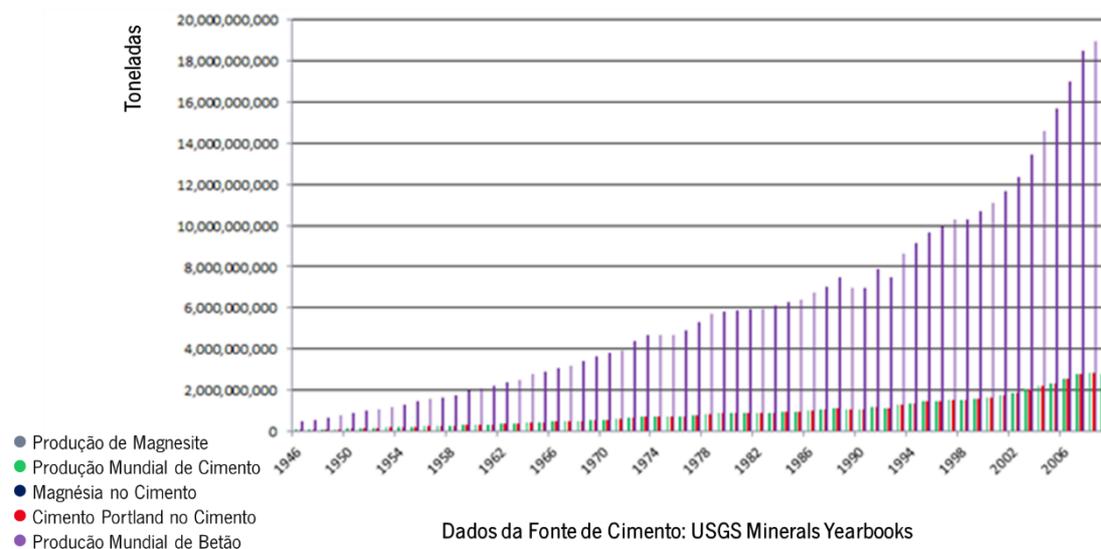




## 1.1. Estruturas Artificiais

São consideradas estruturas artificiais (EA) quaisquer tipos de objetos ou construções que sejam colocados pelo homem no meio natural, com vista a alterar as características morfológicas ou funcionais de um ou mais componentes desse meio, para facilitar a deslocação do homem através deste ou para propiciar a exploração de determinados espaços. São disso exemplo os açudes, pontes, socalcos, paredões, barragens, molhes, quebra-mares, tubagens, entre outros (Baine 2001; Metha 2003; Pereira 2016). Tradicionalmente, na construção de EA de forma voluntária eram utilizados materiais de origem natural, nomeadamente pedras e madeira, embora já na antiguidade fossem usados materiais compósitos na construção de molhes e quebra-mares, de que é exemplo da utilização pelos romanos de blocos feitos de mistura de pedra moída, argila e cinzas (Carvalho 2008; Oleson et al. 2006; Oleson et al. 2004; Torgal 2010). Adicionalmente, outros objetos colocados em meio marinho de forma involuntária pelo homem podem também ser considerados como EA, tais como certos tipos de lixo (pneus usados, embalagens, etc.).

Atualmente a grande maioria das estruturas artificiais é construída a partir de materiais também artificiais, tais como metal, vidro, borracha, plástico rígido, betão e fibra de vidro, sendo o betão o mais utilizado na construção de EA (Langhamer et al. 2009; King et al. 1990; Acheampong et al. 2013). A utilização do betão para esta finalidade acompanha uma tendência global de acentuado crescimento da sua aplicação generalizada, de que é reflexo a evolução da produção de betão, que tem vindo a apresentar um aumento considerável ao longo dos anos (figura 1).



**Figura 1.** Gráfico com a representação da produção Mundial de betão. Adaptado de <http://www.tececo.com/files/newsletters/Newsletter52.html>.

As razões que justificam a utilização frequente deste material são a sua versatilidade, durabilidade, sustentabilidade, estabilidade e facilidade em adaptar-se a qualquer geometria. O betão tem também a vantagem de ser economicamente mais vantajoso e de ter uma composição variável (Spagnolo et al. 2014; Langhamer et al. 2009; Dupray et al. 2010).

### **1.1.1. Materiais Constituintes do Betão**

O betão convencional é tipicamente composto por uma mistura proporcionada de 4 constituintes: agregados finos tais como as areias, com tamanhos entre 75 $\mu$ m e 5 mm; agregados grossos tais como o cascalho, com tamanhos compreendidos entre os 5mm e 37mm; água; cimento Portland. Os agregados representam entre 60% a 75% do volume total, enquanto que a água representa entre 14% a 21%, e o cimento entre 7% a 15%. O cimento é misturado com a água, formando uma pasta à qual são adicionados os agregados, resultando numa amassadura que seca e endurece devido às reações de hidratação do cimento. À pasta podem ainda ser acrescentadas adições (pozolanas, cinzas ou *filleres*) e adjuvantes, os quais não podem representar mais de 5% do volume total. A amassadura contém ainda ar, até cerca de 8%, o qual pode ser adicionado propositadamente ou ter ficado retido durante o processo de mistura (Gerwick 1992; Barbosa 2013; Acheampong et al. 2013).

- **Água**

A água é um constituinte fundamental do betão, propiciando a formação da pasta durante o estado fresco e possibilitando as reações químicas que conduzem à formação dos produtos de hidratação do cimento, durante o seu endurecimento, conferindo ao betão a resistência e a rigidez característica. A pasta formada tem a função de unir todos os agregados de diferentes dimensões (Barbosa 2013). Diferentes tipos de água poderão ser utilizados, desde água do mar a água potável, ainda que existam condicionantes especiais nos casos em que se utiliza betão armado. A quantidade de impurezas vai depender do tipo de água utilizada, interferindo no tempo de endurecimento, resistência e estabilidade volúmica (Ferreira 2000; Metha 2003).

- **Cimentos Hidráulicos**

Os cimentos hidráulicos são definidos como cimentos que endurecem quando reagem com a água, formando um produto resistente à mesma. Estes são constituídos por pós finos, aglomerando uma grande quantidade de agregados e proporcionando uma elevada resistência mecânica e coesão (Metha 2003; Barbosa 2013).

O cimento Portland é um pó fino que adquire propriedades aglutinantes quando hidratado. Este é composto essencialmente por silicatos de cálcio e é produzido através da pulverização de clínquer (mistura mineral de óxidos de cálcio, sílica, alumínio e ferro) com uma pequena quantidade de carbonato de cálcio e argilas. Este cimento confere proteção contra a corrosão das armaduras devido à sua elevada alcalinidade (Metha 2003; Barbosa 2013; Ferreira 2000).

### **Agregados**

Os agregados naturais constituem o tipo de agregados mais importante na composição do betão, derivando de diferentes tipos de rocha, e sendo compostos por diferentes tipos de minerais. Gravilha siliciosa ou rocha britada são as fontes mais comuns dos agregados grossos, ao passo que a areia siliciosa predomina nos agregados finos. Os agregados representam a maior parte da composição do betão e têm repercussão na sua trabalhabilidade, o seu peso volúmico, a sua rigidez e a sua estabilidade dimensional. As propriedades físicas dos agregados, tais como a forma e o tamanho das partículas, o volume e a distribuição dos vazios dentro de uma partícula, vão ter uma grande efeito na estrutura do betão (Metha 2003).

- **Adições**

As adições são materiais incorporados no cimento que contribuem para o desenvolvimento das propriedades do betão através da atividade hidráulica e/ou pozolânica (materiais siliciosos ou aluminosiliciosos). Os materiais hidráulicos e os materiais pozolânicos reagem através de reações químicas. Os materiais hidráulicos reagem com a água formando compostos cimentícios, enquanto que os materiais pozolânicos reagem com o hidróxido de cálcio formando hidrato de silício e de cálcio, e com outros compostos cimentícios (Barbosa 2013).

Em geral podem-se distinguir dois tipos de adições: as químicas e as minerais. As adições químicas reagem no sistema cimento-água, quer afetando a tensão superficial da água e adsorvendo à superfície das partículas de cimento, quer ionizando na água e acelerando ou retardando a solução de minerais do cimento durante a hidratação. As adições minerais são finamente moídas e insolúveis, derivadas de fontes naturais ou industriais e influem as propriedades de endurecimento do betão através do seu pequeno tamanho e lenta reação química (Metha 2003). Exemplos destas adições são as cinzas volantes, as escórias de alto-forno, a sílica de fumo e as pozolanas naturais, como o xisto calcinado, o metacaulino ou outras argilas calcinadas (Barbosa 2013).

- **Adjuvantes**

Os adjuvantes são produtos químicos que geralmente se apresentam na forma líquida, permitindo a alteração das propriedades do betão recém-misturado ou endurecido. Estes produtos químicos facilitam a produção de betões com características específicas conforme as necessidades de cada aplicação. Permitem deste modo alcançar e melhorar determinadas propriedades do betão, obter fórmulas mais económicas, melhorar certos défices que os minerais possam ter e facilitar o transporte, a colocação, a compactação e o acabamento. Alguns exemplos de funções dos adjuvantes são o ajuste do tempo de presa, a redução da necessidade de água, o aumento da trabalhabilidade, a introdução de ar, o aumento da tensão inicial de rotura, entre outros (Barbosa 2013).

- **Ar**

A quantidade de ar introduzida no betão afeta várias das suas propriedades. Por exemplo, a introdução de ar no betão é utilizada como forma de viabilizar o aumento da durabilidade do betão exposto a variações de temperatura. Estas variações podem provocar ciclos de congelamento e descongelamento da água presente nos poros, podendo levar à desintegração do betão. Com a introdução do ar o betão torna-se mais poroso. A estrutura descontínua de poros forma uma reserva de espaço onde o gelo se pode formar sem interferir na estrutura do betão, reduzindo a circulação dos fluidos através destes mesmos poros (Barbosa 2013). O ar está naturalmente presente nos vazios do betão endurecido, sendo certo que esta presença resulta do ar introduzido durante a amassadura e da evaporação parcial de água da amassadura (Barbosa 2013).

A introdução deliberada de microbolhas de ar pode também servir para reduzir a necessidade de adição de água, para aumentar a trabalhabilidade da mistura enquanto no estado fresco. Pode também proporcionar um melhor manuseamento e acabamento, reduzir a exsudação, modificar a estrutura dos poros conferindo baixa permeabilidade, e aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo (Barbosa 2013).

### **1.1.2. Durabilidade do Betão em Ambiente Marinho**

A durabilidade do betão, em geral concebido recorrendo ao cimento Portland, consiste na sua capacidade para resistir à meteorização, abrasão, ataque químico ou outros processos de deterioração que põem em causa a sua capacidade para permanecer com a sua forma original, qualidade e objetivo quando exposto ao ambiente de serviço definido para a sua utilização. Os problemas de durabilidade

normalmente surgem associados à deterioração dos materiais que compõem o betão, devendo-se a fatores externos ou causas inerentes ao próprio betão (Hughes 2014). Pese embora se verifique uma deterioração inicial, frequentemente os danos estruturais não se fazem sentir de imediato, não comprometendo a estrutura. No entanto, o seu efeito é progressivo e tende a agravar-se com o tempo, colocando a estabilidade das estruturas em risco. Os fatores externos podem ser de natureza física, química ou mecânica, tais como reações alcalinas com os agregados, ataque por sulfatos, corrosão do aço e processos de congelamento-descongelamento. A maioria dos casos de degradação do betão resulta do efeito combinado de fatores ambientais e de carga (Tang et al. 2015).

O betão em ambiente marinho está sujeito a condições muito exigentes em termos de exposição ambiental, constituindo a vida útil e a fiabilidade estrutural fatores cruciais. Neste tipo de ambiente, o betão não só se encontra sujeito a ataques por parte da água com elevada concentração de sais, como também do impacto contínuo da ondulação e da ação abrasiva por parte de cargas suspensas no meio aquoso (Hughes 2014).

Os mecanismos de deterioração e consequente durabilidade das estruturas de betão em ambiente marinho vão depender da sua localização. A zona intertidal é um local onde diversos mecanismos atuam, tais como a colisão, abrasão e erosão causadas pela ondulação, marés e organismos. Esta zona é a zona mais agressiva quanto à exposição de substratos, resultando na deterioração dos substratos. (Tang et al. 2015; Safedian & Ramezaniyanpour 2013). Agravando todos estes efeitos, a propagação de fendas, inicialmente de abertura reduzida, é amplificada por todos os efeitos anteriormente descritos. A ocorrência de uma fenda, inicialmente diminuta, derivada de uma das ações anteriormente descritas, acarreta a formação de produtos expansivos devido ao ataque de sulfatos no seu interior, o que redundará num aumento acentuado da sua abertura e na sua propagação de forma descontrolada, resultando numa redução drástica da durabilidade (Tang et al. 2015; Hughes 2014; Ramakrishnan et al. 2005).

## **1.2. Zonas Costeiras**

Os ecossistemas costeiros são regiões de uma grande produtividade biológica e de grande acessibilidade. Em resultado, constituem importantes centros de atividade para as populações, fornecendo uma elevada diversidade de bens e serviços. A zona costeira delimita-se entre o limite da plataforma continental e o limite dos terrenos emersos desde a última transgressão marinha (Burke et al. 2001; Atilla et al. 2003).

As zonas costeiras albergam cerca de 75% da população humana, levando a uma proliferação de estruturas artificiais para desenvolvimento da urbanização, atividades portuárias, fins recreativos, etc. (Atilla et al. 2003)

### **1.2.1. Zona Intertidal**

A zona intertidal representa a menor parte de toda a área de oceanos da superfície terrestre. No entanto acomoda uma enorme diversidade biológica, bem como a maioria das EA encontradas em meio marinho (Pour et al. 2013). É caracterizada por uma faixa relativamente estreita, onde o mar se encontra com a terra, providenciando a maior diversidade de habitats para os organismos marinhos.

Os diversos tipos de zonas intertidais estão expostos a fatores como a ondulação, correntes oceânicas, sedimentação, salinidade e variação da temperatura. Estes fatores têm influência na distribuição temporal, espacial e nas interações das comunidades bióticas e na durabilidade das EA. (Crowe et al. 2000; Thompson et al. 2002).

A zona intertidal é caracterizada por um gradiente de emersão/dissecação, dependente da duração dos períodos de maré e que determina o tipo de comunidades existentes numa praia. A esse gradiente soma-se o efeito da intensidade da ondulação (que determina o maior ou menor grau de exposição desta) e ainda o tipo de substrato (rochas, areia, silte, argila, etc.) (Knox 2000). Esse gradiente, que tem representação tanto horizontal como vertical, é condicionado pela disponibilidade de água resultante dos períodos de emersão/dessecação, bem como por fatores biológicos (predação e competição), químicos (salinidade e nutrientes) e físicos (exposição à ondulação, marés, temperatura, etc.). Este define três zonas distintas: supralitoral, delimitada pelo nível máximo de maré alta e pelo limite superior da influência dos salpicos; médiolitoral, delimitada pelo nível máximo de maré alta e o nível mínimo de maré baixa; e infralitoral, delimitada pelo limite inferior do médiolitoral até ao desaparecimento das macroalgas (Raffaelli, D. & Hawkins 1999; Knox 2000; Boaventura 2000). A interface entre água e ar e a ondulação e exposição a esta leva a uma distribuição das comunidades biológicas ao longo do gradiente, conforme a sua capacidade para lidar com os diferentes tipos de fatores (físicos, químicos e biológicos). Isto origina uma diversidade de condições de stress ao nível da alimentação, dessecação, térmicos, etc. (Knox 2000; Raffaelli, D. & Hawkins 1999).

O tipo de organismos que colonizam estas áreas é normalmente determinado pela exposição à ondulação e ao ar, pela profundidade da água e pela estabilidade do substrato, estando sujeitos a condições exigentes (Gustavon 2010). A zona supralitoral, que raramente se encontra submersa, alberga

organismos capazes de resistir à dinâmica emersão/imersão. Esta zona é caracterizada pela presença de um número reduzido de espécies, possuindo estas a capacidade de adaptação a condições semiáridas e apresentando corpos duros e fortes mecanismos de fixação. Os organismos mais comuns são líquenes incrustantes, e pequenos gastrópodes e isópodes (Knox 2000). A zona médiolitoral apresenta condições mais estáveis, sendo caracterizada pela presença de diversas espécies de organismos e algas. Os organismos mais comuns são cracas e gastrópodes carnívoros (lapas, búzios, quitones, mexilhões, poliquetas, etc.) e ainda diversas espécies de algas (*Corallina spp.*, *Mastocarpus stellatus*, etc.). A zona infralitoral, que apresenta menor stress abiótico, é caracterizada por uma grande diversidade de algas e organismos que raramente se encontram expostos. As algas mais comuns são *Laminaria spp.*, *Saccorhiza solyschides*, *Ulva sp.*, etc... Já os organismos mais comuns são equinodermes (*Paracentrotus lividus*), poliquetas (*Sabellaria alveolata*) entre outros (Knox 2000) (figura 2).

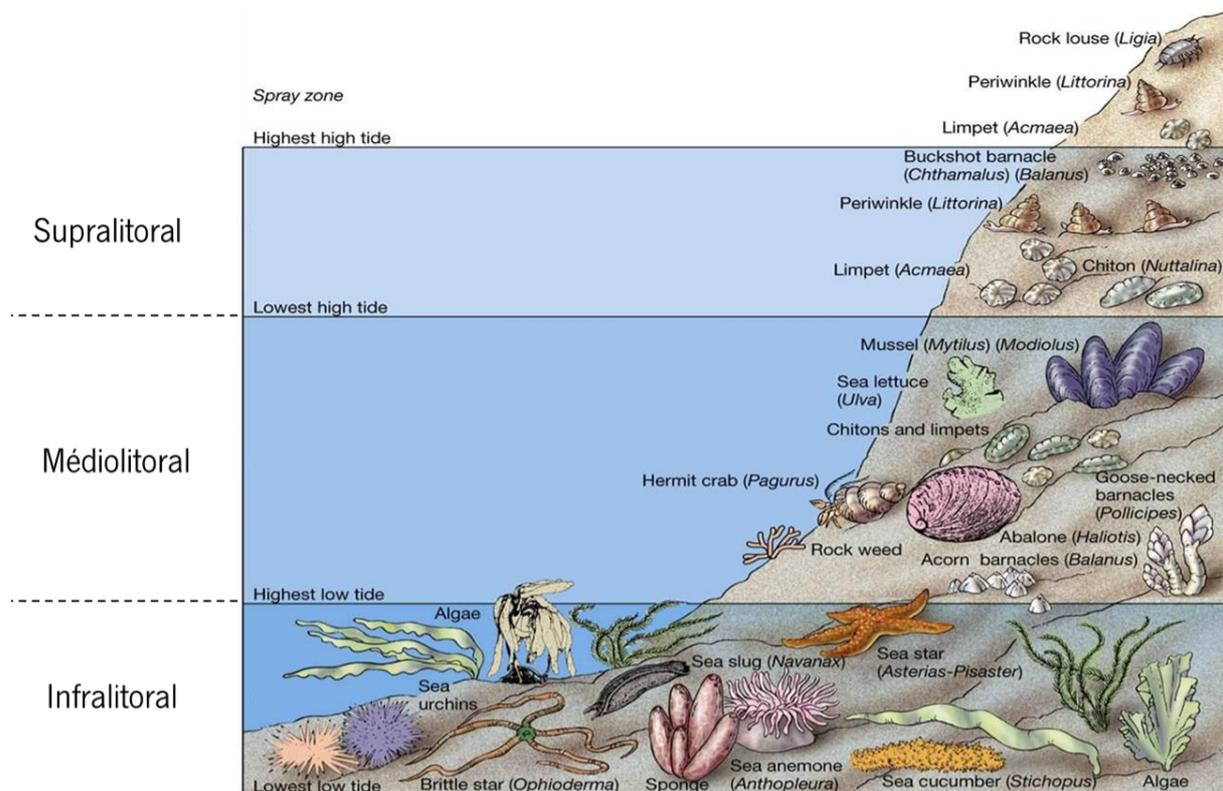


Figura 2. Zonação intertidal vertical (Infralitoral, Médiolitoral e Supralitoral). Adaptado de Pearson Prentice Hall, inc (2005).

Nas zonas intertidais rochosas é comum a presença de poças de maré, as quais constituem habitats especiais distribuídos de forma irregular (Huggett & Griffiths 1986). Estas são habitats isolados, compostos por depressões com limites bem definidos, mantendo-se submersos durante todo o ciclo de

maré. As comunidades biológicas destes locais diferem daquelas que compõem as rochas emergentes, apresentando uma elevada variabilidade e abundância. Esta variabilidade deve-se à interação de fatores físicos inerentes às poças (profundidade, volume de água, temperatura, tamanho e posição no intertidal), químicos (pH, salinidade e oxigênio) e biológicos (sucessão, competição, predação e alimento) (Firth et al. 2014; Wallenstein et al. 2010; Martins et al. 2007; Araújo et al. 2006).

Estes habitats providenciam refúgio e local de alimentação para um grande número de organismos, afetando a forma como estes se comportam e se distribuem na zona intertidal (White et al. 2015; Wallenstein et al. 2010; Araújo et al. 2006; Firth et al. 2014).

### **1.2.2. Estruturas Artificiais em Zona Intertidal**

As zonas intertidais oferecem uma combinação única de habitats em resultado da sua exposição a variadas pressões abióticas como a ondulação, a temperatura e a sedimentação, levando à ocorrência de diferentes efeitos nas estruturas artificiais. Estes fatores afetam diretamente estas estruturas, provocando danos decorrentes da intensidade da ondulação, dos ciclos térmicos de amplitude acentuada, da erosão devido à colisão das partículas movimentadas por parte da ondulação e marés, e dos processos de oxidação/redução consequentes da acumulação de sedimentos. Todos estes fatores afetam diretamente a durabilidade das estruturas e a sua condição estrutural (Tang et al. 2015; Silva & Naik 2013).

Outros fatores que podem influenciar as estruturas artificiais são fatores bióticos como a colonização por parte de macroinvertebrados e algas (Silva & Naik 2013; Hari et al. 2011; Jayakumar & Saravanane 2010).

## **1.3. Colonização**

A colonização em geral consiste num processo de propagação sobre um novo território. O termo *Biofouling* é usado para designar o processo de colonização de superfícies duras por organismos vivos em meio aquático (Railkin 2005; Wahl 1989).

### **1.3.1. Processo de Colonização**

O processo de colonização de superfícies inertes compreende 4 fases: (i) absorção de moléculas e iões; (ii) colonização bacteriana (procariotas); (iii) colonização unicelular eucariótica (diatomáceas, flagelados, amebas e ciliados) e (iv) recrutamento eucariótico multicelular (larvas e esporos de algas)

(Wahl 1989; Thomason & Dürr 2010; Railkin 2005). Tal como representado na figura 3, a primeira e a quarta fase são, respetivamente, de natureza exclusivamente física e biológica, já a segunda e a terceira são a combinação dos dois processos (Railkin 2005; Wahl 1989). Na primeira fase (i), a absorção das macromoléculas surge numa fração de segundos, desde o instante em que a superfície ou substrato entra em contacto com a água (Cooksey & Wigglesworth-Cooksey 1995; Evans 2005). Na segunda fase (ii), as bactérias são os primeiros organismos a colonizar as superfícies e a celeridade a que este processo ocorre depende das substâncias orgânicas, inorgânicas e dos iões absorvidos pelas superfícies imersas. Na terceira fase (iii), sucede a colonização de organismos eucariontes unicelulares, dando início a uma fase autotrófica, que tem uma importante função no ciclo biogeoquímico. Quer as bactérias quer as diatomáceas vão constituir os principais componentes do biofilme (Salta et al. 2013). Estas três primeiras fases constituem a fase do *microfouling* (Railkin 2005; Dang & Lovell 2016). Na quarta fase (iv), manifestam-se fatores que têm um papel determinante na inibição ou promoção do *macrofouling*, tais como: químicos (segregação de sinais metabólicos e disponibilidade de nutrientes), biológicos (competição, predação, herbivorismo e cooperação), físicos (forças hidrodinâmicas, propriedades dos substratos, clima e sazonalidade) e fases anteriores (processo de colonização inicial) (Dang & Lovell 2016; Thomason & Dürr 2010). Nesta fase, as larvas e os esporos vão ser atraídos ou repelidos para os substratos, conforme as condições anteriores (Evans 2005; Thomason 2010; Cooksey & Wigglesworth-Cooksey 1995).

Segundo Wahl (1989), as 4 fases do processo de colonização surgem num curto intervalo de tempo, sendo que a primeira, tal como referido anteriormente, sobrevem num espaço de segundos, desde a introdução do substrato na água. Já a segunda fase sucede no espaço de 1 hora, a terceira fase no espaço de um dia e a quarta após uma semana.

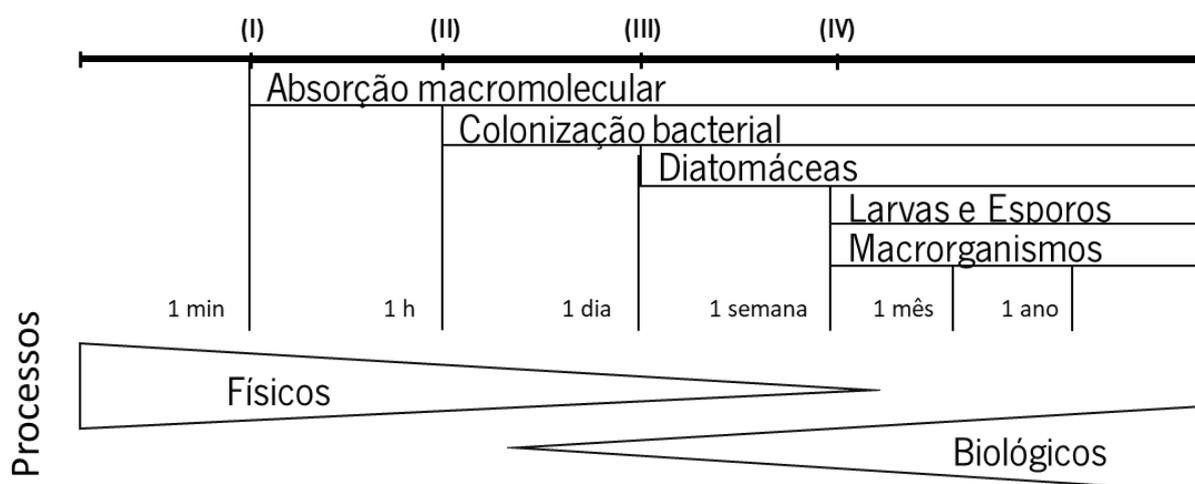
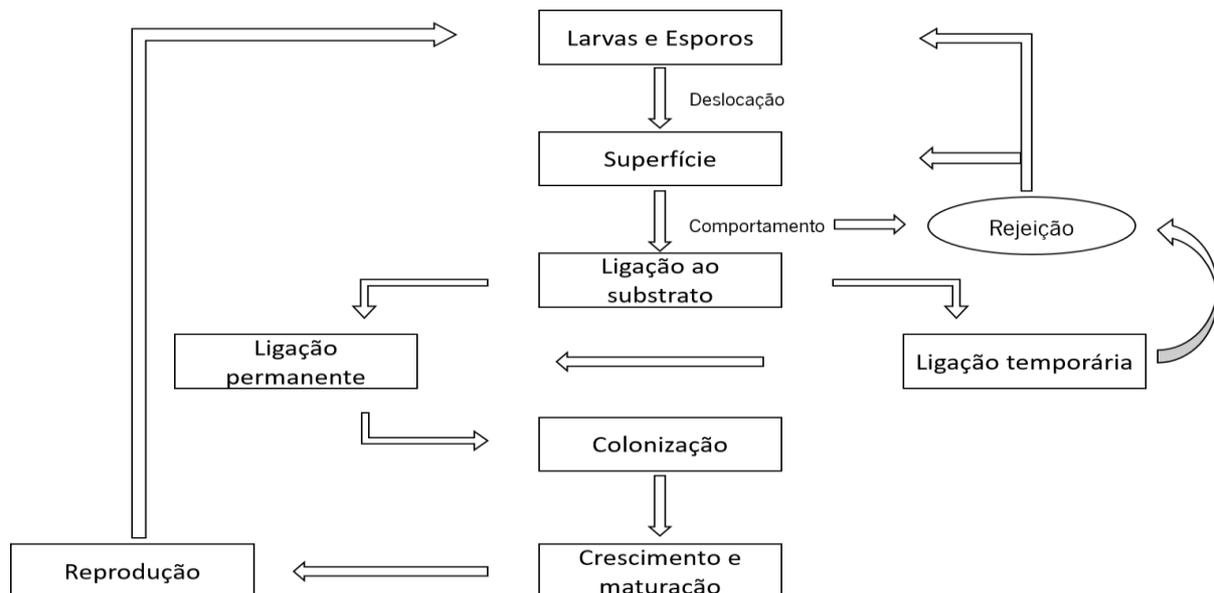


Figura 3. Fases de colonização de substratos inertes em meio marinho. Adaptado de (Railkin 2005).

Relativamente ao *macrofouling*, os esporos e as larvas vão assentar no biofilme, onde a ligação pode ser temporária ou definitiva. A ligação temporária com o substrato, pode definir-se como um processo reversível, o qual pode ser não só crucial para a determinação e escolha do habitat, bem como para as condições de sucesso da fertilização. A ligação definitiva consiste na escolha irreversível do substrato por parte dos organismos sésseis e pode assumir dois modos, sendo que no primeiro as formas larvares apresentam sempre uma ligação irreversível, e no segundo os juvenis e adultos provenientes das formas larvares podem ter ou não uma ligação irreversível (Railkin 2005). As fases adultas do *macrofouling* são sésseis ou sedentárias, tendo as suas fases larvares e os juvenis um papel importante na dispersão e recrutamento da população (Thomason & Dürr 2010). Após a colonização (ligação permanente) dos juvenis ao substrato, dá-se o seu crescimento e maturação, podendo posteriormente surgir a colonização por parte de organismos de segunda e terceira ordem. Este ciclo é contínuo, dado que os organismos adultos se vão reproduzir e dar origem a novas larvas e juvenis, os quais se vão dispersar e colonizar novas superfícies (Railkin 2005) (figura 4).

Os mecanismos de colonização dos micro e macrorganismos são essencialmente idênticos, incluindo o transporte para uma superfície dura, a deposição, a fixação e o crescimento, tendo que se considerar ainda, no caso dos macrorganismos, o seu desenvolvimento e metamorfose. O meio utilizado para o transporte pode ser ativo, como é o caso da locomoção das larvas, dos juvenis ou dos adultos, ou passivo, através da corrente (Railkin 2005).



**Figura 4.** Processo de colonização de larvas e esporos, desde o seu deslocamento para superfícies duras, passando pela ligação temporária ou permanente a estes, até à sua colonização, crescimento, maturação e reprodução de novas larvas ou esporos. Adaptado de (Thomason & Dürr 2010).

### **1.3.2. Propriedades inerentes aos Substratos que Influenciam a Colonização**

As comunidades que colonizam as EA são influenciadas pela matéria prima destas (composição), propriedades físicas e químicas e a sua subsequente interação com o ambiente (Burt et al. 2009; Henschel et al. 1990; Fauvelot et al. 2012; Hughes 2014). Os fatores físicos das EA com maior repercussão na colonização biológica são a composição, cor, textura, hidrofília, porosidade, topografia do substrato (rugosidade), reflexão da luz e dureza; já os fatores químicos são a toxicidade e a composição química (Taylor 2009; Satheesh & Wesley 2010; Salta et al. 2013; Henschel et al. 1990; Perkol-Finkel et al. 2006). Outros fatores, tais como a forma, configuração, orientação, tamanho e complexidade dos substratos também podem influenciar os processos de colonização (Firth et al. 2012; Perkol-Finkel et al. 2006).

Alguns exemplos de como os fatores físicos influem a colonização são apresentados por Satheesh & Wesley (2010), Richmond & Seed (1991) e Dobretsov et al. (2013) indicando que superfícies mais escuras e sombreadas atraem mais larvas e esporos do que superfícies bem iluminadas e mais claras. Langhamer et al. (2009), Perkol-Finkel et al. (2006), Walters & Wethey (1996) e Chapman & Bulleri (2003) referem que substratos com maior volume, complexidade e heterogeneidade fornecem maior número de nichos ecológicos e conseqüentemente maior número de refúgios contra predadores e distúrbios físicos, aumentando assim a biodiversidade local. Mencionam também que a orientação da superfície nas zonas intertidais tem um papel importante nos padrões de colonização e que o recrutamento é maior em superfícies verticais e inclinadas, devido a menores níveis de sedimentação e maior circulação da água. Por fim, Firth et al. (2013) e King et al. (1990) referem que uma maior rugosidade promove uma maior colonização, pois os espaços fornecem complexidade estrutural.

### **1.4. Influências dos Organismos em Estruturas Artificiais**

O betão, utilizado como substrato, pode ser considerado como um material biorecetivo para a colonização devido a características como a rugosidade, a porosidade, a capacidade para manter níveis de humidade e a sua composição química e física (De Muyne et al. 2009; Miller et al. 2012; Wiktor et al. 2011). A sua durabilidade vê-se relacionada não só por mecanismos físicos e químicos, mas também biológicos, podendo os organismos ter efeitos negativos ou positivos no betão.

### 1.4.1. Biodeterioração

A deterioração de estruturas artificiais na zona costeira é normalmente associada ao seu envelhecimento, penetração de iões e à biodeterioração. A biodeterioração do betão consiste na desintegração do material causado pela ação biogénica, comprometendo a sua resistência e durabilidade. Normalmente a biodeterioração das estruturas de betão está relacionada com a ação de microrganismos (bactérias, fungos, algas e líquenes), assim como com a colonização de macrorganismos (moluscos, poliquetas, etc.) (Silva & Naik 2013).

Em geral, a colonização biológica é considerada indesejada, pois pode conduzir à deterioração dos substratos artificiais e à perda da capacidade da estrutura para desempenhar as funções para as quais foi desenhada. A acumulação de grandes quantidades de biomassa resulta na criação de microambientes que podem levar à corrosão e ter implicações ao nível físico e químico (Hughes 2014).

A deterioração causada pelos organismos colonizadores pode ser classificada como física (erosão ou perfuração do betão) e química, pela qual os organismos usam o betão como fonte de alimento ou causam a deterioração indireta pela excreção de produtos agressivos (sulfitos) (Silva & Naik 2013). Durante o processo de biodeterioração os organismos destroem a matriz do betão através da solubilização dos compostos de cálcio, da libertação de produtos alcalinos, da oxidação do ferro e magnésio e da extração de sílica (Hughes 2014).

Alguns exemplos de como os organismos deterioram o betão são descritos por Silva & Naik (2013), referindo que as algas utilizam o cálcio presente no betão para o seu metabolismo, produzindo ácidos orgânicos, os quais levam ao decaimento do betão. A nível de macroinvertebrados, os moluscos degradam a matriz do cimento e reduzem a concentração de cálcio nas áreas onde estes se encontram, afetando as propriedades físicas e estruturais do betão. Hari et al. (2011) referem também que as macroalgas, através da biosolubilização, são capazes de obter diversos elementos de que necessitam para o seu metabolismo a partir do betão (cálcio, alumínio, ferro e potássio). Este processo envolve a produção de diversos ácidos metabólicos, os quais vão reagir com o material do betão levando à sua desintegração. Observaram também que a colonização da alga *Ulva fasciata* esteve associada ao decréscimo das concentrações de *Gismondine* e *Portlandite* em provetes de controlo, conduzindo a alterações severas do betão, presentes no provete de controlo conduzindo a alterações severas no material.

### 1.4.2. Efeitos Positivos dos Organismos

Não obstante a existência de efeitos negativos produzidos pelos organismos marinhos no betão, que poderão comprometer a sua durabilidade, existem trabalhos que indicam que estes podem ter efeitos benéficos. O crescimento de organismos marinhos no betão pode conduzir a uma estabilização do grau de humidade relativa, resultando numa maior resistência à difusão de gases e conduzindo a incrementos da durabilidade.

Ainda que não seja diretamente resultante de um efeito da colonização, Abo-el-enein et al. (2013) concluíram que as propriedades físicas, a permeabilidade e a resistência à compressão da argamassa modificada com bactérias apresentaram melhorias em resultado da precipitação de carbonato de cálcio nos interstícios do material.

Iwanami et al. (2002) tinham como objetivo entender os efeitos da colonização marinha em superfícies de betão e as consequências na durabilidade deste. O trabalho consistiu em expor dois tipos de estruturas de betão, com e sem dano prévio, em ambiente marinho. Os autores concluíram que as propriedades da superfície da estrutura melhoraram significativamente devido à formação da camada biótica que colonizou, prevenindo a entrada de água e oxigénio no betão. Kawabata et al. (2012) avaliaram as alterações da resistência do betão a longo prazo na presença de processos de colonização por organismos marinhos sésseis, estando simultaneamente sujeito à penetração de iões de cloreto. Os resultados mostraram que a membrana basal (matriz constituinte de organismos sésseis marinhos) adere fortemente ao betão. Essa ligação pode resultar no aumento da resistência a longo prazo do betão e na redução da sua permeabilidade em relação à penetração de iões de cloreto.

## 1.5. Objetivos do Trabalho

Com o intuito avaliar o efeito da colonização biológica macroscópica na resistência mecânica e consequente durabilidade do betão, neste trabalho desenhou-se e conduziu-se um programa experimental que consistiu em submergir substratos artificiais inertes numa zona intertidal, observando seguidamente o desenvolvimento dos processos de colonização que se sucederam. Com esta investigação pretendeu-se, primeiramente, proceder à definição de um procedimento que permita o acompanhamento e análise dos processos iniciais de colonização que ocorrem aquando da submersão de substratos de betão em meio marinho. Seguidamente, pretendeu-se perceber se os macrorganismos têm um papel importante na proteção e cimentação dos elementos separados da estrutura, fortalecendo a potencialidade do substrato como promotor da colonização e fornecendo uma proteção adicional aos substratos artificiais, contribuindo assim para o seu desempenho em termos de resistência e de durabilidade.

Seguidamente identificam-se os objetivos principais deste trabalho:

- Avaliar a influência do tempo de exposição das EA em meio marinho nos processos de colonização e o seu eventual efeito em parâmetros mecânicos dos substratos, tais como a resistência mecânica;
- Avaliar e identificar taxonomicamente os organismos macrobentónicos colonizadores de modo a entender a sucessão dos processos de colonização e a sua relação com o tipo de substrato ou de textura;
- Avaliar o efeito de vários outros fatores nos processos de colonização, tais como a sazonalidade, a orientação das superfícies expostas ou o posicionamento dos substratos;

De modo a responder aos desafios e objetivos desta dissertação, e atendendo a que a literatura disponível é escassa no tema proposto, tornou-se sobretudo importante estabelecer um procedimento que permitisse, de um modo objetivo e sistemático, obter informação inicial quanto aos processos em estudo. Deste modo, foram também objetivos deste trabalho:

- A definição de uma geometria adequada para os substratos de colonização que permitisse, por um lado, a permanência estável no local de submersão, e em simultâneo a extração e separação das superfícies expostas ao efeito da colonização com geometria bem definida e adequada à posterior realização de ensaios mecânicos;

- A definição de um procedimento que permitisse a criação de provetes de referência, que estando expostos aproximadamente às mesmas condições de submersão não estivessem expostos ao efeito da colonização;
- A definição de um protocolo de ensaios mecânicos que permitisse distinguir o efeito de um eventual aumento da resistência mecânica devido ao efeito da colonização biológica, de um mesmo efeito devido à maturação natural do betão, que com a idade conduz também a incrementos de resistência.
- A definição de um procedimento que permitisse quantificar a representatividade e semelhança dos níveis de rugosidade conseguidos tanto no mesmo provete, como entre provetes da mesma textura (lisos ou rugosos).



## CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS

---



## 2.1. Substratos

Tendo por objetivo a avaliação da contribuição dos organismos macrobentônicos para a consolidação de substratos inertes foi desenvolvido um protocolo de amostragem seguindo um esquema de 4 amostragens; 2 texturas; 6 réplicas por amostragem. Para tal foi desenvolvido um protótipo de substrato de colonização que consiste em duas peças, sendo uma delas a base e a outra a superfície de teste. Dado que é importante minimizar a perturbação da superfície de teste, de modo a realizar de forma objetiva os ensaios mecânicos numa fase posterior, a ligação entre ambas as peças foi estabelecida por intermédio de buchas e parafusos, cuja localização foi criteriosamente selecionada de modo a não interferirem com os resultados dos ensaios mecânicos. A geometria e o sistema de montagem adotado para os substratos permitiram desenvolver superfícies de teste que garantem a verticalidade e a estabilidade, em que a base confere lastro e estabilidade à superfície vertical de teste. A montagem com parafusos permitiu também, numa fase posterior, a separação fácil da base e da superfície de teste, obtendo-se assim uma superfície de teste padronizada e de geometria semelhante para todos os provetes (figura 5).

No âmbito do programa experimental foram colocados 48 substratos (24 de cada textura) *in situ*, com dimensões de 25x25cm. Quatro substratos adicionais (2 para cada tipo de textura) foram utilizados para efetuar a caracterização da superfície, de modo a permitir a determinação da rugosidade e verificar se esta é aproximadamente uniforme em toda a extensão de uma mesma superfície de um substrato, e se diferentes substratos de um mesmo tipo de superfície apresentam características semelhantes em termos de rugosidade, assegurando-se assim a representatividade dos substratos preparados para os diferentes períodos de amostragem.

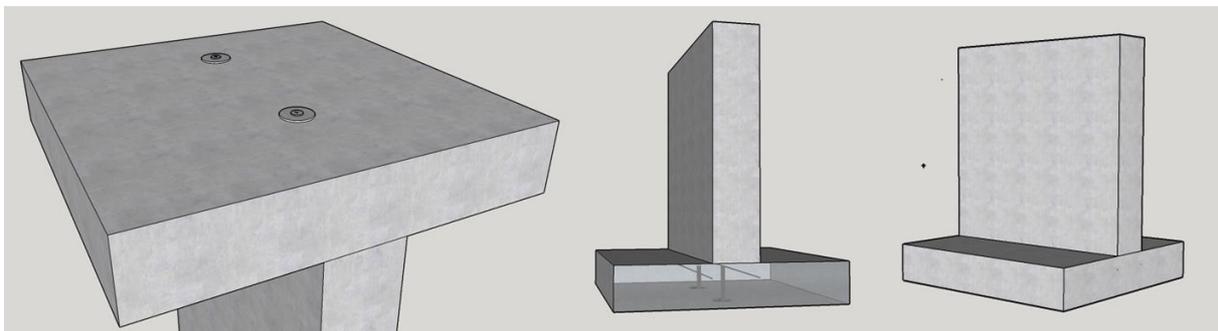


Figura 5. Ilustração dos substratos após a sua montagem. Elaborado com a ajuda do *software* SketchUp 2017.

Na produção dos substratos foram utilizados dois tipos de agregados (finos e grossos), ligantes e adjuvantes. No que diz respeito aos agregados finos, foram utilizados pó mineral e areia.

Como agregados grossos foi utilizada brita 4-8 e brita 8-16 (valores em milímetros das dimensões mínimas e máximas de cada tipo de agregado). Quanto aos ligantes, foi utilizado cimento Portland do tipo I, classe 42,5R da Secil, tendo a característica de ser isento de adições e constituído por clínquer Portland. Utilizaram-se também cinzas volantes como adição, obtendo-se assim uma mistura mais otimizada do ponto de vista ambiental. Os adjuvantes adicionados foram superplastificante, funcionando como agente redutor da água, e um controlador de viscosidade (estabilizador), utilizado com o intuito de aumentar a coesão do betão.

O procedimento de produção dos substratos começou pela realização do processo de amassadura para a mistura de todos os materiais utilizados por fases. Neste processo foi ainda utilizada água potável e uma misturadora horizontal. Em primeiro lugar, começou por se humedecer a misturadora de forma a não absorver a água utilizada na amassadura, seguindo-se a adição dos agregados por ordem decrescente de diâmetro, sendo misturados até se obter uma mistura homogénea. De seguida foram adicionados os materiais ligantes, por se tratarem dos materiais mais finos. O último passo consistiu na adição de água e dos adjuvantes, efetuando-se uma última homogeneização durante o processo da amassadura.

Após a amassadura procedeu-se à moldagem (betonagem) da mistura em moldes previamente fabricados com painéis de madeira. Foram realizadas 8 moldagens em contínuo até ao fim do mês de setembro, produzindo-se 8 substratos de cada vez, perfazendo um total de 64 substratos. No final da moldagem, ainda com o betão no estado fresco, adicionou-se a parte dos provetes uma camada de agregado (brita 4-8) na sua superfície, a qual aderiu e criou uma textura rugosa. Para a desmoldagem foi necessário aguardar 7 dias, de modo a garantir que os provetes possuíam um nível de resistência satisfatório para evitar a sua desintegração ou dano. Os substratos foram deste modo desmoldados e cortados em substratos de 25x25cm, sendo posteriormente armazenados e deixados em processo de cura durante 8 meses.

Com vista à obtenção de substratos de controlo para cada amostragem, foi colocada uma camada de parafina em 10 dos substratos (5 rugosos e 5 lisos), criando-se assim uma camada protetora, pretendendo-se desta forma impedir a colonização (figura 6 e 7). Esta camada, ao impedir que os organismos adiram à superfície em avaliação, permitirá estudar a influência do efeito da colonização na evolução da resistência, tal como será discutido mais adiante.



**Figura 6.** Superfícies lisa sem e com parafina.



**Figura 7.** Superfícies rugosa sem e com parafina.

## 2.2. Localização

O local de amostragem selecionado representa uma zona intertidal rochosa situada na freguesia da Areosa, localizada a Norte de Viana do Castelo ( $41^{\circ}43'30.9''N$   $8^{\circ}52'13.7''W$ ), estando este local inserido na região do Minho, no Noroeste de Portugal (figura 8).

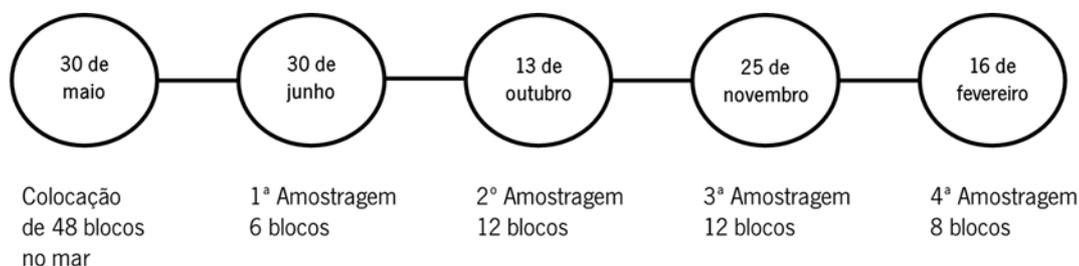


**Figura 8.** Localização do local de amostragem na Freguesia de Areosa em Viana do Castelo, Portugal (local exato representado por ponto vermelho).

Este local apresenta um regime de marés semidiurno, com períodos de 12,5h e variação entre 0,59m em marés-baixas e 3,4m em marés-altas (Hidrográfico 2016). Os substratos foram colocados em canais de maré ao abrigo de um esporão rochoso, mantendo uma profundidade mínima de cerca de 40 cm de água (Veiga et al. 2014; Dias et al. 2002). O regime de ondas é dominado por ondulação de noroeste (73%) e de oeste (16%), variando a altura de ondulação entre 1 e 3m no Verão e ultrapassando os 7m no Inverno. As tempestades surgem maioritariamente entre os meses de outubro e março (Inverno), provenientes na sua maioria de oeste e noroeste com ondulações a atingir cerca de 6m. Na costa portuguesa sobrevêm em média cerca de 3 tempestades por ano (Dias et al. 2002).

### 2.3. Amostragem

A amostragem teve uma duração total de 8 meses e duas semanas, entre 30 de maio de 2016, data em que os substratos foram introduzidos no mar, e 16 de fevereiro de 2017, data da recolha dos últimos substratos (figura 9).



**Figura 9.** Cronologia da amostragem dos substratos entre 30 de maio de 2016 e 16 de fevereiro de 2017.

No local, os substratos foram ancorados de forma aleatória e com a face de estudo orientada para o mar. Ao longo do tempo de exposição foram feitas deslocções ao local de amostragem, de forma a verificar a estabilidade e orientação dos substratos e, se necessário, proceder à sua reorientação.

Foram realizadas 4 amostragens ao longo de 8 meses e 2 semanas. Após a recolha e já na praia, os substratos foram fotografados, rotulados e preparados para o transporte para os laboratórios, tendo sido utilizadas 3 réplicas de cada superfície para a avaliação biológica e outras 3 para as avaliações mecânicas (incluindo o substrato de controlo).

De acordo com o planeamento inicial seriam recolhidos 12 substratos por amostragem, o que não ocorreu na primeira e quarta amostragem. Na primeira amostragem apenas foram recolhidos 6 substratos pois, após 1 mês de colonização, ainda não tinha ocorrido macrocolonização, tendo sido por esse motivo recolhidos apenas substratos para a avaliação mecânica. Quanto à quarta amostragem foram recolhidos apenas 8 substratos. Esta amostragem foi processada *in situ*, recolhendo-se 2 substratos de controlo por textura e 3 substratos sem parafina por textura. Nesta amostragem os mesmos substratos foram utilizados para a avaliação biológica e mecânica, tendo os macrorganismos sido guardados em frascos e rotulados (tabela 1).

**Tabela 1.** Número de substratos recolhidos ao longo das várias amostragens.

Amostragens	Com Parafina		Sem Parafina	
	Rugosa	Lisa	Rugosa	Lisa
1ª	1	1	2	2
2ª	1	1	5	5
3ª	1	1	5	5
4ª	1	1	3	3

## 2.4. Avaliações Biológicas e Mecânicas

Em laboratório, os substratos foram raspados, com vista à extração dos organismos, os quais foram fixados em etilenoglicol (5%) e posteriormente conservados em álcool etílico a 90%, em frascos devidamente rotulados. De seguida procedeu-se à triagem e identificação dos organismos utilizando uma lupa binocular. Relativamente à identificação, recorreu-se a guias de identificação e bases de dados tais como: “Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe” (Hayward & Ryland 1995), “British Marine Amphipoda: Gammaridea” (Lincoln 1979), “Conchas Marinhas de Portugal” (Macedo 1999), “Fauna e Flora do Litoral de Portugal e Europa” (Campbell & Nicholls 2008), “Marine Species Identification Portal” (disponível em <http://species-identification.org/>), “APHOTOMARINE” (disponível em <http://www.aphotomarine.com/>) e “BOLDSYSTEMS” (disponível em <http://www.barcodinglife.org/>). Quanto à nomenclatura, esta foi revista recorrendo à base de dados “World Register of Marine Species” (disponível em <http://www.marinespecies.org/>).

A área de cobertura representada pela porção de superfície coberta por cada espécie foi determinada através da observação de fotografias tiradas às superfícies. Foi efetuada uma divisão imaginária dos substratos em 8 fragmentos de 12,5% cada, criando-se 8 níveis de cobertura (figura 10 e tabela 2).



**Figura 10.** Divisão imaginária dos substratos em 8 fragmentos de 12,5% cada.

**Tabela 2.** Níveis de percentagem de cobertura designadas para as superfícies em estudo.

Percentagem de cobertura	Níveis
0	0
0 – 12,5	1
12,5 – 25	2
25 – 37,5	3
37,5 – 50	4
50 – 62,5	5
62,5 – 75	6
75 – 87,5	7
87,5 – 100	8

Para as avaliações mecânicas, começou por se separar a placa de estudo da sua base e removeu-se a parafina dos substratos de controlo. Todos os substratos foram então cortados, com uma serra fixa, em 3 provetes iguais com cerca de 8,3 cm de largura cada. Obtidos todos os provetes, regularizou-se a superfície dos provetes rugosos utilizando uma resina de endurecimento rápido, de modo a ser possível proceder aos ensaios de flexão.

Foram também executados ensaios de compressão até 2 dias após os ensaios de flexão. Na primeira amostragem os provetes foram cortados em 2 cubos de dimensões 50x50x50 cm<sup>3</sup>. Para as

restantes amostragens foram realizados carotes de 46 mm de diâmetro. Esta mudança deveu-se à discrepância de resultados obtidos na primeira amostragem, no sentido de se obterem menores dispersões de resultados. Fazendo-se a comparação entre a resistência à tração em flexão e a raiz quadrada da resistência à compressão, tornou-se possível estudar a influência da colonização na resistência dos substratos. O pressuposto adotado foi o de que, a haver um contributo da colonização no aumento de resistência, esse contributo será perceptível sob a forma de um aumento da resistência à tração em flexão. No entanto, o aumento da resistência à tração em flexão também pode ser consequência de processos de hidratação secundária resultantes da imersão dos provetes em água. De modo a minimizar este efeito, os provetes foram imergidos apenas 8 meses após a moldagem. Adicionalmente, e de modo a analisar o efeito de processos de hidratação secundária e consequentemente separar esse efeito de um eventual contributo dos processos de colonização para o aumento da resistência, estudou-se também a evolução da resistência à compressão, cujo alcance é mais volumétrico e não tão sensível ao que se passa ao nível da superfície. Em geral a evolução da raiz quadrada dos valores da resistência à compressão ao longo do tempo apresentam forte correlação com os valores da resistência à tração em flexão, tal como é mencionado por Guerra (2013).

De modo a caracterizar o nível de rugosidade das superfícies dos substratos, recorreu-se ao laser SICK, sendo este parte de sistema de análise 2D que foi desenvolvido na Uminho para analisar a morfologia de superfícies de betão, o qual percorre o perfil da placa e mede a sua coordenada perpendicular. Esta análise foi realizada utilizando-se 4 substratos de betão, 2 lisos e 2 rugosos, cujas superfícies foram divididas em 6 perfis transversais e dois limites longitudinais, com uma extensão de 12,5 cm cada (figura 11). Esta caracterização não só permite determinar a rugosidade dos substratos, como também determinar se o nível de rugosidade observado é aproximadamente constante em diferentes zonas do mesmo provete e entre provetes do mesmo tipo (em zonas centrais ou nos bordos). Através destas avaliações é possível concluir se existe ou não representatividade suficiente dos provetes e se os resultados são comparáveis entre diferentes amostragens.

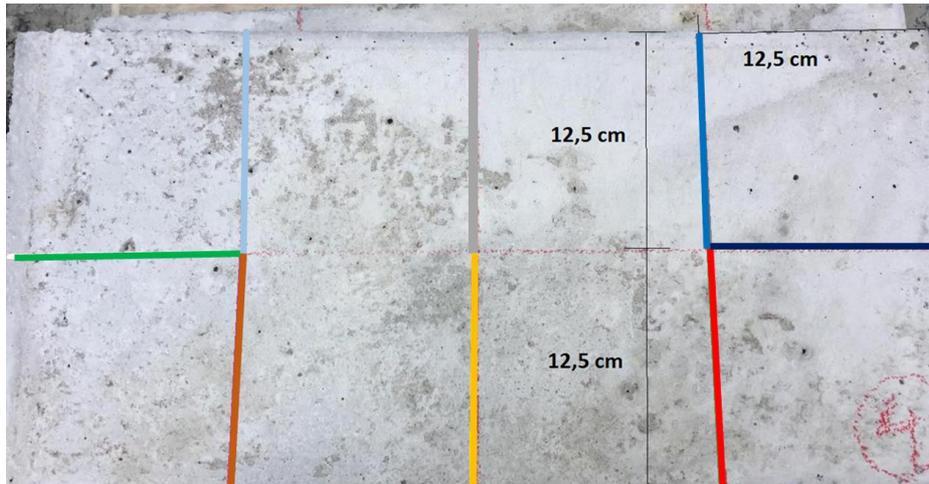


Figura 11. Limites transversais e longitudinais utilizados na avaliação da rugosidade.

## 2.5. Avaliações Estatísticas

As análises estatísticas dos resultados obtidos foram realizadas utilizando o *software* RStudio (RStudio Team 2016), tendo-se utilizado os aplicativos *Vegan* (Oksanen et al. 2015), *Lattice* (Sarkar 2017), *MASS* (Ripley 2002) e *Mvabund* (Wang et al. 2017), e o *software* Microsoft Office, Excel®. As análises foram divididas em 2 grupos, avaliando-se a macrofauna que colonizou as superfícies lisas e rugosas ao longo do tempo. Em todos os casos os testes estatísticos realizados foram semelhantes.

Para o cálculo da diversidade taxonómica recorreu-se a parâmetros como a riqueza de espécies (Sobs), a abundância de organismos (Abund), o índice de Simpson (IS) e o índice de equitabilidade (ISeq). O índice de Simpson indica a probabilidade de 2 organismos retirados ao acaso pertencerem à mesma espécie, aumentando com a diversidade taxonómica da comunidade entre 1 e o número de espécies observadas. O índice de equitabilidade deriva da divisão do índice de Simpson pelo número total de espécies observado em cada superfície. Este índice varia entre 0 e 1, em que valores mais baixos indicam comunidades dominadas por algumas espécies. Pelo contrário, valores mais elevados indicam uma distribuição proporcional, não havendo espécies dominantes.

De modo a verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as diferentes amostragens nas diversas superfícies ao longo do tempo, fizeram-se análises GLM utilizando a família quasipoisson na riqueza de espécies, a família binómio negativo na abundância e a família Gaussian na diversidade e equitabilidade. A escolha destas famílias deu-se pelo facto de as mesmas resultarem num melhor ajuste de valores.

Com o intuito de perceber a existência de diferenças ao nível da composição de espécies foi realizada uma análise de dissimilaridade. Para tal, foi utilizado o índice de Bray-Curtis de forma a calcular

uma matriz de dissimilaridade entre superfícies lisas e rugosas e entre as superfícies rugosas ao longo das amostragens. Através desta matriz, foi possível fazer uma análise de agrupamentos utilizando a função Cluster, com o objetivo de verificar se as diferentes comunidades das respectivas superfícies se agrupam conforme o seu tipo de superfície e amostragem. Foi também realizado um teste ANOSIM para verificar a existência ou não de diferenças significativas entre superfícies ou entre amostragens.

## CAPÍTULO 3: RESULTADOS

---



### 3. RESULTADOS

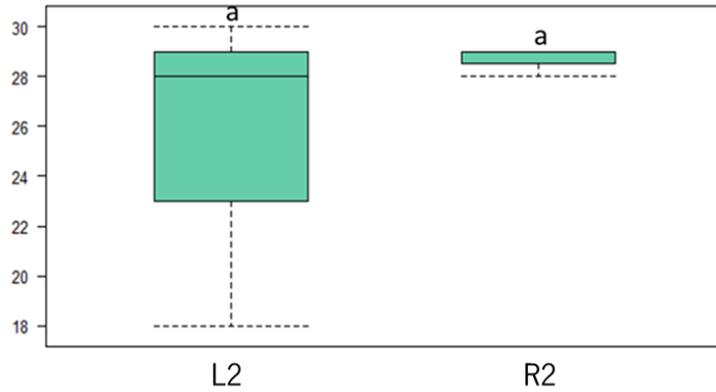
Ao longo deste trabalho foram realizadas 4 amostragens, sendo que a primeira não foi considerada para a análise biológica por não possuir macrorganismos em número significativo. Quanto às últimas 3 amostragens, foram feitos 2 tratamentos de resultados diferentes, onde se compararam as comunidades de macrofauna ao longo do tempo de colonização e as observadas para as duas texturas diferentes da segunda amostragem. A comparação entre texturas apenas foi possível na segunda amostragem, pois o número de organismos recolhidos nos tempos restantes não foi suficiente para a realização de análises numéricas. A avaliação da macrofauna ao longo do tempo apenas foi possível em superfícies rugosas, visto que nas superfícies lisas, apenas a segunda amostragem continha organismos. Nas duas últimas amostragens a abundância era muito reduzida, não sendo possível tratar estes dados estatisticamente.

Deste modo, no total, ao longo de 4 amostragens foram recolhidos 38 substratos num período de 8 meses e 2 semanas, tendo sido identificados um total de 1921 indivíduos pertencentes a 75 espécies. Ao nível da flora, foi avaliada a evolução da área de cobertura ao longo do tempo de exposição. Relativamente à avaliação do comportamento mecânico, foi avaliada a evolução da resistência à tração flexão e à compressão ao longo do tempo de exposição, tendo sido também medida a rugosidade média da superfície de 4 substratos distintos, sendo dois lisos e dois rugosos.

#### 3.1. Diferenças das Comunidades de Macrofauna entre Superfícies Lisas e Rugosas

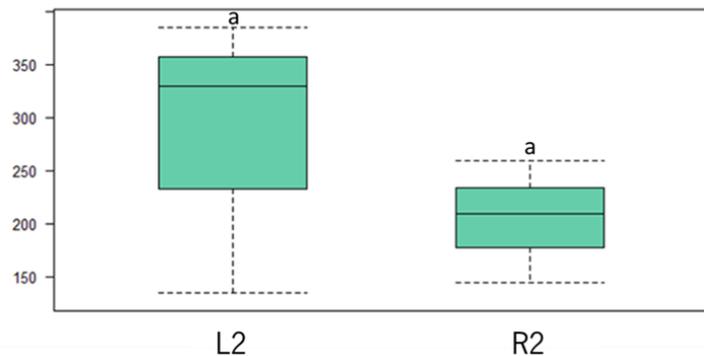
##### 3.1.1. Riqueza, Abundância, dominância e índice de equitabilidade

Os valores mais baixos de riqueza média são observados em superfícies lisas (L2) apresentando um valor de  $25,33 \pm 6,43$ . Relativamente às superfícies rugosas (R2), o valor de riqueza média é de  $28,67 \pm 0,58$ . Embora surjam estas divergências na amplitude de valores, não existem diferenças estatisticamente significativas entre as distintas superfícies (GLM:  $LTR_{\text{quasipoisson}} = 0,62$ ;  $GL=4$ ;  $p=0,39$ ) (figura 12).



**Figura 12.** Riqueza de espécies em superfícies lisas (L2) e rugosas (R2) na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.

Os valores mais elevados de abundância média surgem em superfícies lisas (L2), com um valor de  $283,33 \pm 131,37$ . As superfícies rugosas (R2) apresentam um valor médio de  $204,33 \pm 57,14$ . É possível verificar que o valor máximo e mínimo de indivíduos sucede em L2. Embora se verifiquem diferenças entre as superfícies, estas não são estatisticamente significativas (GLM:  $LTR_{bin, neg} = 8,68$ ;  $GL = 4$ ;  $p = 0,27$ ) (figura 13).



**Figura 13.** Abundância de macrofauna entre superfícies lisas (L2) e rugosas (R2) na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.

A macrofauna identificada distribui-se por 4 filos (Echinodermata, Mollusca, Arthropoda e Annelida), sendo Echinodermata e Mollusca os dominantes a nível de abundância (R2:  $Abund_{Echinodermata} = 281$ ;  $Abund_{Mollusca} = 163$ ) (L2:  $Abund_{Echinodermata} = 284$ ;  $Abund_{Mollusca} = 168$ ) e Mollusca também ao nível da riqueza de espécies (R2:  $Sobs_{Mollusca} = 20$ ) (L2:  $Sobs_{Mollusca} = 19$ ). O filo Annelida apresentou o valor mais elevado de abundância nas superfícies lisas (L2:  $Abund_{Annelida} = 346$ ) (tabela 3).

**Tabela 3.** Riqueza de espécies e abundância de indivíduos por Filo entre superfícies rugosas e lisas.

	Rugosas		Lisas	
	Riqueza	Abundância	Riqueza	Abundância
<i>Echinodermata</i>	5	281	6	284
<i>Mollusca</i>	20	163	19	168
<i>Arthropoda</i>	12	68	7	52
<i>Annelida</i>	10	101	10	346

Analisando a distribuição de espécies entre as superfícies, é possível verificar que o número de espécies compartilhadas entre substratos rugosos e lisos é elevado, havendo partilha de 31 espécies num total de 55 (tabela 4).

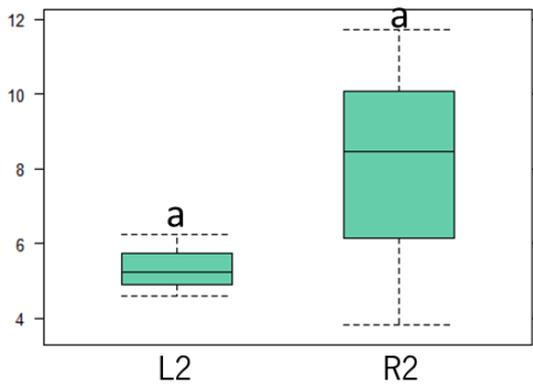
**Tabela 4.** Exclusividade e partilha de espécies entre superfícies rugosas e lisas.

	Exclusivas	Partilhadas
Rugosas	16	31
Lisas	11	

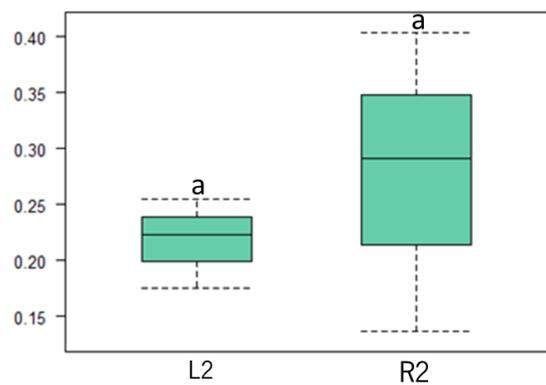
### 3.1.2. Diversidade e Equitabilidade

Quanto à diversidade de Simpson (IS), as superfícies lisas apresentaram o valor menor ( $IS=5,36\pm 0,84$ ), enquanto que as rugosas apresentaram o valor mais elevado ( $IS=8,00\pm 3,96$ ). Entre as superfícies não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (GLM:  $LTR_{Gaussian}=10,44$ ;  $GL=4$ ;  $p=0,26$ ) (figura 14).

Igualmente ao nível da equitabilidade (ISeq), as superfícies lisas apresentaram o valor menor ( $ISeq=0,22\pm 0,14$ ), enquanto que as rugosas apresentaram o valor mais elevado ( $ISeq=0,28\pm 0,13$ ). Entre as superfícies não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (GLM:  $LTR_{Gaussian}=0,005$ ;  $GL=4$ ;  $p=0,46$ ) (figura 15).



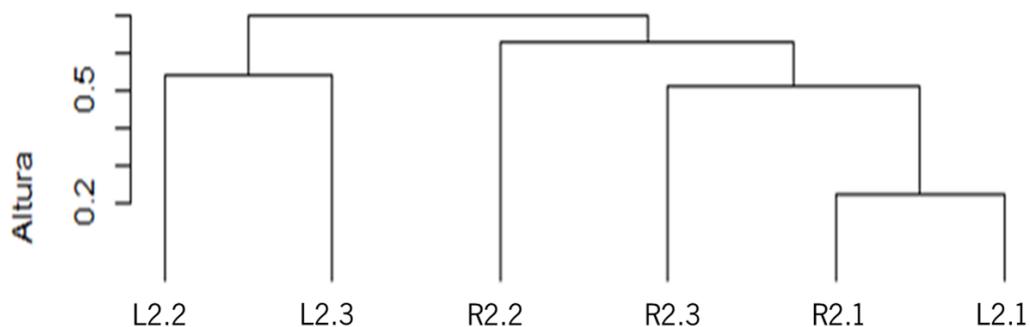
**Figura 14.** Índice de diversidade Simpson entre superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.



**Figura 15.** Índice de equitabilidade de Simpson entre superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.

### 3.1.3. Análise de Dissimilaridade

Na análise de dissimilaridade é apresentado um dendrograma (CLUSTER) utilizando a distância de Bray-Curtis, sobre uma matriz de composição de espécies por superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem. É possível observar que as comunidades de macrofauna não se dispõem em grupos distintos, havendo similaridade entre elas (figura 16). Este resultado é reforçado pelo teste ANOSIM, que demonstra não haver diferenças estatisticamente significativas entre as superfícies (ANOSIM:  $r=0,2963$ ).



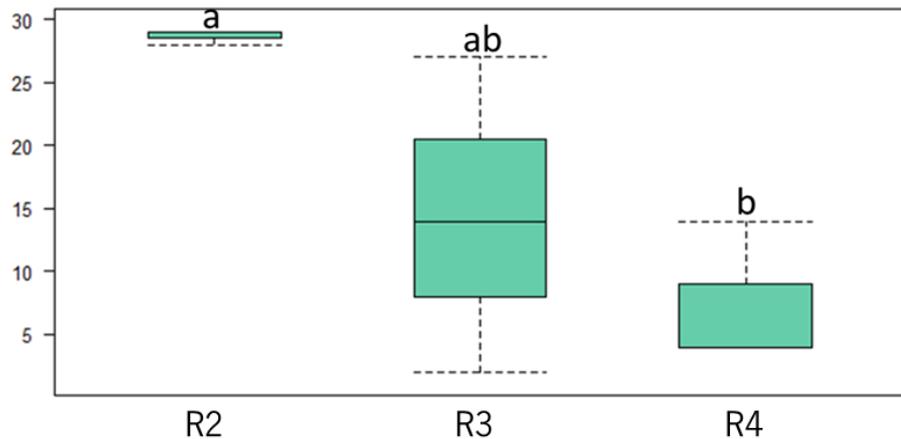
**Figura 16.** Análise de agrupamentos (Cluster) numa matriz de distância entre as 6 amostras das superfícies lisas e rugosas na segunda amostragem, utilizando a distância de Bray-Curtis como medida de similaridade.

## 3.2. Diferenças das Comunidades de Macrofauna ao Longo do Tempo de Colonização em Superfícies Rugosas

### 3.2.1. Riqueza, Abundância, Dominância e Índice de Equitabilidade

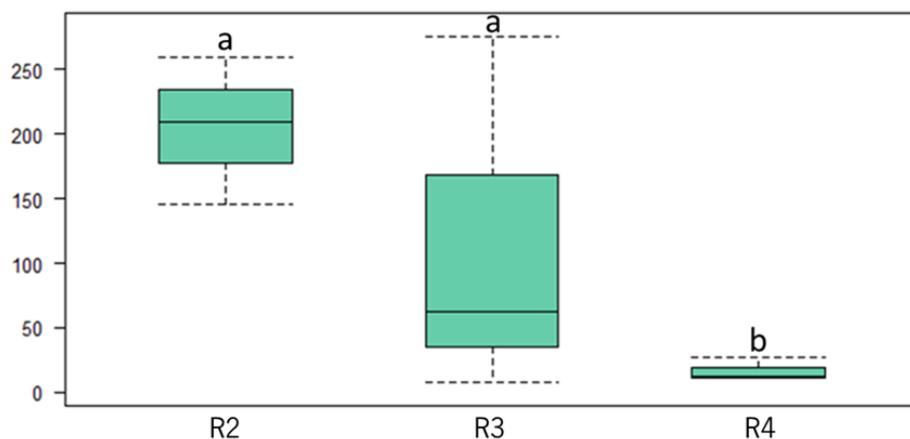
A riqueza média mais elevada observada surgiu na segunda amostragem (R2:  $Sobs=28,67\pm 0,58$ ) e a mais baixa sobreveio na quarta amostragem (R4:  $Sobs=7,33\pm 5,77$ ), tendo sido observadas

diferenças estatisticamente significativas entre as amostragens R2 e R4 (GLM:  $LTR_{quasipoisson}=42,18$ ;  $GL=6$ ;  $p=0,017$ ) (Figura 17).



**Figura 17.** Riqueza de espécies ao longo das amostragens (R2 – Rugosas 2ª Amostragem; R3 – Rugosas 3ª Amostragem; R4 – Rugosas 4ª Amostragem), em que (a, b) representam diferenças estatisticamente significativas.

A abundância média mais elevada ocorreu na segunda amostragem (R2:  $Abund=204,33\pm 57,14$ ) e a mais baixa sucedeu na quarta amostragem (R4:  $Abund=16,67\pm 8,96$ ), tendo sido comprovado estatisticamente haver diferenças significativas entre R2-R4 e R3-R4 (GLM:  $LTR_{bin.neg}=1,8$ ;  $GL=6$ ;  $p=0,012$ ) (figura 18).



**Figura 18.** Abundância de macrofauna ao longo das amostragens (R2 – Rugosas 2ª Amostragem; R3 – Rugosas 3ª Amostragem; R4 – Rugosas 4ª Amostragem), em que (a, b) representam diferenças estatisticamente significativas.

A macrofauna identificada distribui-se por 4 filos (Echinodermata, Mollusca, Arthropoda e Annelida), sendo Echinodermata e Mollusca os dominantes a nível de abundância (R2:  $Abund_{Echinodermata}=281$ ;  $Abund_{Mollusca}=163$ ) (R3:  $Abund_{Echinodermata}=123$ ;  $Abund_{Mollusca}=136$ ) (R4:  $Abund_{Echinodermata}=23$ ;  $Abund_{Mollusca}=19$ ). Relativamente à riqueza, o filo Mollusca é aquele que apresenta valores mais elevados (R2:  $Sobs_{Mollusca}=20$ ) (R3:  $Sobs_{Mollusca}=15$ ) (R4:  $Sobs_{Mollusca}=10$ ) (tabela 5).

**Tabela 5.** Riqueza de espécies e abundância de indivíduos por Filo ao longo das amostragens de superfícies rugosas.

	2ª Amostragem		3ª Amostragem		4ª Amostragem	
	Riqueza	Abundância	Riqueza	Abundância	Riqueza	Abundância
<i>Echinodermata</i>	5	281	4	123	2	23
<i>Mollusca</i>	20	163	15	136	10	19
<i>Arthropoda</i>	12	68	8	40	3	4
<i>Annelida</i>	10	101	6	46	2	4

Analisando a distribuição de espécies ao longo do tempo, é possível verificar que a segunda amostragem apresenta o maior número de espécies exclusivas (R2: Sexc=19), já a quarta, o menor (R4: Sexc=4). O maior número de espécies partilhadas surge entre as segunda e terceira amostragens, enquanto o menor se verifica entre as terceira e quarta (tabela 6).

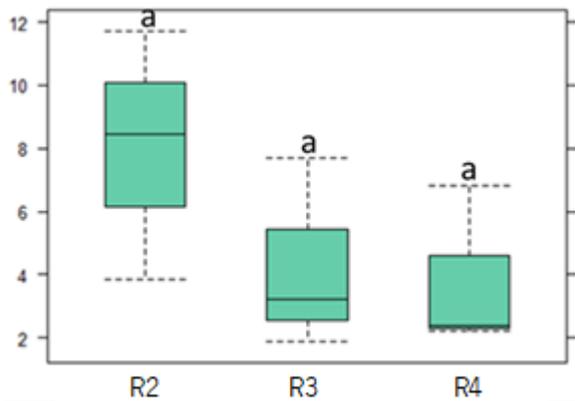
**Tabela 6.** Exclusividade e partilha total de espécies ao longo das amostragens de superfícies rugosas.

	Exclusivas	Partilhadas		
		2ª Amostragem	3ª Amostragem	4ª Amostragem
2ª Amostragem	19	-	-	-
3ª Amostragem	8	16	-	-
4ª Amostragem	4	3	1	-

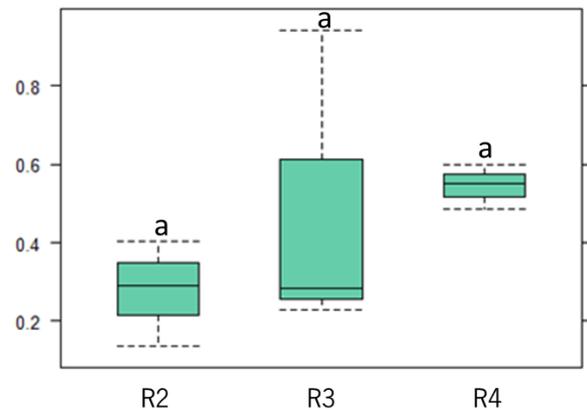
### 3.2.2. Diversidade e Equitabilidade

Quanto à diversidade de Simpson (IS), a segunda amostragem apresenta o valor maior (IS=8,00±3,96), enquanto que a quarta amostragem apresenta o valor menor (IS=3,80±3,61). Entre as amostragens não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (GLM:  $LTR_{Gaussian}=31,76$ ; GL=6; p=0,22) (Figura 19).

Ao nível da equitabilidade (ISeq), a segunda amostragem apresenta o valor menor ( $ISeq=0,28\pm0,13$ ), enquanto que a quarta amostragem apresenta o valor mais elevado ( $ISeq=0,55\pm0,06$ ). Entre as amostragens não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas (GLM:  $LTR_{Gaussian}=0,12$ ;  $GL=6$ ;  $p=0,37$ ) (Figura 20).



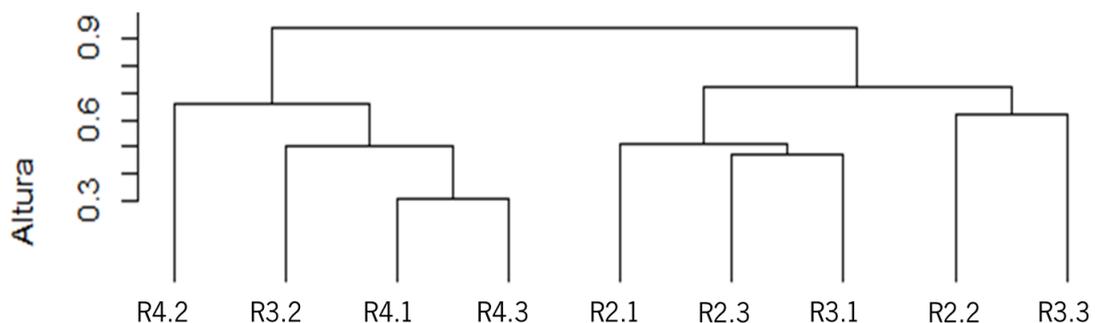
**Figura 19.** Índice de diversidade Simpson ao longo das amostragens das superfícies rugosas, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.



**Figura 20.** Índice de equitabilidade de Simpson ao longo das amostragens das superfícies rugosas, em que (a, a) representa que não existem diferenças estatisticamente significativas.

### 3.2.3. Análise de Dissimilaridade

Na análise de dissimilaridade é apresentado um dendrograma (CLUSTER) utilizando a distância de Bray-Curtis sobre uma matriz de composição de espécies ao longo das amostragens. Foi possível observar que as comunidades de macrofauna não se dispõem em grupos distintos, havendo similaridade entre elas (figura 21). Este resultado é reforçado pelo teste ANOSIM, que demonstra não haver diferenças estatisticamente significativas entre as amostragens ( $R=0,4239$ ;  $p=0,083$ ).



**Figura 21.** Análise de agrupamentos (Cluster) numa matriz de distância entre as 9 réplicas das superfícies rugosas ao longo do tempo de amostragem, utilizando a distância de Bray-Curtis como medida de similaridade.

### 3.3. Área de Cobertura

Através dos níveis de cobertura das superfícies (rugosas e lisas) das amostragens, é possível verificar que a segunda amostragem é a que apresenta maior área coberta. A partir desta amostragem, ocorreu uma diminuição dos níveis de cobertura, atingindo um mínimo na quarta amostragem. Na quarta amostragem, comparativamente à segunda amostragem, verifica-se uma redução elevada de alga verde e um aumento de algas castanhas. A primeira amostragem ocorreu um mês após a submersão dos substratos, não tendo ocorrido macrocolonização neste espaço de tempo (figura 22 e tabela 7).



Figura 22. Superfícies com o nível máximo de cobertura por cada amostragem.

**Tabela 7.** Níveis de cobertura da área das superfícies (rugosas e lisas) ao longo das amostragens.

Amostragens	Superfícies Rugosas	Níveis	Superfícies Lisas	Níveis
1	1.1	0	1.4	0
	1.2	0	1.5	0
	1.3	0	1.6	0
2	2.1	8	2.4	8
	2.2	8	2.5	7
	2.3	6	2.6	4
3	3.1	6	3.4	0
	3.2	0	3.5	0
	3.3	5	3.6	2
4	4.1	2	4.4	3
	4.2	2	4.5	0
	4.3	1	4.6	0

### 3.4. Avaliação Mecânica

#### 3.4.1. Rugosidade

Através das medições efetuadas para determinar a rugosidade média das superfícies, foi possível obter as figuras 25 e 26.

Nas superfícies lisas, pode-se constatar que a coordenada na direção perpendicular ao plano médio do substrato varia numa escala entre -0,5mm e 0,5mm (figura 23). Nas duas superfícies avaliadas, a rugosidade média é de  $0,151 \pm 0,062$  e  $0,148 \pm 0,111$  com um coeficiente de variação de 41,197% e 75,112% respetivamente.

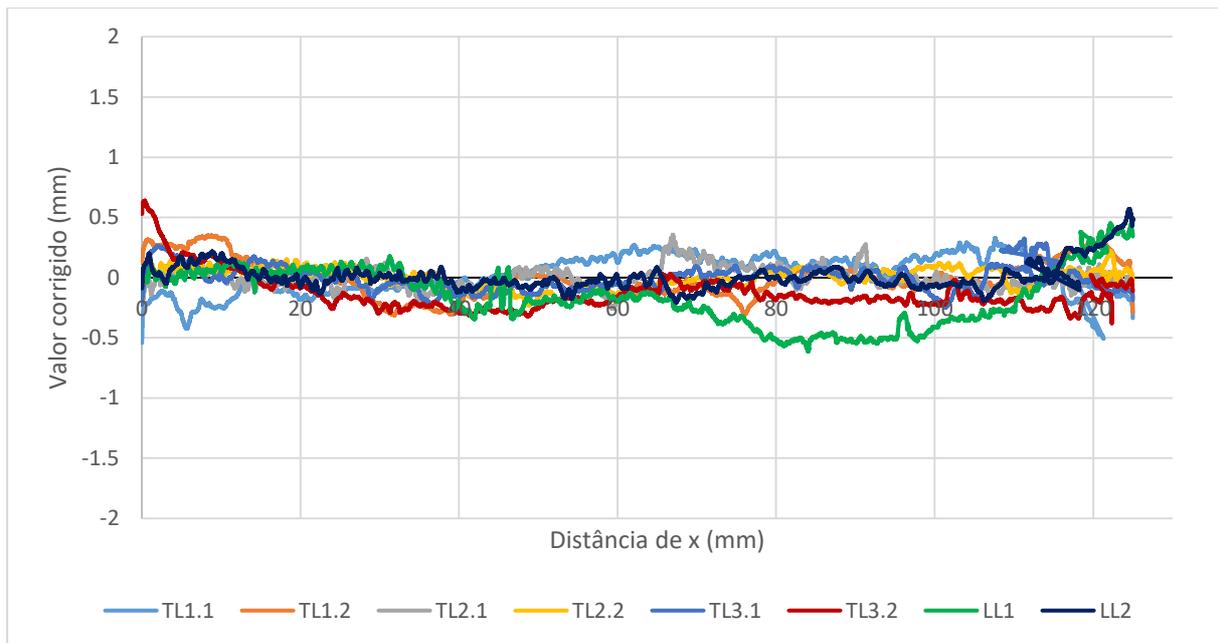


Figura 23. Rugosidade das superfícies lisas (mm).

Relativamente às superfícies rugosas, a coordenada perpendicular ao plano médio da superfície varia entre -5mm e 4mm (figura 24), considerando-se que este valor é coerente visto que se usou agregado com dimensão máxima de 8 mm para criar o efeito de rugosidade superficial obtido. Nas duas superfícies avaliadas, a rugosidade média obtida foi de  $1,583 \pm 0,140$  e  $1,480 \pm 0,333$  com um coeficiente de variação de 8,825% e 22,478% respetivamente.

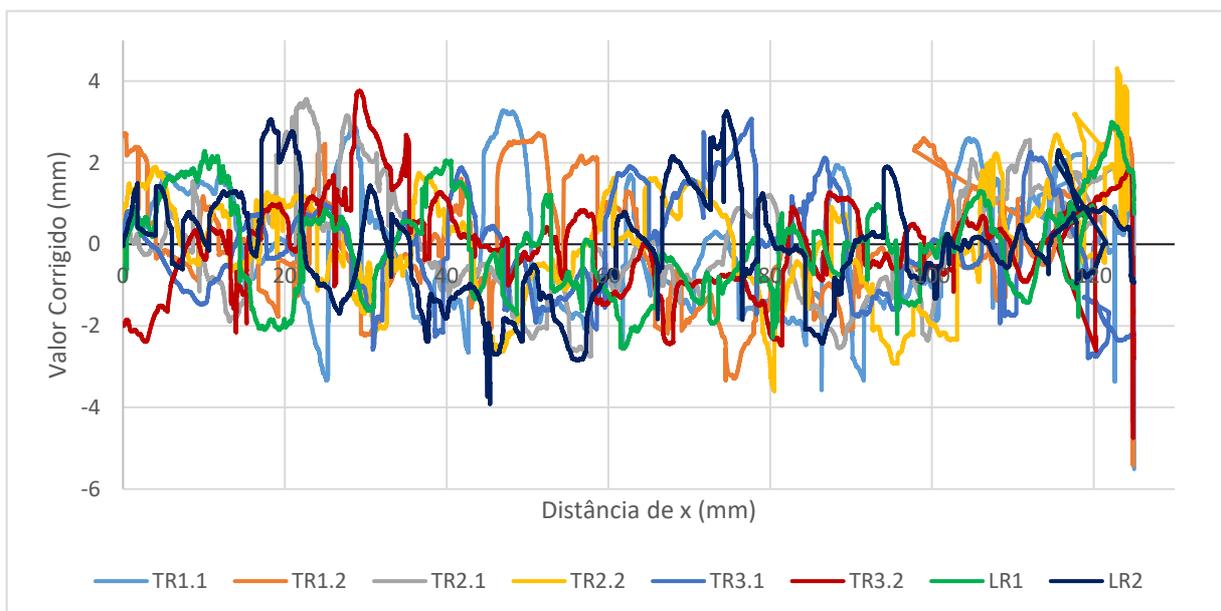
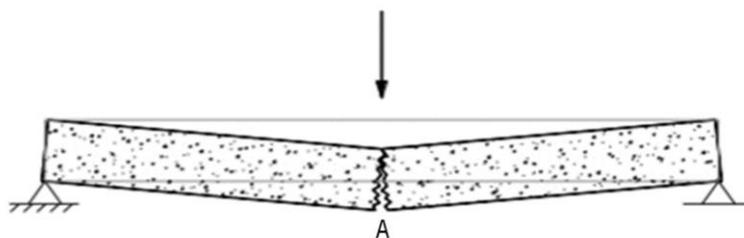


Figura 24. Rugosidade das superfícies rugosas (mm).

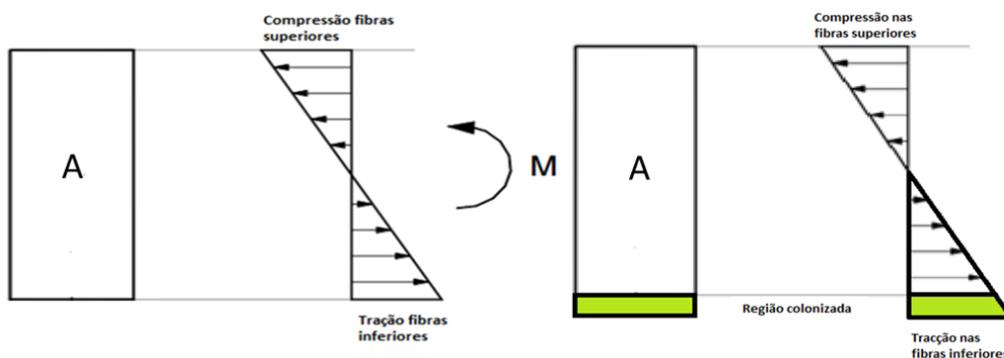
### 3.4.2. Ensaio de Flexão

Após a realização dos ensaios de flexão foi possível obter a resposta força-flecha dos três provetes que se obtiveram a partir de cada substrato. Posteriormente, a partir do valor máximo registado para a força foi possível obter o valor da resistência à tração em flexão. O procedimento que foi seguido para a obtenção destes valores pode ser consultado em Coelho (2017). Este ensaio foi realizado com o intuito de avaliar um potencial aumento da resistência através da influência dos microrganismos colonizadores na região inferior do provete. O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga no centro do provete, estando esta superfície submetida a um momento fletor, originando uma rotura na parte tracionada do provete (superfície inferior do provete) (figura 25).



**Figura 25.** Esquema representativo do ensaio de resistência à flexão, em que "A" representa o local onde ocorre fendilhação.

A tração das fibras inferiores ocorre na secção inferior do provete, sendo que nos provetes colonizados esta tração das fibras surge na região colonizada, contrariamente ao que acontece nos provetes de controlo (figura 26). Para o cálculo da resistência à tração em flexão nos substratos rugosos, o valor da secção do substrato que foi utilizado foi obtido subtraindo-se à espessura do substrato o valor de 4mm (tamanho dos grãos de agregados que foram adicionados à superfície para criar a rugosidade). Isto permite remover a diferença entre as superfícies rugosas e lisas, podendo assim comparar-se com maior precisão.



**Figura 26.** Esquema da flexão da secção "A" nos provetes de controlo e colonizados, onde a rotura se dá por tração.

Pela análise dos resultados obtidos é possível verificar que em todas as superfícies ocorre um aumento elevado da resistência da primeira para a segunda amostragem. A partir da segunda amostragem é evidente uma estabilização dos valores para todos os tipos de superfície. Em geral, não se verificaram diferenças entre as diversas superfícies de teste e os respectivos substratos de controlo, assim como entre as superfícies de diferentes rugosidades (figura 27).

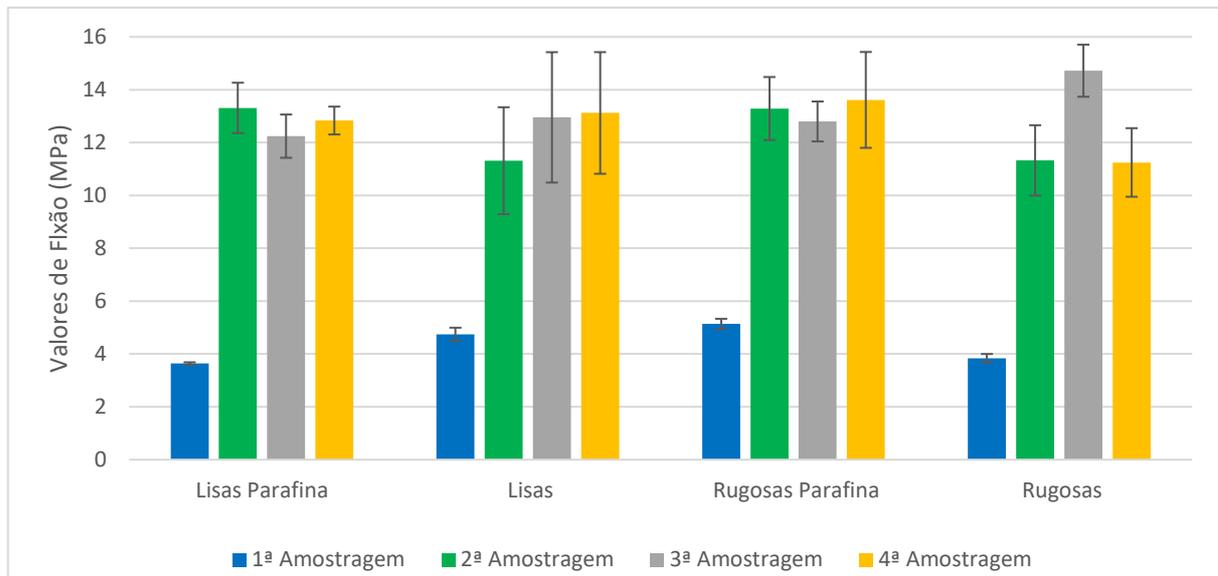
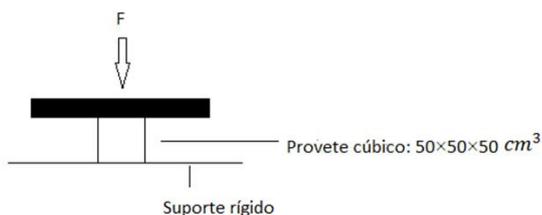


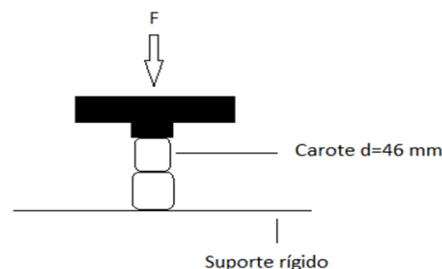
Figura 27. Valores da resistência à flexão.

### 3.4.3. Ensaios de Compressão

Tal como no procedimento de ensaio à flexão, também o procedimento que foi seguido para a obtenção destes valores pode ser consultado em Coelho (2017). Os ensaios realizados nos provetes da primeira amostragem foram efetuados recorrendo-se a uma prensa em que é aplicada uma força crescente a uma velocidade constante de  $2,4 \text{ kN/s}$ , até se atingir a rotura do provete (figura 28). Nas restantes amostragens recorreu-se a uma prensa semelhante, em que é aplicado um deslocamento axial crescente a uma velocidade de  $0,3 \text{ mm/s}$  (figura 29).

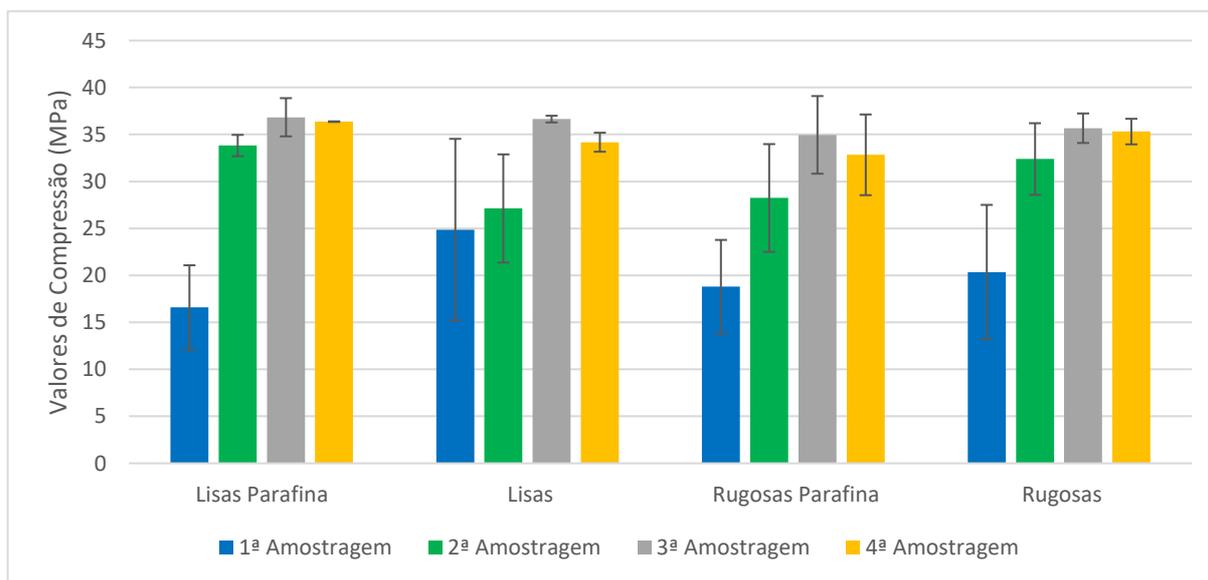


**Figura 28.** Esquema representativo do ensaio à compressão nos provetes da primeira amostragem.



**Figura 29.** Esquema representativo do ensaio à compressão "prensa hidráulica nas 3 últimas amostragens.

Através da análise dos resultados obtidos a partir dos ensaios de compressão foi possível verificar que para todos os tipos de superfícies se obtém um ligeiro aumento da resistência da primeira para a segunda amostragem, com exceção das superfícies lisas com parafina, onde se verifica um aumento elevado. A partir da segunda amostragem é evidente uma estabilização dos valores de resistência para todos os tipos de superfície. Em geral, não se verificaram diferenças significativas entre as evoluções das resistências observadas nos provetes das diferentes superfícies e os respetivos provetes de controlo, assim como entre as superfícies de diferentes rugosidades (figura 30).



**Figura 30.** Valores da resistência à compressão.

### 3.4.4. Comparação entre resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à flexão e raiz quadrada da resistência à compressão

De modo a separar o possível efeito da colonização à superfície no aumento da resistência dos substratos do efeito da hidratação secundária, devido ao contacto com a água do mar, fez-se uma comparação entre os ensaios de resistência à tração em flexão e a raiz quadrada da resistência à compressão. A linha de tendência obtida apresenta um valor de  $R^2$  superior ( $R^2=0,8159$ ) ao obtido usando uma regressão linear ( $R^2=0,7954$ ) (Coelho 2017). Assim, verificou-se que o aumento de ambas as resistências não é linear, sendo que ocorre um maior aumento da resistência de flexão em relação à resistência de compressão ao longo do tempo (figura 31).

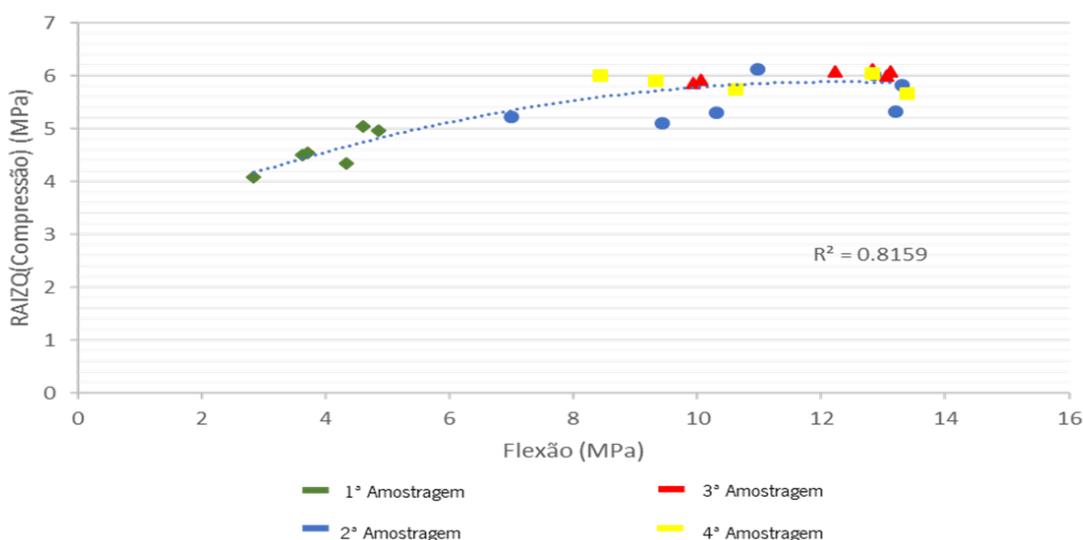


Figura 31. Correlação raiz quadrada da resistência à compressão vs resistência à flexão.

## CAPÍTULO 4: DISCUSSÃO, CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

---



## 4.1. Discussão

Uma parte significativa das estruturas à base de betão encontram-se em zonas costeiras, local onde a maior parte da população habita. Estas estruturas encontram-se constantemente expostas à água do mar, hidrodinamismo, salinidade, meteorização por parte de sedimentos, penetração de cloreto, carbonatação e colonização. A exposição a estes fatores afeta a resistência mecânica das estruturas e a sua durabilidade (Hari et al. 2011; Polder & De Rooij 2005; Silva & Naik 2013; Tang et al. 2015; Hughes 2014)

O processo de biodeterioração é de bastante difícil avaliação, devido à dificuldade que existe em separar o efeito dos organismos dos restantes processos que afetam as estruturas. O facto de esta exposição ser contínua, dificulta o seu estudo de modo isolado (Silva & Naik 2013).

De forma a colmatar a falta de estudos acerca do efeito dos organismos marinhos na resistência mecânica das estruturas, é necessário avaliar qual o impacto que estes têm nestas estruturas, avaliando-se a sequência dos processos de colonização das comunidades de macrofauna e macroflora, incluindo a identificação dos organismos que surgem durante este processo e durante as suas várias etapas. É também necessário avaliar os efeitos que estes organismos produzem sobre os substratos que colonizam, as características dos substratos que influenciam os processos de colonização e o efeito de todos estes fatores nas características físicas e mecânicas dos substratos, incluindo a sua resistência.

### 4.1.1. Avaliação da Macroflora

Os resultados obtidos na primeira amostragem mostram que as superfícies com apenas 1 mês de imersão não apresentavam macroalgas, tendo apenas um biofilme a cobrir as superfícies.

As macroalgas surgiram entre a primeira e segunda amostragem, sendo o género *Ulva* a primeira macroalga a colonizar. Estas algas são caracterizadas como pioneiras na colonização, ocupando grande parte do espaço inerte (Valiela 2015). Os esporos do género *Ulva* exibem um comportamento móvel e seletivo quanto às superfícies adequadas para colonização, encontrando-se adaptados a colonizar substratos inertes ou espaços deixados disponíveis pelas tempestades de Inverno ou outros distúrbios. A determinação da adequação das superfícies vai ter em conta algumas propriedades, tais como a presença de outros organismos, os parâmetros químicos da superfície e a sua topografia. Uma vez encontrada a superfície apropriada, sucede a colonização destes esporos, moldando-se à forma do substrato e produzindo um adesivo fixador (Myan et al. 2013; Schumacher et al. 2007). Estas algas surgem em maior quantidade nas estações de Primavera e Verão, sendo uma alga sazonal, a qual tende a desaparecer no Outono e Inverno (Turner 1983; Kim et al. 2004).

O aparecimento da *Ulva* sp. foi visualizado 4 meses e 13 dias (segunda amostragem) após a imersão dos substratos na água, tempo esse que vai de encontro com Hirata (1992), o qual indica que o aparecimento da *Ulva* sp. surge 4 meses após a imersão de substratos. Nesta amostragem verificam-se também os níveis máximos de cobertura de alga, com níveis de 4 a 8 em superfícies lisas e níveis de 6 e 8 em superfícies rugosas. A área de cobertura reduziu na terceira amostragem, apresentando níveis de cobertura em superfícies lisas entre 0 e 2 e em superfícies rugosas entre 0 e 6. Na quarta amostragem a área de cobertura verificou-se quase inexistente, apresentando níveis de cobertura entre 0 e 3 em superfícies lisas, já em superfícies rugosas estes valores variam entre 1 e 2 (tabela 7).

A topografia das superfícies vai ter um papel importante na colonização dos esporos da *Ulva* sp.. As depressões apresentadas em superfícies rugosas vão ser um bom local para a colonização destes esporos, influenciando a hidrodinâmica da superfície através da redução do fluxo de fluido nestes locais. A redução do fluxo de fluido diminui o stress hidrodinâmico, aumentando a probabilidade de retenção de esporos. As superfícies lisas apresentam menor aptidão para a sustentação da *Ulva* sp. devido a uma maior repercussão hidrodinâmica (Myan et al. 2013).

Através da figura 22 é possível verificar a diminuição da densidade a partir da segunda amostragem, sendo também visível que na quarta amostragem surgem outras espécies de algas (algas castanhas), substituindo o que antes era ocupado por *Ulva* sp.. Esta diminuição deveu-se à elevada sedimentação ocorrida entre a segunda e terceira amostragem, a qual levou ao enterramento parcial ou total de alguns substratos, criando-se assim um ambiente anóxico o qual afetou a abundância das macroalgas. A diminuição dos níveis de cobertura pode também ter sucedido devido à época do ano (Outono e Inverno), sendo esta uma época onde surgem tempestades e conseqüentemente elevadas forças hidrodinâmicas, as quais afetam a densidade de alga nas superfícies (Turner 1983). Tal como foi verificado por Hirata (1992), sobreveio uma diminuição considerável na densidade de área coberta no Inverno

A partir da terceira amostragem existem também diferenças entre os dois tipos de superfícies, onde as superfícies lisas em comparação com as rugosas se encontravam praticamente descolonizadas. As superfícies lisas apresentam menor aptidão para sustentar a *Ulva* sp., nas estações do Outono e Inverno, devido a uma menor complexidade em relação às superfícies rugosas, estando suscetíveis a uma maior influência hidrodinâmica. Não obstante, os níveis de cobertura diminuem em ambas as superfícies devido à elevada sedimentação e à sazonalidade da *Ulva* sp.. Quanto a outras algas, o comportamento das superfícies lisas pode ser diferente, pois na quarta amostragem surgem algas diferentes com cobertura de nível 3. Seria necessário maior tempo de avaliação do comportamento das

superfícies para compreender o comportamento destas quanto à colonização de outras macroalgas e quanto ao suporte desta mesma colonização.

#### 4.1.2. Comparação entre Superfícies Rugosas e Lisas ao Nível da Macrofauna

Os resultados obtidos demonstram que relativamente à riqueza específica de espécies ( $p=0,386$ ) e abundância de macroinvertebrados ( $p=0,247$ ) não existem diferenças estatisticamente significativas entre as superfícies lisas e rugosas, mostrando assim que ambas as superfícies se assemelham ao nível da colonização. A segunda amostragem coincide com o Verão, período em que se atinge o pico de colonização, não constituindo estas rugosidades um fator diferenciador. No entanto, julga-se haver diferenças na comparação entre as superfícies na terceira e na quarta amostragem. Pensa-se que pelo facto de as superfícies rugosas terem maior complexidade, estas conseguem suportar com maior sucesso as comunidades de macroinvertebrados, resistindo ao hidrodinamismo e ao incremento de sedimentos presentes nas estações do Outono e Inverno. Acresce que, as superfícies rugosas parecem ter a capacidade de reduzir a mortalidade de juvenis, através da redução da velocidade do fluxo da água e consequentemente da capacidade de remoção (Wahl & Hoppe 2002; Railkin 2005).

Comparando ambas as texturas quanto à abundância de espécies associadas, o género *Circeis* sp. é aquele que maior diferença apresenta. Este género encontra-se ligado maioritariamente a superfícies lisas. A explicação reside no facto de a superfície lisa oferecer uma base de fixação com menor complexidade e mais adequada (Railkin 2005). Outras 3 espécies pertencentes à Família *Serpulidae* (*Circeis* sp., *Spirorbis tridentatus*, *Spirorbis spirorbis* e *Janua heterostropha*) estão também maioritariamente associadas a superfícies lisas. Esta Família é de um tipo de poliquetas que criam tubos calcários, sendo essencial um habitat que lhes forneça uma base de fixação lisa para a sua aderência, sendo este o caso das condições providenciadas por esta textura. No caso destes organismos, a textura das superfícies rugosas, devido a uma maior complexidade, manifesta-se negativamente na colonização destes organismos, não sendo assim adequada. Relativamente às restantes espécies sésseis, a sua abundância está igualmente associada a ambas as texturas. Neste caso a textura não teve influência na colonização, podendo as superfícies rugosas ter uma rugosidade reduzida para que haja diferenças das comunidades entre as texturas.

Quanto ao índice de diversidade e de equitabilidade, não existem diferenças estatisticamente significativas entre as superfícies lisas e rugosas ( $p>0,05$ ), não tendo estas texturas, ao nível de complexidade, relevância na colonização das comunidades de macrorganismos (figura 14 e 15).

Ao nível da composição de espécies de cada superfície, não foram observadas dissimilaridades, criando-se assim um único grupo no qual estão inseridas todas as amostras (figura 16). Este resultado vem a confirmar-se através do teste ANOSIM, o qual demonstra não haver diferenças estatisticamente significativas entre as superfícies lisas e rugosas (ANOSIM:  $r=0,296$ ). É também possível observar através da exclusividade de espécies que ambas as texturas partilham 31 espécies, havendo uma elevada similaridade.

Concluindo a avaliação da macrofauna colonizadora na segunda amostragem entre ambas as texturas, foi possível verificar que na Primavera e Verão não se verificam diferenças. Ambas as texturas tiveram comportamentos semelhantes, podendo diferenciar-se aquando a aproximação do Outono e Inverno e conseqüentemente um aumento da sedimentação e de hidrodinamismo.

#### 4.1.3. Avaliação da Macrofauna ao Longo das Amostragens

Relativamente à avaliação da diversidade taxonómica da macrofauna ao longo do tempo, os resultados obtidos ao nível da riqueza de espécies demonstraram que existem diferenças estatisticamente significativas entre a segunda e a quarta amostragem ( $p=0,017$ ) (figura 17).

Os resultados obtidos na abundância de organismos demonstram diferenças estatisticamente significativas entre a segunda e a quarta amostragem ( $p<0,001$ ) e entre a terceira e quarta amostragem ( $p=0,005$ ) (figura 18).

A segunda amostragem é aquela que apresenta maior riqueza e abundância, devido ao facto de o Verão representar o pico de colonização de alga *Ulva sp.*, conduzindo a um aumento da colonização de macroinvertebrados. A partir da segunda amostragem, tal como ocorreu com as macroalgas, também a abundância e riqueza de macrorganismos foram diminuindo ao longo do tempo. Esta diminuição deveu-se à elevada sedimentação que se fez surgir a partir desta amostragem, levando ao enterramento parcial ou total de alguns substratos, conduzindo à descolonização dos macrorganismos. A quarta amostragem é a que apresenta menor riqueza e abundância. Isto não só se deveu à elevada sedimentação, mas também à altura do ano. Esta altura coincide com o Inverno, período em que surgem tempestades e condições rigorosas para a sobrevivência de *Ulva sp.* e da macrofauna, tal como foi verificado por Kim et al. (2014), observando que a intensidade de distúrbios físicos pode afetar a estrutura das comunidades macrobentónicas. Dethier (1982) verificou também que a composição de espécies em poças de maré depende da época do ano, havendo diferenças entre o Verão e o Inverno.

Através do índice de diversidade e de equitabilidade, não se verificam diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) (figuras 19 e 20). Ocorre então equitatividade na distribuição de indivíduos por espécie, não havendo espécies a dominar.

Ao nível da composição de espécies de cada tempo de amostragem das superfícies rugosas, não foram observadas diferenças através do CLUSTER, criando-se assim um único grupo no qual estão incluídas todas as amostras (figura 21). Isto é confirmado através do teste ANOSIM ( $p=0,083$ ) não se verificando diferenças estatisticamente significativas.

Através da avaliação biológica é possível verificar, aquando de condições hidrodinâmicas adversas e de sedimentação, diferenças na comparação dos organismos macrobentônicos colonizadores em superfícies rugosas e lisas e ao longo do tempo. O primeiro macrororganismo a colonizar os substratos inertes é a *Ulva sp.*, sendo esta uma macroalga oportunista que apresenta seletividade quanto às superfícies de colonização. Na Primavera e Verão, esta atinge níveis máximos de cobertura e conseqüentemente maior colonização de macroinvertebrados, quer em superfícies lisas quer em rugosas. Aquando da aproximação do Inverno surge o aumento de stress abiótico (aumento de hidrodinamismo e incremento de sedimentos), resultando numa diminuição das comunidades macrobentônicas. Ainda assim, em alturas de condições desfavoráveis, as superfícies rugosas apresentam maior capacidade de suporte de macrororganismos. De forma a colmatar os problemas que advêm da sedimentação e do hidrodinamismo na zona Intertidal, seria importante submergir os substratos numa zona Subtidal, onde não ocorre stress devido à emersão/dissecação nem ocorre uma elevada sedimentação.

#### 4.1.4. Rugosidade

Atendendo à avaliação da rugosidade das duas superfícies rugosas em estudo, verifica-se que este parâmetro é aproximadamente constante para o mesmo tipo de substrato, tanto quando se avaliam as medições efetuadas no mesmo provete como as que resultaram de provetes diferentes. Foram obtidos valores médios de rugosidade de  $1,58 \pm 0,14$  e  $1,48 \pm 0,33$  para ambos os provetes estudados, e coeficientes de variação de 8,83% e 22,48% respetivamente, sendo que estes valores podem ser considerados como aceitáveis e reveladores de uma razoável uniformidade das características superficiais obtidas para os provetes rugosos (figura 24). A obtenção de características de rugosidade aproximadamente uniformes foi importante para o estudo realizado, dado que segundo a literatura esta é uma característica que influencia significativamente os processos de colonização.

Relativamente à avaliação do nível de rugosidade das duas superfícies rugosas, verificaram-se valores médios de rugosidade de  $1,53 \pm 0,25$  com um coeficiente de variação de 16,46%. Estes valores indicam uma representatividade da rugosidade dos substratos rugosos.

Quanto à rugosidade das duas superfícies lisas, as medições efetuadas nos dois substratos analisados resultaram em valores médios de rugosidade de  $0,15 \pm 0,06$  e  $0,15 \pm 0,11$  e coeficientes de variação de 41,19% e 75,11% respetivamente. Os valores obtidos para o coeficiente de variação são elevados, no entanto são relativos a valores de rugosidade muito baixos (tratam-se de percentagens elevadas de valores baixos), pelo que se pode considerar que a rugosidade obtida nos provetes lisos é bastante uniforme. Atendendo ao nível de rugosidade de ambos os substratos lisos, verifica-se uma rugosidade média de  $0,15 \pm 0,09$  e um coeficiente de variação de 58,2%. Estes valores demonstram que existe uma uniformidade razoável do nível de rugosidade obtido em diferentes substratos quer em zonas centrais quer nos bordos das superfícies (figura 23).

Atendendo aos resultados obtidos durante os ensaios de medição da rugosidade efetuados, pode concluir-se que o processo de fabrico dos substratos resultou em provetes distintos de características suficientemente uniformes, possibilitando uma avaliação coerente dos processos de colonização e da sua influência na evolução das propriedades físicas e mecânicas dos substratos.

#### **4.1.5. Resistência mecânica**

Considerando os resultados obtidos nos ensaios de resistência à flexão, foi possível observar que para todos os tipos de superfície a resistência aumentou entre a primeira e a segunda amostragem, tendo exibido variações menos evidentes nas amostragens seguintes (figura 27). Considerando os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, parece ter havido uma evolução da resistência essencialmente semelhante à observada para a resistência à flexão (figura 30). Deste modo, tudo parece indicar que terá ocorrido a hidratação da matriz de betão em resultado da colocação dos substratos na água, devido à exposição à água do mar, resultando num incremento da rigidez da matriz e consequente aumento da resistência do betão (Metha 2003). No entanto a verdadeira razão que suporta esta possível re-hidratação da matriz cimentícia não ficou esclarecida neste trabalho, visto que os substratos foram colocados no mar quase 8 meses após a mistura e moldagem dos mesmos, exatamente para que fosse evitada a evolução da resistência do betão durante a realização dos ensaios de exposição ao efeito da colonização. Na primeira amostragem observou-se ainda que os desvios-padrão obtidos para os resultados da resistência à compressão foram elevados, devido ao facto de se ter utilizado

uma geometria diferente para os provetes (cubos em vez de cilindros) e um sistema de ensaio à compressão diferente.

Considerando a comparação dos resultados obtidos para os diferentes tipos de superfície e os respetivos provetes de controlo, nos quais a superfície de colonização foi selada, não foi possível verificar diferenças significativas. Deste modo, é provável que os organismos colonizadores que surgiram nos provetes expostos não tenham produzido um efeito suficientemente relevante no aumento da resistência à superfície do betão. Isto pode dever-se ao facto de a maioria dos organismos colonizadores observados serem oportunistas e móveis. Kawabata et al. (2012) conclui com o seu trabalho que os organismos sésseis libertam calcite e substâncias proteicas, formando uma membrana basal capaz de impedir a penetração de iões de cloreto, aumentando a resistência do betão a longo prazo. A ausência destes pode explicar o facto de não se terem observado diferenças entre as diferentes superfícies e os correspondentes provetes de controlo. Para a colonização de organismos sésseis seria necessário um maior tempo de colonização. Outros fatores que poderão ter contribuído para uma maior dispersão de resultados e, conseqüentemente, uma maior dificuldade em distinguir o potencial contributo dos organismos colonizadores para a evolução das características físicas e mecânicas à superfície dos provetes, estão relacionadas com diversas dificuldades relacionadas com as condições hidrodinâmicas, sedimentação e o local de amostragem, os quais poderão ter influenciado os resultados relativos à resistência mecânica dos substratos. Na altura do Outono e Inverno ocorreram tempestades intensas que resultaram em elevadas forças hidrodinâmicas e conseqüentemente na instabilização de alguns substratos, tendo mesmo deslocado e tombado alguns destes, apesar do suporte conferido pela base. Como este fator é aleatório, pode ter levado à ocorrência de danos com intensidade diferente em diferentes substratos, levando à dispersão de valores. Também o aumento da sedimentação a partir da segunda amostragem poderá ter influenciado os resultados obtidos. Alguns substratos ficaram total ou parcialmente enterrados, criando-se assim um ambiente anóxico. Nestas condições verifica-se a existência de compostos como o nitrato e sulfato, os quais podem interferir na resistência dos substratos ao longo do tempo e levar à descolonização dos macrorganismos nos locais da superfície que se encontravam enterrados. Relativamente ao local de amostragem, também este poderá ter contribuído para a acentuada dispersão de resultados. Pelo facto de o estudo se localizar numa zona intertidal rochosa e existirem irregularidades no solo, não foi possível a colocação de um elevado número de substratos numa zona homogénea e com orientação semelhante. Estas irregularidades dificultam a colocação dos substratos em condições de exposição semelhantes à ondulação. Alguns substratos foram também colocados entre rochas e outros em locais mais expostos ao efeito da ondulação.

De forma a aferir se o aumento da resistência se deveu a alterações na matriz e/ou aos organismos colonizadores que surgiram à superfície, foram comparados ambos os resultados dos ensaios de resistência mecânica. Através da comparação entre a resistência à flexão e a raiz quadrada da resistência à compressão, foi possível verificar o aumento de ambas as resistências ao longo do tempo. No entanto este aumento não foi proporcional, tendo-se obtido melhores coeficientes de correlação para regressões diferentes da linear (figura 31). O aumento ao longo do tempo foi maior para o valor da resistência à flexão do que para o valor da raiz quadrada da resistência à compressão, não ocorrendo uma evolução linear de ambas as resistências, tal como é verificado por Guerra (2013), no qual indica que a resistência à tração em flexão cresce aproximadamente na mesma proporção que o valor da raiz quadrada da resistência à compressão. Isto pode sugerir que, apesar de tudo, ocorreram processos que não foram possíveis caracterizar à superfície dos substratos que conduziram a um aumento da resistência superficial maior relativamente à resistência geral (incluindo o interior dos substratos). Este aumento da resistência é aparentemente maior entre a primeira e a segunda amostragem, coincidindo com um período mais intenso dos processos de colonização por parte dos macrorganismos, podendo eventualmente estes ter contribuído positivamente para o aumento da resistência mecânica nos substratos inertes.

#### 4.1.6. Conclusões e Perspetivas Futuras

Cerca de 9 meses após a imersão dos substratos artificiais numa zona intertidal, é possível concluir que houve uma maior colonização no período de Verão, sendo a *Ulva sp.* a primeira macrocolonizadora. A partir da segunda amostragem (Outono) sobreveio uma diminuição ao nível da riqueza e abundância dos organismos macrobentónicos, coincidindo com a época de maior agitação marinha (Inverno). A diminuição da presença da *Ulva sp.* deve-se à sua sazonalidade e às condições adversas, tendo esta diminuição um impacto na riqueza e abundância de macroinvertebrados. O facto de a maioria dos macroinvertebrados colonizadores serem móveis e livres, pode também justificar esta diminuição.

Na comparação entre as texturas (lisas e rugosas), as superfícies rugosas apresentaram uma maior capacidade de suporte das comunidades macrobentónicas em períodos de maior stress abiótico. Contudo, não surgiram diferenças entre ambas as superfícies na altura da Primavera e Verão.

As características de resistência mecânica aumentaram ao longo do tempo, sendo provável que tenha ocorrido um segundo processo de hidratação do betão proporcionado pelo contacto com a água do mar, ainda que se tenha tido o cuidado de colocar os substratos debaixo de água apenas 8 meses após a mistura e moldagem. O aumento da resistência à tração em flexão foi mais acentuado que o da resistência à compressão, não havendo uma proporcionalidade entre estas. Isto permite inferir que terá ocorrido algum processo que conduziu a um aumento da resistência à superfície, podendo esta dever-se ao efeito de macrorganismos colonizadores. No entanto, é necessário mais tempo de imersão dos substratos para se obterem resultados mais conclusivos.

Atendendo ao facto de o presente trabalho de investigação decorrer num período de tempo limitado, não foi possível realizar um estudo mais aprofundado. No entanto, futuramente, diversas avaliações poderão ser realizadas de forma a permitir a obtenção de resultados mais conclusivos. Como perspectivas futuras, sugere-se uma avaliação durante um maior período de tempo e em diferentes locais, tais como a zona Subtidal. Relativamente ao local de amostragem, seria importante em trabalhos futuros a colocação dos substratos num local mais homogéneo relativamente à exposição dos substratos e devem ser evitados locais com risco de sedimentação, tal como a zona intertidal. Seria também importante verificar novos ciclos de colonização ao longo das diferentes estações do ano e obter comunidades mais estáveis e com maior riqueza e abundância de organismos sésseis. Relativamente às EA seria importante ter uma maior diversidade de complexidades (rugosidades), avaliando-se a sua influência na colonização. Por fim, com um maior tempo de colonização, pretende-se perceber se realmente os organismos têm influência na resistência mecânica e consequente durabilidade dos substratos, com o objetivo de obter um processo mais ecológico na proteção de substratos inertes à base de betão e uma promoção da colonização por parte dos mesmos substratos.



## BIBLIOGRAFIA

---



## Referências bibliográficas

- Abo-el-enein, S.A., Ali, A.H. & Talkhan, F.N., 2013. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar. *HBRC Journal*, 9(1), pp.36–40. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2012.10.004>.
- Acheampong, A., Adom-Asamoah, M., Ayarkwa, J., Afrifa, R., 2013. Comparative study of the physical properties of palm kernel shell concrete and normal concrete in Ghana. , (February 2016).
- Araújo, R. et al., 2006. Macroalgal communities of intertidal rock pools in the northwest coast of Portugal. *Acta Oecologica*, 30(2), pp.192–202.
- Atilla, N., Wetzel, M.A. & Fleeger, J.W., 2003. Abundance and colonization potential of artificial hard substrate-associated meiofauna. , 287, pp.273–287.
- Baine, M., 2001. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*, 44(3–4), pp.241–259.
- Barbosa, M., 2013. O betão : Definição , caracterização e propriedades.
- Boaventura, D.M., 2000. PATTERNS OF DISTRIBUTION IN INTERTIDAL ROCKY SHORES : THE ROLE OF GRAZING AND COMPETITION.
- Burke, L. et al., 2001. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*,
- Burt, J. et al., 2009. Coral recruitment and early benthic community development on several materials used in the construction of artificial reefs and breakwaters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 373(1), pp.72–78. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2009.03.009>.
- Campbell, A. & Nicholls, J., 2008. *Fauna e Flora do Litoral de Portugal e Europa 3ª*. FAPAS, ed.,
- Carvalho, J.D.N. de, 2008. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. *Revista Tecnológica*, 17(1), pp.19–28.
- Cecilio, T.M.P., 2012. Guia de Identificação Invertebrados Marinhos da Baía de Buarcos Guia de Identificação Invertebrados Marinhos da Baía de Buarcos. , p.97. Available at: <http://hdl.handle.net/10316/24606>.
- Chapman, M.G. & Bulleri, F., 2003. Intertidal seawalls - New features of landscape in intertidal environments. *Landscape and Urban Planning*, 62(3), pp.159–172.
- Coelho, D., 2017. *Estratégias inovadoras na reabilitação de estruturas costeiras face às alterações climáticas*. Universidade do Minho.
- Cooksey, K.E. & Wigglesworth-Cooksey, B., 1995. Adhesion of bacteria and diatoms to surfaces in the sea: A review. *Aquatic Microbial Ecology*, 9(1), pp.87–96.
- Crowe, T.P. et al., 2000. Impacts of anthropogenic stress on rocky intertidal communities. *Journal of*

- Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7(4), pp.273–297.
- Dang, H. & Lovell, C.R., 2016. Для Просмотра Статьи Разгадайте Капчу\_2.Pdf. , 80(1), pp.91–138.
- Dethier, M.N., 1982. Pattern and Process in Tidepool Algae: Factors Influencing Seasonality and Distribution. *Botanica Marina*, 25(2), pp.55–66.
- Dias, J.M.A. et al., 2002. Sediment distribution patterns on the Galicia-Minho continental shelf. *Progress in Oceanography*, 52(2–4), pp.215–231.
- Dobretsov, S., Abed, R.M.M. & Voolstra, C.R., 2013. The effect of surface colour on the formation of marine micro and macrofouling communities. *Biofouling*, 29(February 2014), pp.617–27. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23697809>.
- Dupray, S. et al., 2010. *The use of concrete in maritime engineering - a good practice guide*,
- Evans, L., 2005. *Biofilms: Recent Advances in Their Study and Control*, harwood academic publishers.
- Fauvelot, C. et al., 2012. Do artificial structures alter marine invertebrate genetic makeup? *Marine Biology*, 159(12), pp.2797–2807.
- Ferreira, R., 2000. Avaliação de ensaios de durabilidade do betão. *Universidade do Minho*, p.246. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/40>.
- Firth, L., Thompson, R. & Hawkins, S., 2012. *Eco-Engineering of Artificial Coastal Structures to Enhance Biodiversity: An Illustrated Guide*.
- Firth, L.B. et al., 2014. Biodiversity in intertidal rock pools: Informing engineering criteria for artificial habitat enhancement in the built environment. *Marine Environmental Research*, 102(December), pp.122–130.
- Firth, L.B. et al., 2013. Climate change and adaptational impacts in coastal systems: the case of sea defences. *Environmental science. Processes & impacts*, 15(9), pp.1665–70. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23900344>.
- Guerra, R.S., 2013. Relação entre compressão e resistência à tração do concreto. Available at: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/12/relacao-entre-compressao-e-resistencia.html>.
- Gustavon, K., 2010. Coastal ecosystems and habitats State of the Gulf of Maine report. , (Aquatic habitats), pp.1–20.
- Hari, S. et al., 2011. BIODETERIORATION OF COASTAL CONCRETE STRUCTURES BY MACRO ALGAE - ULVA FASCIATA. , 19(2), pp.154–161.
- Hayward, P. & Ryland, J., 1995. *Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe*, Oxford University Press.

- Henschel, J.R., Branch, G.M. & Cook, P. a., 1990. The colonization of artificial substrata by marine sessile organisms in False Bay. 2. Substratal material. *South African Journal of Marine Science*, 9(November 2014), pp.299–307.
- Hidrográfico, I., 2016. Instituto Hidrográfico. Available at: <http://www.hidrografico.pt/>.
- Hirata, T., 1992. Succession of sessile organisms on experimental plates immersed in Nabeta Bay, Izu Peninsula, Japan V. An integrated consideration on the definition and prediction of succession. *Ecological Research*, 7(1), pp.31–42.
- Huggett, J. & Griffiths, C., 1986. Some relationships between elevation, physico-chemical variables and biota of intertidal rock pools. *Marine Ecology Progress Series*, 29(1983), pp.189–197.
- Hughes, P., 2014. An investigation into marine biofouling and its influence on the durability of concrete sea defences. , (February). Available at: <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.602574%5Cnpapers2://publication/uuid/3C09B448-AF43-4151-B525-EDCE7AEAE0ED>.
- Iwanami, M. et al., 2002. Can Marine Fouling Organisms Extend the Life os Concrete Structures?
- Jayakumar, S. & Saravanane, R., 2010. Archive of SID Biodeterioration of Coastal Concrete Structures by Marine Green Algae Archive of SID. , 8(4), pp.352–361.
- Kawabata, Y., Kato, E. & Iwanami, M., 2012. Enhanced Long-Term Resistance of Concrete with Marine Sessile Organisms to Chloride Ion Penetration. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10(4), pp.151–159. Available at: <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/jact/10.151?from=CrossRef>.
- Kawabata, Y., Kato, M. & Iwanami, M., 2012. Enhanced Long-Term Resistance of Concrete with Marine Sessile Organisms to Chloride Ion Penetration.
- Kim, K.Y. et al., 2004. Physiological ecology and seasonality of *Ulva pertusa* on a temperate rocky shore. *Phycologia*, 43(4), pp.483–492. Available at: <file:///Users/jbro886/Dropbox/Papers3/Library.papers3/Files/8F/8FAE527F-3AE4-4342-B801-0AE260FA61BF.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/17207EFB-235C-4CA5-8398-7F5B75795892>.
- Kim, S. et al., 2014. Effects of intensity and seasonal timing of disturbances on a rocky intertidal benthic community on the southern coast of Korea. *Ecological Research*, 29(3), pp.421–431.
- King, P.A., McGrath, D. & Britton, W., 1990. The use of artificial substrates in monitoring mussel (*Mytilus edulis* L.) settlement on an exposed rocky shore in the west coast of Ireland. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70, pp.371–380. Available at: Mollusc.
- Knox, G. a, 2000. *The Ecology of Seashores*, Available at:

- <http://www.crcpress.com/product/isbn/9780849300080>.
- Langhamer, O., Wilhelmsson, D. & Engström, J., 2009. Artificial reef effect and fouling impacts on offshore wave power foundations and buoys - a pilot study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82(3), pp.426–432.
- Lincoln, R., 1979. *British Marine Amphipoda: Gammaridea 1<sup>a</sup>*, Natural History Museum Publications.
- M.D.Richmond, R.S., 1991. A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling. *The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, pp.151–168.
- Macedo, M., 1999. *Conchas Marinhas de Portugal* Verbo, ed.,
- Martins, G.M. et al., 2007. Community structure and functioning in intertidal rock pools: Effects of pool size and shore height at different successional stages. *Marine Ecology Progress Series*, 329, pp.43–55.
- Metha, K., 2003. Concrete in the Marine Environment. *Cement, Concrete and Aggregates*, 14(1).
- Myan, F.W.Y., Walker, J. & Paramor, O., 2013. The interaction of marine fouling organisms with topography of varied scale and geometry: a review. *Biointerphases*, 8(1), p.27. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24706140>.
- Oksanen, A.J. et al., 2015. Package “vegan.”
- Oleson, J.P. et al., 2006. Reproducing a Roman Maritime Structure with Vitruvian Pozzolan Concrete. *Journal of Roman Archaeology*, 19.1(January 2006), pp.29–52.
- Oleson, J.P. et al., 2004. The ROMACONS project: A contribution to the historical and engineering analysis of hydraulic concrete in Roman maritime structures. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33(2), pp.199–229.
- Pereira, J., 2016. *Estruturas de betão reforçadas com materiais compósitos em ambiente marítimo e concebidas com água do mar*.
- Perkol-Finkel, S., Shashar, N. & Benayahu, Y., 2006. Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. *Marine Environmental Research*, 61(2), pp.121–135.
- Polder, R.B. & De Rooij, M.R., 2005. Durability of marine concrete structures - Field investigations and modelling. *Heron*, 50(3), pp.133–154.
- Raffaelli, D. & Hawkins, S., 1999. *Intertidal ecology*, Kluwer Academic Publishers.
- Railkin, A., 2005. *Marine Biofouling Colonization Processes and Defenses* C. PRESS, ed.,
- Ramakrishnan, V., Panchalan, R.K. & Bang, S.S., 2005. Improvement of Concrete Durability By Bacterial Mineral Precipitation. *International Conference on Fracture*, pp.1–6.
- Ripley, W.N.V. and B.D., 2002. Package “MASS.” *Modern Applied Statistics with S*.

- RStudio Team, 2016. RStudio: Integrated Development Environment for R. Available at: <http://www.rstudio.com/>.
- Safehian, M. & Ramezani-pour, A.A., 2013. Assessment of service life models for determination of chloride penetration into silica fume concrete in the severe marine environmental condition. *Construction and Building Materials*, 48, pp.287–294. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.006>.
- Salta, M. et al., 2013. Marine biofilms on artificial surfaces: Structure and dynamics. *Environmental Microbiology*, 15(11), pp.2879–2893.
- Sarkar, D., 2017. Package “ lattice ” R topics documented :
- Satheesh, S. & Wesley, S.G., 2010. Influence of substratum colour on the recruitment of macrofouling communities. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(5), pp.941–946.
- Schumacher, J.F. et al., 2007. Engineered antifouling microtopographies - effect of feature size, geometry, and roughness on settlement of zoospores of the green alga *Ulva*. *Biofouling*, 23(1–2), pp.55–62. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17453729>.
- Silva, M.R. & Naik, T.R., 2013. Biodeterioration of Concrete Structures in Coastal Zone. *Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, (2001).
- Spagnolo, A. et al., 2014. Patterns of colonization and succession of benthic assemblages in two artificial substrates. *Journal of Sea Research*, 88, pp.78–86.
- Tang, S.W. et al., 2015. Recent durability studies on concrete structure. *Cement and Concrete Research*, 78, pp.143–154.
- Taylor, P., 2009. Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling A REVIEW OF MARINE MACROFOULING COMMUNITIES WITH SPECIAL REFERENCE TO. , (March 2013), pp.37–41.
- Thomason, J. & Dürr, S., 2010. *Biofouling*,
- Thomason, J.C., 2010. *Edited by Simone D* ;
- Thompson, R., Crowe, T. & Hawkins, S., 2002. Rocky intertidal communities: Past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation*, 29(2), pp.168–191. Available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892902000115>.
- Torgal, F.P., 2010. Considerações sobre os produtos de hidratação em argamassas históricas. , pp.17–28.
- Turner, T., 1983. Complexity of early and middle successional stages in a rocky intertidal surfgrass

- community. *Oecologia*, 60(1), pp.56–65.
- Valiela, I., 2015. *Marine Ecological Processes*,
- Veiga, P., Rubal, M. & Sousa-Pinto, I., 2014. Structural complexity of macroalgae influences epifaunal assemblages associated with native and invasive species. *Marine Environmental Research*, 101(1), pp.115–123. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.09.007>.
- Wahl, M., 1989. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Marine Ecology Progress Series*, 58, pp.175–189. Available at: <http://eprints.uni-kiel.de/23173/1/m058p175.pdf><http://www.int-res.com/articles/meps/58/m058p175.pdf>.
- Wahl, M. & Hoppe, K., 2002. Interactions between substratum rugosity, colonization density and periwinkle grazing efficiency. *Marine Ecology Progress Series*, 225(June), pp.239–249.
- Wallenstein, F. et al., 2010. Phytobenthic communities of intertidal rock pools in the eastern islands of Azores and their relation to position on shore and pool morphology. *Arquipelago. Life and Marine Sciences*, 27, pp.9–20. Available at: <http://repositorio.uac.pt/handle/10400.3/666>.
- Walters, L.J. & Wethey, D.S., 1996. Settlement and early post-settlement survival of sessile marine invertebrates on topographically complex surfaces: The importance of refuge dimensions and adult morphology. *Marine Ecology Progress Series*, 137(1–3), pp.161–171.
- Wang, A.Y. et al., 2017. Package “mvabund.”
- White, G.E., Hose, G.C. & Brown, C., 2015. Influence of rock-pool characteristics on the distribution and abundance of inter-tidal fishes. *Marine Ecology*, 36(4), pp.1332–1344.





## Anexo 1

**Tabela 8.** Abundância de organismos por espécie e seu total por Filo ao longo do tempo em superfícies lisas e rugosas.

Filo	Espécies	Tempo 1		Tempo 2		Tempo 3		Tempo 4	
		Rugosas	Lisas	Rugosas	Lisas	Rugosas	Lisas	Rugosas	Lisas
Echinodermata	<i>Asterina phylactica</i>	0	0	53	35	6	1	1	0
	<i>Asterina gibbosa</i>	0	0	6	6	0	0	0	0
	<i>Asterias rubens</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Paracentrotus lividus</i>	0	0	16	9	5	0	0	0
	<i>Amphipholis squamata</i>	0	0	202	231	106	0	22	1
	<i>Ophiothrix fragilis</i>	0	0	4	2	1	0	0	0
	<b>Total</b>	0	0	281	284	118	1	23	1
Mollusca	<i>Acanthochitona crinita</i>	0	0	3	3	3	0	1	0
	<i>Lepidochitona cinerea</i>	0	0	4	11	4	1	1	1
	<i>Bittium reticulatum</i>	0	0	26	65	10	0	0	0
	<i>Littorina littorea</i>	0	0	34	15	0	0	0	0
	<i>Littorina saxatilis</i>	0	0	14	2	2	1	6	3
	<i>Barleeia unifasciata</i>	0	0	15	14	31	0	0	1
	<i>Rissoa parva</i>	0	0	22	5	49	23	1	13
	<i>Pusillina sarsii</i>	0	0	0	17	0	0	0	0
	<i>Pusillina inconspicua</i>	0	0	6	3	10	1	0	6
	<i>Pusillina lineolata</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Manzonina crassa</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Alvania rudis</i>	0	0	0	1	0	0	1	0
	<i>Hydrobia hartmann</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Ecrobia truncata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Tornus subcarinatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Vitrolina antillexa</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Thylacodes arenarius</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Raphitoma linearis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Ocenebrina aciculata</i>	0	0	15	1	0	0	0	0
	<i>Ocenebrina edwardsii</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Epitonium nanum</i>	0	0	0	2	0	0	0	0
	<i>Nucella lapillus</i>	0	0	0	0	3	0	0	0
	<i>Tritia incrassata</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Gibbula umbilicalis</i>	0	0	11	21	10	1	3	2
	<i>Gibbula cineraria</i>	0	0	2	1	0	0	0	0
	<i>Monodonta sp.</i>	0	0	0	0	1	0	1	0
	<i>Phorcus lineatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Tricolia sp.</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Tricolia pullus</i>	0	0	1	0	4	0	0	0
	<i>Tectura virginea</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Patella caerulea</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	

	<i>Musculus costulatus</i>	0	0	3	2	1	0	0	0
	<i>Mytilus edulis</i>	0	0	0	2	0	0	3	0
	<i>Hiatella arctica</i>	0	0	0	0	3	0	0	0
	<b>Total</b>	0	0	163	168	133	28	19	26
<b>Arthropoda</b>	<i>Ammothella longipes</i>	0	0	1	2	1	0	1	1
	<i>Melita palmata</i>	0	0	1	2	0	0	0	0
	<i>Microdeutopus sp.</i>	0	0	32	37	29	0	0	0
	<i>Microdeutopus damnoniensis</i>	0	0	1	1	0	0	1	0
	<i>Microdeutopus chelifera</i>	0	0	1	0	0	0	2	0
	Familia Aoridae	0	0	16	0	0	0	0	0
	<i>Gammarella fucicola</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Amphilocheus sp.</i>	0	0	10	7	0	0	0	0
	<i>Jassa marmorata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
	Familia Pleustidae	0	0	0	0	1	0	0	0
	Familia Lysianassidae	0	0	0	0	2	0	0	0
	<i>Elasmopus rapax</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Pagurus bernhardus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Hyppolyte varians</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Cirolana cranchi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Anthura gracilis</i>	0	0	1	1	2	0	0	0
	<i>Idotea pelagica</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Tanais dulongii</i>	0	0	2	0	3	0	0	0
	<b>Total</b>	0	0	68	52	40	0	4	1
<b>Annelida</b>	<i>Circeis sp.</i>	0	0	26	181	0	0	0	0
	<i>Spirorbis tridentatus</i>	0	0	2	32	0	0	2	0
	<i>Spirorbis spirorbis</i>	0	0	2	34	0	0	0	0
	<i>Janua heterostropha</i>	0	0	0	24	0	0	0	0
	<i>Hediste diversicolor</i>	0	0	11	6	13	0	0	0
	<i>Platynereis dumerilii</i>	0	0	29	29	16	0	2	0
	Familia Nereididae	0	0	7	6	9	1	0	0
	<i>Harmothoe sp.</i>	0	0	8	7	1	0	0	0
	<i>Eteone sp.</i>	0	0	2	0	1	0	0	0
	<i>Syllis sp.</i>	0	0	1	1	0	0	0	0
	<i>Oligochaeta</i>	0	0	13	26	6	0	0	0
		<b>Total</b>	0	0	101	346	46	1	4

**Tabela 9.** Valores de rugosidade transversal (TL) e longitudinal (LL) das superfícies lisas (Ra - rugosidade média; Rq - desvio quadrático médio; Rv – valor máximo dos vales; Rp – valor máximo dos picos; Rt – valor máximo do perfil analisado).

	TL1.1	TL1.2	TL2.1	TL2.2	TL3.1	TL3.2	LL1	LL2
<b>Ra</b>	0.173	0.124	0.137	0.083	0.095	0.224	0.262	0.100
<b>Rq</b>	0.196	0.155	0.156	0.095	0.120	0.277	0.298	0.121
<b>Rv</b>	-0.755	-0.344	-0.446	-0.294	-0.411	-0.490	-0.688	-0.373
<b>Rp</b>	0.334	0.464	0.478	0.207	0.298	0.645	0.403	0.318
<b>Rt</b>	1.088	0.808	0.924	0.501	0.709	1.134	1.091	0.691

**Tabela 10.** Valores de rugosidade transversal (TR) e longitudinal (LR) das superfícies rugosas (Ra - rugosidade média; Rq - desvio quadrático médio; Rv – valor máximo dos vales; Rp – valor máximo dos picos; Rt – valor máximo do perfil analisado).

	TR1.1	TR1.2	TR2.1	TR2.2	TR3.1	TR3.2	LR1	LR2
<b>Ra</b>	1.549	1.734	1.507	1.297	1.265	1.265	1.557	1.829
<b>Rq</b>	1.609	1.813	1.533	1.479	1.349	1.502	1.495	1.688
<b>Rv</b>	-4.317	-4.863	-3.781	-3.946	-4.053	-4.919	-4.075	-4.458
<b>Rp</b>	4.158	4.421	3.721	3.354	4.126	3.894	2.856	4.277
<b>Rt</b>	8.475	9.284	7.502	7.299	8.180	8.813	6.931	8.734