

***Potencial da aquacultura offshore ou em zonas  
costeiras de Portugal***



Miguel Maria Guimarães Bonneville Mendes Mosqueira

***Potencial da aquacultura offshore ou em zonas  
costeiras de Portugal***

Miguel Maria Guimarães Bonneville Mendes Mosqueira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Aquacultura

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação da Doutora Carla Palma e da  
Doutora Ana Pombo

# ***Potencial da aquacultura offshore ou em zonas costeiras de Portugal***

Copyright © Miguel Maria Guimarães Bonneville Mendes Mosqueira

Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar – Peniche

Instituto Politécnico de Leiria, 2021

A Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar e o Instituto Politécnico de Leiria têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Gostava de agradecer às seguintes pessoas, que foram muito importantes e fundamentais na realização desta dissertação, uma das mais cruciais etapas da minha vida:

- Aos coordenadores Doutora Calma Palma, Doutora Professora Ana Pombo e ao Doutor Carlos Borges pela orientação, sabedoria e conselhos durante o percurso da tese.
- À minha família pelo apoio que me proporcionou todos os dias.
- À minha namorada pela paciência, ajuda e amor, que mesmo em dias difíceis, esteve sempre presente.
- A todos os colaboradores do IH que estiveram directamente, e indirectamente, envolvidos no desenvolvimento da dissertação, desde os meus companheiros de gabinete, laboratório e divisão, até à tripulação do navio N.R.P. Almirante Gago Coutinho, com quem tive o prazer de conviver durante o estágio.
- Aos meus amigos pelo apoio e conselhos que me deram ao longo desta etapa.

## Resumo

A aquacultura é uma área em rápido crescimento e em 2030 espera-se que a produção atinga as 109 milhões de toneladas. A necessidade de aumentar os valores da produção está relacionada com o rápido crescimento da população, onde atualmente 3 biliões de pessoas estão dependentes da aquacultura para obtenção de proteína de elevada qualidade. Neste contexto, a produção *offshore* é essencial para acompanhar a procura, aumentar a produção nacional e reduzir as importações de pescado e Portugal apresenta diversos fatores geográficos que permitem a sua implementação. O projeto Aquimar tem como objetivo caracterizar as condições oceanográficas, físico-químicas, geoquímicas e biológicas das águas da costa portuguesa de modo a otimizar a seleção dos locais para realizar uma aquacultura; avaliar a viabilidade de novas espécies para cultivo e estimar a sua produtividade em cada local. Neste âmbito, foram determinados parâmetros físico-químicos (amónia, nitrito, nitrato, fósforo, sílica, oxigénio dissolvido, pH e temperatura) e biológicos (clorofila *a*) ao longo da costa portuguesa com a finalidade de avaliar a possível implementação de aquaculturas *offshore* ou costeiras das espécies produzidas com interesse económico, como os peixes (*Argyrosomus regius*, *Gadus morhua*, *Salmo salar*, *Sparus aurata* e *Dicentrarchus labrax*), bivalves (*Mytilus edulis*, *Pecten maximus*, *Crassostrea gigas* e *Ruditapes decussatus*) e macroalgas (*Gracilaria gracilis*, *Porphyra umbilicalis* e *Undaria pinnatifida*) no local mais apropriado para cada espécie. As amostras de água foram recolhidas num período de 22 dias entre 5 de outubro a 27 de outubro de 2018 e 27 dias entre 16 de abril a 13 de maio de 2019 no navio hidrográfico N.R.P. Almirante Gago Coutinho. A área A (entre Viana do Castelo e Porto) apresentou as maiores concentrações de clorofila *a*, as temperaturas mais baixas e concentrações altas de nitrato, em ambas as campanhas, ideais para o desenvolvimento em zonas costeiras dos bivalves *Mytilus edulis* e *Pecten maximus*, das macroalgas *Undaria pinnatifida* e *Porphyra umbilicalis* e possivelmente são condições que permitiriam a produção *offshore* de salmão *Salmo salar*. As áreas B (entre a Figueira da Foz e Aveiro) e C (Peniche) demonstraram algum potencial para a produção de salmão *Salmo salar*, robalo *Dicentrarchus labrax* e ostra *Crassostrea gigas*, uma vez que apresentaram altas concentrações de sílica e temperaturas mais baixas. A área D (onde já se produzem dourada *Sparus aurata* e robalo *Dicentrarchus labrax* em jaulas no porto de Sines) apresenta potencial para produzir a ostra *Crassostrea gigas* e a área E, devido às temperaturas mais altas, apresenta condições para implementar macroalgas como a *Gracilaria gracilis* e peixes marinhos como a corvina *Argyrosomus regius*, a dourada *Sparus aurata* e o robalo *Dicentrarchus labrax*.

**Palavras-chave:** Aquacultura *offshore*; Aquacultura costeira; nutrientes; qualidade da água; oceanografia; costa portuguesa.

## Abstract

Aquaculture is a rapidly growing area and in 2030 production is expected to reach 109 million tonnes. The need to increase production values is related to the rapid growth of the population, where currently 3 billion people are dependent on aquaculture for high quality protein. In this context, *offshore* production is essential to keep up with demand, increase national production and reduce fish imports, and Portugal has several geographical factors that allow its implementation. The Aquimar project aims to characterize the oceanographic, physical-chemical, geochemical and biological conditions of the waters of the Portuguese coast in order to optimize the selection of sites to carry out aquaculture; evaluate the viability of new species for cultivation and estimate their productivity in each location. In this context, physicochemical (ammonia, nitrite, nitrate, phosphorus, silica, dissolved oxygen, pH and temperature) and biological (chlorophyll a) parameters were determined along the Portuguese coast in order to implement *offshore* or costal aquacultures of species with economical interest like (*Argyrosomus regius*, *Gadus morhua*, *Salmo salar*, *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*), bivalves (*Mytilus edulis*, *Pecten maximus*, *Crassostrea gigas* and *Ruditapes decussatus*) or macroalgae (*Gracilaria gracilis*, *Porphyra umbilicalis* and *Undaria pinnatifida*) in the most appropriate place for each species. The water samples were collected over a period of 22 days from 5 october to 27 october 2018 and 27 days from 16 april to 13 may 2019 on the hydrographic vessel Almirante Gago Coutinho. The location A (between Viana do Castelo and Porto) presented the highest concentrations in chlorophyll a, the lowest temperatures in both campaigns and its high concentrations of nitrate represent the best conditions to implement in costal areas the bivalves *Mytilus edulis* and *Pecten maximus*, macroalgae *Porphyra umbilicalis* and *Undaria pinnatifida* and *offshore* for *Salmo salar*. Location B (between Figueira da Foz and Aveiro) and C (Peniche) reveals some potential to implement *Salmo salar* and *Crassostrea gigas* due to the highest concentrations in silica and low temperatures. Location D (where it already produces *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax* inside of the Sines port) suggests that is suitable for *Crassostrea gigas* and location E is suitable to implement the species of *Gracilaria gracilis*, *Argyrosomus regius*, *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax*, due to the highest temperatures in all locations.

**Keywords:** *Offshore* aquaculture; Costal aquaculture; nutrients; water quality; oceanography; Portuguese coast.

## Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
1. Introdução.....	1
1.1 Aquacultura .....	1
1.2 Aquacultura na costa portuguesa.....	4
1.3 Potencial da aquacultura de peixes .....	6
1.3.1 Corvina .....	6
1.3.2 Bacalhau-do-atlântico .....	7
1.3.3 Salmão-do-atlântico .....	7
1.3.4 Dourada .....	8
1.3.5 Robalo .....	8
1.4 Potencial da aquacultura de bivalves.....	8
1.4.1 Mexilhão .....	9
1.4.2 Vieira.....	10
1.4.3 Ostra .....	10
1.4.4 Amêijoa-bo.....	11
1.5 Potencial da aquacultura de macroalgas .....	11
1.5.1 Gracilaria .....	12
1.5.2 Nori .....	12
1.5.3 Wakame.....	13
1.7 Objectivos.....	14
2. Materiais e métodos.....	15
2.1 Campanhas de amostragem.....	15
2.1.1 Campanha de outubro de 2018.....	16
2.1.2 Campanha de abril de 2019.....	18
2.2 Análises de laboratório .....	20
2.2.1 Parâmetros químicos .....	20
2.2.2 Parâmetros físicos .....	24
2.2.3 Parâmetros biológicos.....	25
2.3 Temperatura média mensais .....	26
2.4 ArcGis (Arcmap) .....	28
2.5 Perfil de distribuição vertical (Ocean Data View).....	29

2.6 Seleção de espécies.....	29
3. Resultados.....	30
3.1 Parâmetros superficiais .....	30
3.1.1 Concentração superficial de amónia .....	30
3.1.2 Concentração superficial de nitrito .....	31
3.1.3 Concentração superficial de nitrato .....	32
3.1.4 Concentração superficial de fósforo .....	33
3.1.5 Concentração superficial de sílica .....	35
3.1.6 Temperatura superficial.....	38
3.1.7 Concentração superficial de clorofila <i>a</i> .....	39
3.1.8 pH superficial .....	41
3.1.9 Concentração superficial de oxigénio dissolvido .....	42
3.1.10 Salinidade superficial .....	43
3.2 Perfil de distribuição vertical (Ocean Data View).....	44
3.2.1 Perfil de distribuição vertical de nitrato .....	47
3.2.2 Perfil de distribuição vertical de fósforo .....	48
3.2.3 Perfil de distribuição vertical de sílica .....	49
3.2.4 Perfil de distribuição vertical de clorofila <i>a</i> .....	50
3.2.5 Perfil de distribuição vertical de temperatura.....	51
3.3 Parâmetros para crescimento óptimo das espécies com interesse económico para aquacultura.....	52
3.4 Integração da informação para selecção das zonas mais adequadas para aquacultura <i>offshore</i> .....	55
4. Discussão de resultados.....	58
4.1 Potencial da aquacultura de peixes em Portugal .....	58
4.1.1. Potencial da aquacultura de dourada ( <i>Sparus aurata</i> ) .....	58
4.1.2. Potencial da aquacultura de robalo ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ) .....	59
4.1.3. Potencial da aquacultura de corvina ( <i>Argyrosomus regius</i> ).....	60
4.1.4. Potencial da aquacultura de salmão-do-atlântico ( <i>Salmo salar</i> ) .....	61
4.1.5. Potencial da aquacultura de bacalhau-do-atlântico ( <i>Gadus morhua</i> ).....	61
4.2 Potencial da aquacultura de bivalves em Portugal.....	62
4.2.1 Potencial da aquacultura de mexilhão ( <i>Mytilus edulis</i> ) .....	63
4.2.2 Potencial da aquacultura de vieira ( <i>Pecten maximus</i> ).....	63
4.2.3 Potencial da aquacultura de ostra ( <i>Crassostrea gigas</i> ) .....	64
4.2.4 Potencial da aquacultura da amêijoia-boia ( <i>Ruditapes decussatus</i> ) .....	65
4.3 Potencial da aquacultura de macroalgas em Portugal .....	66
4.3.1 Potencial da aquacultura da Gracilaria ( <i>Gracilaria gracilis</i> ) .....	67

4.3.2 Potencial da aquacultura de Nori ( <i>Porphyra umbilicalis</i> ).....	67
4.3.3 Potencial da aquacultura de Wakame ( <i>Undaria pinnatifida</i> ) .....	68
5. Conclusão.....	70
Referências.....	72
Anexo A – Figuras com mapas dos parâmetros determinados nas 5 áreas de estudo das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.	
Anexo B – Lista de reagentes.	

## Índice de figuras

Figura 1. Mapa das 5 áreas de estudo definidas no projeto Aquimar (A - Área A (Viana do Castelo e Porto); B - Área B (entre Aveiro e a Figueira da Foz); C – Área C (Peniche); D – Área D (entre Setúbal e Sines); E – Área E (Algarve)).....	16
Figura 2. Mapa da concentração superficial de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).....	33
Figura 3. Mapa da concentração superficial de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).....	35
Figura 4. Mapa da concentração superficial de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).....	37
Figura 5. Mapa da temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo). .....	39
Figura 6. Mapa da concentração superficial de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).....	41
Figura 7. Perfil de distribuição vertical de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B). O perfil da distribuição vertical de nitrato desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A. ....	47
Figura 8. Perfil de distribuição vertical de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical de fósforo desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A. ....	48
Figura 9. Perfil de distribuição vertical de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical de fósforo desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.....	49
Figura 10. Perfil de distribuição vertical de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical de clorofila a desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A. ....	50
Figura 11. Perfil de distribuição vertical da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical da temperatura desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A. ....	51

## Índice de tabelas

Tabela I. Número de análises realizadas por parâmetro em cada intervalo de profundidade na campanha de outubro de 2018.....	17
Tabela II. Número de análises realizadas por parâmetro em cada intervalo de profundidade na campanha de abril de 2019. ....	19
Tabela III. Temperatura média mensal (média $\pm$ desvio padrão $^{\circ}\text{C}$ ) da superfície da água (até 1 metro) das 5 áreas de estudo em 2018.....	27
Tabela IV. Temperatura média mensal (média $\pm$ desvio padrão $^{\circ}\text{C}$ ) da superfície da água (até 1 metro) das 5 áreas de estudo em 2019.....	28
Tabela V. Número de estações nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	30
Tabela VI. Concentrações máximas, mínimas e médias de amónia ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	31
Tabela VII. Concentrações máximas, mínimas e médias de nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	31
Tabela VIII. Concentrações máximas, mínimas e médias de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	32
Tabela IX. Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	34
Tabela X. Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	36
Tabela XI. Temperaturas superficiais máximas, mínimas e médias ( $^{\circ}\text{C}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	38
Tabela XII. Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	40
Tabela XIII. Valores superficiais máximos, mínimos e médios de pH nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	42
Tabela XIV. Concentrações superficiais máximas, mínimos e médios de oxigénio dissolvido nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	42
Tabela XV. Valores superficiais máximos, mínimos e médios de salinidade nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	43
Tabela XVI. Valores médios dos parâmetros de clorofila a, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em 3 intervalos de profundidade nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.....	44
Tabela XVII. Valores médios dos parâmetros de clorofila a, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em cada área de estudo em 2 intervalos de profundidade na campanha de outubro de 2018.....	45
Tabela XVIII. Valores médios dos parâmetros de clorofila a, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em cada área de estudo em 3 intervalos de profundidade na campanha de abril de 2019.....	46
45Tabela XIX. Limites dos parâmetros ótimos para a produção dos peixes com maior potencial em aquacultura em Portugal.....	53
Tabela XX. Limites dos parâmetros ótimos para a produção de bivalves com maior potencial em aquacultura em Portugal.....	54

Tabela XXI. Limites dos parâmetros ótimos para a produção de macroalgas com maior potencial em aquacultura em Portugal.....	55
Tabela XXII. Comparação da temperatura ótima dos peixes com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	56
Tabela XXIII. Comparação dos parâmetros ótimos dos bivalves com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	57
Tabela XXIV. Comparação dos parâmetros ótimos das macroalgas com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019. ....	57



## 1. Introdução

### 1.1 Aquacultura

O estado atual da aquacultura desempenha uma função crítica na alimentação, nutrição e emprego a milhões de pessoas, onde muitas das quais vivem e dependem da aquacultura para subsistência (FAO, 2020). Por este motivo, a aquacultura foi identificada como a indústria alimentar com a maior taxa de crescimento anual (5,7 % em 2016), sendo fundamental cumprir todos os requisitos na segurança alimentar para assegurar as necessidades da população (Anderson et al., 2017; FAO, 2016a). De facto, 3 mil milhões de pessoas dependem da aquacultura como uma fonte importante de proteína de qualidade (Fulton et al., 2018), exigindo um rápido desenvolvimento nesta área para atender à procura nutricional numa população em crescimento (Salin et al., 2018).

Em 2018, a aquacultura e a pesca produziram um valor histórico de 179 milhões de toneladas, dos quais 88 % foram utilizados para consumo humano, resultando num consumo recorde de 20,5 kg per capita (FAO, 2020). Dessas 179 milhões de toneladas, a aquacultura produziu 82 milhões de toneladas. Com a indústria pesqueira a diminuir os valores de captura devido à sobrepesca e colapso de *stocks*, a aquacultura tem um desempenho significativo na diminuição da pressão dos *stocks* selvagens e na sustentabilidade global (AFSPAN, 2015). Desde 1961, o crescimento global do consumo de peixes tem sido duas vezes maior que o crescimento da população, demonstrando que a aquacultura é crucial para atender aos objetivos da FAO para um mundo sem fome e desnutrição (Anderson et al., 2017). O valor total da aquacultura e da pesca em 2017 foi estimado em 362 mil milhões de euros, dos quais 232 mil milhões foram provenientes da produção em aquacultura. Em 2017, a indústria pesqueira e a aquacultura forneceram 17 % da proteína animal consumida pela população global, onde as pessoas nos países em desenvolvimento necessitaram mais proteína de peixe do que as pessoas nos países desenvolvidos (FAO, 2020). A aquacultura continua a crescer e é expectável que atinga as 109 milhões de toneladas em 2030. No entanto, o crescimento médio anual deverá diminuir de 4,6 % para 2,3 % até 2030, sobretudo pela diminuição da produção na China e o aumento da produção em países europeus (FAO, 2020).

A aquacultura em Portugal atingiu as 13,9 mil toneladas em 2018, com um valor estimado de 96,8 milhões de euros. Estes valores correspondem a um aumento de 11,5 % em relação ao ano anterior e a produção deverá aumentar nos próximos anos (INE, 2020). Em 2018, a produção em águas de transição e marinhas correspondeu a 95%

da produção total em aquacultura. A produção de peixes marinhos representou 27,6 % da produção total, onde 90 % da produção foi dedicado à dourada e pregado. No entanto, o maior sector de produção aquícola em Portugal foram os bivalves, sendo responsáveis por 67,2 % da produção total em 2018, através do cultivo de amêijoas, ostras e mexilhão (INE, 2020).

A maioria das aquaculturas portuguesas estão localizadas em antigas salinas nas regiões norte e sul, nomeadamente a Ria de Aveiro (estuário do Vouga), estuário do Mondego (Figueira da foz), lagoa de Albufeira (Sesimbra) e a Ria Formosa (Algarve), enquanto as aquaculturas de água doce estão dispersas pelas regiões norte e centro do país. Porém, existem várias razões para a produção em aquacultura ser baixa em Portugal. Grande parte das aquaculturas estão localizadas em reservas naturais protegidas pela legislação portuguesa, pelo que a intensificação destas não é permitida. Além disso, as condições hidrográficas na costa Oeste são severas e a implementação de culturas intensivas é um obstáculo (Ramalho e Dinis, 2011). Contudo, aumentar o interesse no investimento em novas tecnologias e novos equipamentos como as jaulas submersíveis, irá certamente promover a aquacultura intensiva (Ramalho e Dinis, 2011).

Alguns problemas como o uso de recursos, poluição e destruição de habitats, criaram um conceito negativo da aquacultura em vários países (Primavera, 2006), no entanto, a aquacultura *offshore* está rapidamente a ser aceite como uma forma de produção de alimento sustentável, económica e viável em muitas nações costeiras (Jansen et al., 2016; Gentry et al., 2017; Thomas et al., 2019). Para alcançar uma aquacultura *offshore* sustentável é necessário averiguar as condições oceanográficas (Silva et al., 2011), nomeadamente as forças hidrodinâmicas (Henderson et al., 2001; Perez et al., 2003), as características específicas de cada espécie (Gentry et al., 2017; Oyinlola et al., 2018), o impacto sobre a biodiversidade marinha e o impacto social nas comunidades piscatórias (Sanchez-Jerez et al., 2016). Apesar de apresentar um grande potencial e possuir inúmeras vantagens como o aumento da produção e os organismos assimilarem melhor os nutrientes (Holmer, 2010; Gentry et al., 2017), poucos estudos foram efetuados na determinação da localização ideal e da produtividade de cada área (Jiang et al., 2005; Ferreira, 2009). A maioria dos estudos relatam os efeitos que os parâmetros físico-químicos provocam nos organismos, sendo necessário associar esses ensaios aos locais marítimos que apresentem potencial (Kapetsky et al., 2013).

As aquaculturas *offshore* são baseadas na sua capacidade de produção, no entanto, para assegurar a manutenção das aquaculturas, é necessário compreender a componente ecológica e social (McKindsey et al., 2006). Do ponto de vista da implementação da aquacultura, a localização é a etapa mais relevante, uma vez que é o critério mais amplo. As condições hidrográficas como a ondulação e as correntes são

fundamentais para a instalação das jaulas e dos equipamentos da aquacultura *offshore*. As condições marítimas podem provocar estragos na estrutura das jaulas e originar fuga ou perda do *stock* (Dong et al., 2020). As correntes transportam nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento dos organismos, sendo por isso, um fator importante a considerar antes da implementação da aquacultura. Na componente social é necessário incluir os efeitos da aquacultura nas comunidades piscatórias e de que forma poderá promover o desenvolvimento da economia local e incentivar a criação de novos empregos (Gentry et al., 2017).

Nas áreas costeiras, a competição pelo espaço foi identificada como um dos principais fatores que contribuem para a estagnação da produção aquícola na União Europeia (Hofherr et al., 2012; Hofherr et al., 2015). Para a aquacultura em terra, esse obstáculo foi superado com licenças especiais que permitem a implementação de aquaculturas em lagoas ou rios. Entre as possíveis abordagens para a resolução do problema do espaço, o estudo intensivo da área costeira poderá apoiar a utilização de novos equipamentos que suportem as diversas condições marítimas, promovendo assim o cultivo intensivo e extensivo sustentável em diversas regiões costeiras na União Europeia (Walton et al., 2015).

A aquacultura tem o potencial para corresponder com o aumento da procura dos alimentos e auxiliar diversos países em alcançar os objetivos económicos, sociais e ambientais. A capacidade da aquacultura em cumprir estes objetivos está dependente da disponibilidade na implementação das aquaculturas *offshore* nas regiões costeiras, pelo que é importante avaliar os fatores sociais, biológicos, químicos e físicos que influenciam uma aquacultura *offshore*. Para além dos compostos poluentes, os parâmetros químicos considerados essenciais na manutenção de uma aquacultura são os compostos azotados (amónia, nitritos e nitratos), fósforo, sílica, oxigénio dissolvido e pH. A temperatura é um fator físico crucial para qualquer aquacultura e o fator biológico é a concentração de clorofila *a*. A dinâmica da população de fitoplâncton influencia principalmente as aquaculturas de bivalves.

## 1.2 Aquacultura na costa portuguesa

Com uma linha costeira de 1187 km, Portugal possui a 11<sup>a</sup> maior zona económica exclusiva do mundo e a 4<sup>a</sup> maior na União Europeia (incluindo Mar Territorial, Zona Económica Exclusiva e águas internas), o que corresponde a 19 vezes o seu território – 1,7 milhões de km<sup>2</sup> (Pacheco et al., 2014).

A localização geográfica e as características hidrográficas de Portugal permitem a ocorrência de *upwellings* e chuvas na região norte, originando uma diminuição da temperatura das águas. Na região sul, as temperaturas são mais altas devido á influência do mediterrâneo e da diminuição da latitude (Sanchez e Relvas, 2003; Peliz et al., 2005), revelando um interesse incrementado na perspetiva biogeográfica. Por isso, nesta zona de transição entre águas temperadas e subtropicais, podem ser encontradas diversas espécies nos limites das regiões norte e sul de Portugal (Gamito et al., 2016).

Ao largo da costa portuguesa, o *upwelling* costeiro é sazonal, ocorrendo aproximadamente entre abril e outubro (Cravo et al., 2010). Eventos de *upwelling* também podem ocorrer durante o inverno, embora as diferenças térmicas das águas costeiras e *offshore* sejam reduzidas, os efeitos biológicos são significativos (Santos et al., 2004; Ribeiro, et al., 2005).

As condições mais intensas e persistentes do *upwelling* são induzidos pelos ventos do Norte e ocorrem na costa Oeste de Portugal, normalmente associados ao verão (Relvas e Barton, 2002; Loureiro et al., 2005). Ventos fortes de Oeste podem originar *upwellings* atípicos quando surge uma contracorrente quente, resultando num gradiente de pressão que flui por toda a costa sul (Relvas e Barton, 2002), tornando a costa Oeste numa área desejável para a implementação de aquaculturas *offshore* de bivalves (Relvas e Barton, 2002), uma vez que fitoplâncton beneficia do acréscimo de nutrientes derivados dos *upwellings*, aumentando a disponibilidade do alimento para os bivalves.

A costa algarvia é influenciada pelas águas do oceano atlântico e do mediterrâneo, com correntes e ondas predominantes de oeste para sudoeste e contracorrentes de este para sudeste (Barbosa, 2010), onde na primavera, ocorre o maior crescimento de fitoplâncton, desempenhando um papel fundamental na produtividade do ecossistema (Navarro e Ruiz, 2006; Barbosa, 2010). Em 2018, a costa algarvia produziu 6236 toneladas em aquacultura, o que corresponde a 53 % da produção nacional de aquacultura (INE, 2020). Nesta região, destaca-se a produção de mexilhão, dourada, robalo, ostras e amêijoas.

A aquacultura na costa alentejana é sustentada pela produção de robalos, douradas amêijoas e ostras no estuário do Sado e em Sines (INE, 2020). Nesta região, podemos encontrar a ostra-portuguesa (*Crassostrea angulata*) com frequência, uma vez que a

sua distribuição tem diminuído devido á competição com a ostra-japonesa (*Crassostrea gigas*) (Fabioux et al., 2002; Silva et al., 2008). Esta é a única região em Portugal em que a ostra-portuguesa se desenvolve no seu meio natural (Ramalho e Dinis, 2011). A costa alentejana contribuiu com 261 toneladas (2 %) para a produção total nacional em aquacultura em 2018, através da produção de peixes e bivalves (INE, 2020). A produção extensiva destas áreas é uma das razões para a produção ser baixa, e por esse motivo, a Política Comum das Pescas promoveu o uso de sistemas intensivos *offshore* para encorajar o aumento da produção nacional (Gentry et al., 2017).

Na região centro do país, existem diversas lagoas e enseadas naturais criando, por exemplo, um dos estuários mais importantes na aquacultura em Portugal – a Ria de Aveiro. Em 2018, a região centro do país contribuiu com 3.665 toneladas (31 %) para a produção total nacional em aquacultura (INE, 2020). O facto das douradas e robalos, produzidas nesta região, conseguirem suportar as variações de temperatura e salinidade dentro do estuário durante o ano, indicam o potencial do seu desenvolvimento em jaulas *offshore* na região (Ramalho e Dinis, 2011).

A região Norte de Portugal apresenta diversas aquaculturas de pregados, uma maternidade de linguado e uma engorda de linguado. Esta região do país representou 96 % da produção nacional de trutas, localizadas no interior em rios (INE, 2020). Apesar da região apresentar uma área pouco aproveitada em aquaculturas, é a terceira maior região nos valores de produção, derivado da utilização de sistemas intensivos.

A corrente costeira portuguesa (CCP) é geralmente direcionada para sul e é bastante acentuada durante os eventos de upwelling, atingindo velocidades médias de  $13,5 \pm 5,7$  cm/s (Perez et al., 2001; Martins et al., 2002). No verão, os ventos do norte provocam upwelling ao longo de toda costa oeste da península ibérica, transportando águas frias e ricas em nutrientes de profundidades de 100 a 300 metros para a superfície (Smyth et al., 2001). Estes eventos ocorrem tipicamente desde o cabo finisterra até ao cabo de Sagres e podem alcançar velocidades de 5 cm/s a 15 cm/s e profundidades superiores a 600 metros (Coelho et al., 2002; Hutnance et al., 2002). De acordo o autor Hutnance et al. (2002), a direção das correntes varia com as estações do ano e aumenta de velocidade quanto mais perto da costa, indicando as variações que ocorrem durante o ano e a necessidade de compreender estes fenómenos para impedir possíveis danos nas jaulas de aquacultura *offshore*.

As aquaculturas *offshore* necessitam de manutenção constante, desde a alimentação (no caso dos peixes) até ao transporte dos organismos para as instalações em terra. Nesse sentido, é essencial compreender os acessos marítimos nas áreas de estudo para realizar as referidas tarefas. Na área A, Viana do Castelo e Porto, os acessos marítimos mais próximos são o porto de Leixões e o porto de Viana do Castelo; na área

B, entre Aveiro e a Figueira da Foz os acessos mais próximos são os portos de Aveiro e da Figueira da Foz; na área C, Peniche, é o porto de Peniche; na área D, entre Setúbal e Sines é o porto de Sesimbra e na área E, Algarve, são os portos de Lagos, Portimão, Albufeira e Faro.

### **1.3 Potencial da aquacultura de peixes**

A expansão da indústria do peixe poderá estar dependente da implementação das jaulas submersíveis *offshore*, no qual podem desempenhar um papel muito importante na aquacultura (Ryan, 2004). Para tal, é necessário compreender os processos físicos-químicos e biológicos que afetam o desenvolvimento dos organismos nas áreas *offshore*. A temperatura influencia fortemente o metabolismo, a taxa de alimentação e o crescimento dos peixes, uma vez que estes não conseguem regular a temperatura interna (Debnath et al., 2006; Sakamoto et al., 2010). A temperatura da água é um dos parâmetros mais relevantes nas maternidades de peixes e na eficiência da engorda, onde a maioria dos peixes apresenta um intervalo de temperaturas ótimas para adquirir uma taxa de crescimento ideal (Person-Le Ruyet et al., 2006; Oyugi et al., 2011).

Alguns autores identificaram algumas espécies de peixes promissoras para serem desenvolvidas em aquacultura *offshore* por apresentarem interesse económico em Portugal como a corvina (Duncan et al., 2013), bacalhau-do-atlântico (Badiola et al., 2017), salmão-do-atlântico (Sikveland e Zhang, 2020), dourada (Føre et al., 2018) e robalo (Islame et al., 2020). Neste estudo foram consideradas espécies já produzidas em Portugal ou em outros países, com a tecnologia de cultivo amplamente desenvolvida com elevado interesse económico. Estas espécies são consideradas de seguida com mais detalhe nos próximos subcapítulos.

#### **1.3.1 Corvina**

A corvina (*Argyrosomus regius*) dispõe uma qualidade nutricional elevada, baixa em gordura, com um sabor e textura agradável que é facilmente aceite pelos consumidores e que exibe um elevado potencial para aquacultura (Grigorakis et al., 2011; Duncan et al., 2013; Ramos-Júdez et al., 2019). A necessidade de expandir a variedade de espécies produzidas na Europa levou a produção da corvina a exceder as 23440 toneladas em 2014. (FAO, 2016b). Além disso, a corvina tolera diversos valores de temperatura (13 – 28 °C) (Grigorakis et al. 2011; Duncan et al. 2013), mas a temperatura ideal está entre os 20 - 26 °C (Duncan e al., 2013; Antonopoulou et al., 2020); tolera diversos valores de salinidade (5 – 39 PSU) e apresenta taxas de crescimento altas, podendo atingir 1,1 kg em 12 meses, com a temperatura a variar entre os 14 – 26 °C

(Grigorakis et al. 2011; Duncan et al. 2013). De acordo com Poli et al., 2003, os locais que apresentam maior potencial para a implementação do cultivo *offshore* desta espécie são o Mediterrâneo e o Oceano Atlântico.

### **1.3.2 Bacalhau-do-atlântico**

O bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*) é uma das espécies de água fria mais importantes da indústria da aquacultura do ponto de vista económico e social (Kurlansky, 1997). Apesar de existirem diversos *stocks* no Oceano Atlântico, as capturas têm diminuído ao longo da década (FAO, 2016c), onde a pesca excessiva já ocasionou o colapso de vários *stocks* (Esmark e Jensen, 2004). Até 2014, a indústria do bacalhau estava relativamente estável, com alguns países como a Noruega, Islândia, Rússia e a Dinamarca a representarem 75 % do total das capturas da Europa (Badiola et al., 2017). Porém, os *stocks* selvagens sofrem cada mais pressão para acompanhar o consumo crescente da população, dessa forma o interesse em produzir o bacalhau-do-atlântico em aquacultura *offshore* é vista como uma oportunidade lucrativa e promissora (Badiola et al., 2017). Uma aquacultura *offshore* do bacalhau-do-atlântico necessita de produzir juvenis em sistemas de cultivo terrestres, uma vez que requerem temperaturas mais baixas para reduzir as taxas de mortalidade. Quando atingem a fase adulta, os juvenis são transferidos para as jaulas *offshore* até atingirem o tamanho comercial. Os autores Ross et al. (2013) e Petersen e Steffensen (2002), demonstraram que os bacalhaus-do-atlântico de regiões geográficas diferentes possuem 2 hemoglobinas distintas (Hbl-1 e a Hbl-2). A hemoglobina Hbl-1 permite aos organismos suportarem intervalos de temperatura superiores, algo que poderá ser avaliado e aprofundado para a possível produção de bacalhau em novas localizações.

### **1.3.3 Salmão-do-atlântico**

A produção do salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) é uma indústria a nível mundial que tem aumentado desde dos anos 60. A produção atingiu as 2,2 milhões de toneladas em 2016, onde a Noruega e o Chile foram os principais produtores (FAO, 2016d). O salmão-do-atlântico é uma espécie anádroma, onde os juvenis nascem em água doce mas na fase adulta desenvolvem-se no mar. Diversos estudos indicam as adversidades que o salmão-do-atlântico é exposto durante a fase de desenvolvimento *offshore*, nomeadamente a incapacidade de controlar a bexiga-natatória nas jaulas submersíveis, resultando em mortalidade (Fosseidengen et al., 1982; Ablett et al., 1989; Dempster et al., 2008). Apesar disso, um estudo com salmões-do-atlântico com 1,7 kg demonstraram que estes conseguiam desenvolver-se em jaulas submersas mas com taxas de

crescimento reduzidas em comparação às jaulas de superfície (Dempster et al., 2008). Tal como o fator da profundidade, os fatores abióticos e bióticos apresentam efeitos significativos no desenvolvimento do salmão-do-atlântico (Osland et al., 2001).

#### **1.3.4 Dourada**

A dourada (*Sparus aurata*) é um organismo marinho com distribuição desde o mediterrâneo até ao Oceano Atlântico e é um dos organismos marinhos mais importantes na indústria da aquacultura. Após 30 anos de estudos, a dourada está perfeitamente adaptada para ser desenvolvida em sistemas de recirculação fechados e em jaulas *offshore* (Pavlidis e Mylonas, 2011; Trujillo et al., 2012). Diversos modelos do crescimento da dourada já foram alcançados, sendo que em condições ótimas atinge as 400 gramas num período de 2 anos (Føre et al., 2018). No entanto, alguns fatores de stress como a densidade, ruído e o transporte não estão totalmente compreendidos, devido à variabilidade que estes fatores apresentam (Ashley, 2007).

#### **1.3.5 Robalo**

O robalo (*Dicentrarchus labrax*) é uma espécie marinha com bastante interesse em aquacultura. Foi a primeira espécie, depois dos salmonídeos, a ser comercializada na Europa onde a Grécia, Turquia, Espanha e Egipto são os maiores produtores (Stavrakidis-Zachou et al., 2018). Incluindo a Turquia, a produção na União Europeia atingiu as 158,4 mil toneladas em 2015 (FEAP, 2016). Esta espécie apresenta altas taxas de crescimento, com grande procura pelos consumidores e uma boa taxa de conversão alimentar, razão pela qual é um dos organismos mais produzidos na Europa (Islam et al., 2020). Além disso, o robalo é uma espécie eurialina e euritérmica, sendo capaz de tolerar várias concentrações de salinidade e temperatura, ideal para desenvolver em sistemas de cultivo marinho ou em estuários (Barnabe et al., 1976; Kelley et al., 1988).

### **1.4 Potencial da aquacultura de bivalves**

Os moluscos bivalves representaram 15 % do total das capturas mundiais em 2018, equivalentes a 17,7 milhões de toneladas (FAO, 2020). Em Portugal, a produção de bivalves é umas das atividades mais importantes em aquacultura, com potencial para atingir valores superiores devido às condições geográficas (Oliveira et al., 2013). A maioria da produção de bivalves em Portugal é direcionada para a produção de amêijoas e de ostras, sendo que cada um representou 42 % e 37 %, respectivamente, na produção total de bivalves em aquacultura (INE, 2020). Os bivalves são organismos

que filtram compostos orgânicos na coluna de água (ex: microalgas) e, como tal, não necessitam de rações formuladas. Esta vantagem biológica permite eliminar os custos na aquisição de rações; simplificar as técnicas de cultivo; produzir proteína de qualidade e ácidos gordos essenciais que os humanos não conseguem sintetizar (Venugopal e Gopakumar, 2017; Cherifi et al., 2018) e até beneficiar o meio ambiente (Shumway et al., 2003; Klinger e Naylor, 2012; Bostock et al., 2016). As altas taxas de filtração permitem remover a matéria orgânica particulada e azoto na coluna de água, contribuindo para a dinâmica da população de fitoplâncton (Dame, 1996). Desta forma a produção de bivalves *offshore* é considerada a “aquacultura do futuro” uma vez que apresenta potencial para reciclar os nutrientes no mar e tem poucos impactos ambientais, tal como os sistemas multitróficos integrados que permitem minimizar os desperdícios das aquaculturas *offshore* e rentabilizar a produção (Jacquet et al., 2017).

Biologicamente, a concentração de fitoplâncton é um dos fatores mais determinantes no desenvolvimento dos bivalves. A clorofila *a* é um pigmento fotossintético responsável pela realização da fotossíntese e a sua quantificação permite indicar a biomassa fitoplantónica na coluna água. Os autores Pascoe et al. (2009) e Riisgaard et al. (2006), indicaram que concentrações inferiores de 0,5 mg/l a 0,9 mg/L de clorofila *a*, o mexilhão (*Mytilus edulis*), fechava as válvulas e reduzia a taxa de crescimento.

A costa portuguesa apresenta bastante potencial para intensificar a produção de bivalves, com alguns autores (Kapetsky et al., 2013) a referenciar que Portugal exhibe 2130 km<sup>2</sup> de área com potencial *offshore* para implementar aquaculturas de bivalves, nomeadamente na zona da ilha da Armona no Algarve. Para tal, é necessário determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos que afetam a aquacultura e assegurar a rentabilidade da produção.

Alguns autores identificaram as seguintes espécies de bivalves com o maior potencial para aquacultura *offshore*: o *Mytilus edulis* (Azpeitia et al., 2017), o *Pecten maximus* (Ansell et al., 1991), a *Crassostrea gigas* (Wang et al., 2010) e a *Ruditapes decussatus* (Ojea et al., 2008). No presente estudo foram selecionadas espécies já produzidas, com alto valor económico e com potencial para serem produzidas em Portugal.

#### **1.4.1 Mexilhão**

O mexilhão (*Mytilus edulis*) é um dos bivalves mais consumidos no mundo, com uma produção de 182 mil toneladas em 2016 (FAO, 2016e). Podem ser vendidos vivos, congelados ou cozinhados, facilitando as escolhas do consumidor. Além de representarem um valor económico importante em aquacultura, estes bivalves são ricos em proteínas, lípidos e hidratos de carbono que trazem benefícios á saúde (Grienke et

al., 2014). Tal como os outros bivalves, o mexilhão é um filtrador que se alimenta de microalgas, bactérias e matéria orgânica particulada (Alkanani et al., 2007) e podem ser conjugados em aquaculturas multitróficas integradas para aproveitar os desperdícios de ração particulada e das fezes de uma aquacultura de peixes (Neori et al., 2007).

Tipicamente, os cultivos de mexilhão estão localizados em áreas abrigadas, a profundidades inferiores a 20 metros e a menos de 1 km da costa (McKindsey et al., 2006; Cheney et al., 2010; Duarte et al., 2012). No entanto, em algumas zonas, podem ser expostos a grandes concentrações de poluentes provenientes da costa ou blooms de algas tóxicas. A implementação dos cultivos de mexilhão em zonas mais afastadas da costa poderão reduzir a exposição aos contaminantes (McKindsey et al., 2006; Cheney et al., 2010; Duarte et al., 2012).

#### **1.4.2 Vieira**

A vieira (*Pecten maximus*) é considerada um dos bivalves mais dispendiosos nos mercados Europeus e Asiáticos. Apesar de existir uma grande procura de vieiras no mercado Europeu, os valores da produção Europeia não conseguem acompanhar a procura, pelo que a maioria das vieiras são importadas do mercado Asiático. As larvas de vieira são recolhidas nas maternidades e colocadas em estruturas *offshore*, onde desenvolvem até atingirem o tamanho comercial desejado (Magnesen e Christophersen, 2007). O crescimento da vieira varia com a temperatura, disponibilidade do alimento, correntes marítimas e salinidade, pelo que a seleção do local é crucial para alcançar uma produção rentável (Laing, 2004).

#### **1.4.3 Ostra**

A produção de ostras em Portugal ocupa uma posição importante nos mercados da Europa, principalmente em França, sendo a espécie de ostra mais produzida em Portugal é a *Crassostrea gigas*. Os maiores sistemas de produção de *Crassostrea gigas* em Portugal estão situados nas Ria de Aveiro, Estuário do Sado, Ria Formosa e no rio Mira (Pereira et al., 2009), porém, também já é produzida na ria do Alvor e em estruturas *offshore*. Até aos anos 70, a espécie de ostra mais produzida em Portugal era a *Crassostrea angulata* mas uma doença viral desencadeou altas taxas de mortalidades em Portugal e a produção ficou reduzida para pequenas áreas como o estuário do Sado (Ramalho e Dinis, 2011) onde, atualmente, continua a ser a única região em Portugal que ainda produz a *Crassostrea angulata*. Além disso, a introdução da *Crassostrea gigas* oriundas da França e Japão permitiu sustentar a procura por ostras nos anos 70. (Wang et al., 2010) As dimensões superiores da *Crassostrea gigas* levou muitas

empresas de aquacultura a abdicar da produção de *Crassostrea angulata*, sendo uma das espécies de ostra mais produzidas no mundo (Wang et al., 2010).

#### **1.4.4 Amêijoia-boia**

A aquacultura em Portugal é suportada pela produção da amêijoia-boia (*Ruditapes decussatus*) que representou 28,3 % do total da aquacultura produzida em Portugal (INE, 2020). A amêijoia-boia está distribuída em vários locais no mundo, desde o norte da Europa até ao Senegal e Mediterrâneo, onde vive enterrada nos sedimentos (Vela e Moreno, 2005). É um dos bivalves mais apreciados na França, Espanha, Itália, Portugal e Tunísia com uma produção a exceder as 5,3 mil toneladas em 2016 (FAO, 2016f). As microalgas são amplamente utilizadas como forma de alimentação nos bivalves (Gui et al., 2016), por isso, a implementação de cultivos *offshore* em regiões ricas em fitoplâncton irá beneficiar o crescimento da amêijoia-boia, no entanto, as amêijoas poderão necessitar de um sedimento para se abrigarem, pelo que a sua implementação em estruturas *offshores* precisa de ser estudada.

#### **1.5 Potencial da aquacultura de macroalgas**

O espaço marítimo de Portugal apresenta uma das maiores e mais diversificadas comunidades de macroalgas da Europa (Mare, 2014). Nas últimas décadas, a Europa aumentou o interesse pelas macroalgas devido ao potencial biotecnológico que apresentam na área da cosmética, na produção de rações, ácidos gordos, alginatos, tratamento da água, biocombustível e consumo humano (Makkar et al., 2016; Bleakley e Hayes, 2017). Apesar de alguns países como Portugal, Espanha e Reino Unido serem baixos produtores e consumidores de macroalgas, o aumento crescente da procura dos produtos derivados das macroalgas e o elevado valor económico que possuem, são fatores que iram intensificar a produção de macroalgas em aquacultura (Peinado et al., 2014). Para alcançar uma aquacultura sustentável de macroalgas, é necessário compreender todos os fatores físicos, químicos e biológicos que a aquacultura é sujeita. A disponibilidade de nutrientes, temperatura e irradiação solar influenciam o crescimento e a composição química das macroalgas (Hurd et al. 2017). O azoto inorgânico é considerado um nutriente indispensável para o crescimento das comunidades fitoplânticas e de macroalgas, nomeadamente na forma de amónia (NH<sub>3</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub>) (Lobban e Harrison 1994; Harrison e Hurd 2001; Twomey e Thompson 2001). Os nitritos (NO<sub>2</sub>) não são considerados um nutriente essencial para o crescimento das macroalgas, uma vez que estão disponíveis em baixas concentrações no meio marinho (Hurd, 2017). No entanto, os nitritos são aproveitados pelas bactérias

nitrificantes para formar nitratos (Montoya et al., 2002; Van Bussel et al., 2012). Tal como o azoto inorgânico, o fósforo também é considerado um nutriente limitante e essencial para o crescimento das macroalgas, que através das excreções dos organismos aquáticos, fica disponível no meio marinho na forma de fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) (Lobban e Harrison, 1994; Troell et al., 2003). As correntes marítimas são um fator essencial a ser determinado, pois influenciam a absorção de nutrientes dissolvidos na água e até podem libertar organismos herbívoros da superfície da macroalga (Koehl et al., 2003; Kerrison et al., 2015). Segundo Kerrison et al. (2015), os sistemas de cultivo de macroalga devem ser implementados em regiões com correntes marítimas moderadas ou fortes (velocidade da corrente:  $>10$  cm/s até 25 cm/s). Como o cultivo das macroalgas pode ser efetuado em séries de cordas suspensas á superfície (Sahoo et al., 2005; Taelman et al., 2015), a ondulação e as correntes fortes poderão danificar as infraestruturas e as macroalgas. Além das vantagens económicas, o cultivo de macroalgas permite absorver carbono, onde 55 % das emissões de carbono mundial são absorvidos por organismos fotossintéticos (Nellemann et al., 2009).

Alguns autores identificaram as seguintes espécies de macroalgas com o maior potencial para aquacultura em zonas costeiras: a *Gracilaria gracilis* (Tseng, 2001), a *Porphyra umbilicalis* (Carmona et al., 2006) e a *Undaria pinnatifida* (Gao et al., 2017).

### 1.5.1 Gracilaria

As espécies do género *Gracilaria* (Gracilariaceae, Rhodophyta) são consideradas economicamente importantes por serem a principal fonte de extração de agar (Smit, 2004). O agar é utilizado na indústria alimentar para a produção de gelatina/géis e na indústria biomédica, farmacêutica e biotecnológica para a produção de géis de agarose, onde são usados para cultivos de pequena escala de bactérias, plantas e outros microorganismos (McHugh, 2003). As espécies de *Gracilaria*, *Undaria*, *Porphyra* e *Undaria* constituíram 30 % do total de macroalgas cultivadas em aquacultura em 2016 (FAO, 2016h). Com os stocks selvagens cada vez mais escassos e a procura pelo agar a aumentar, desenvolver aquaculturas de *Gracilaria gracilis* irá corresponder com as necessidades do mercado (Zhao et al., 2020).

### 1.5.2 Nori

As espécies do género *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta), também conhecido por Nori, apresentam uma taxa de crescimento alta pois são altamente eficientes na absorção de nutrientes (Kramer et al., 2007). Segundo Carmona et al., 2006, a maioria das espécies de *Porphyra* excede taxas de crescimento de 25 % nos primeiros dias, e

um estudo até refere taxas de crescimento de 45 % (Kramer et al., 2007). As *Porphyra* sp. possuem uma camada de 1 ou 2 células, permitindo uma grande área superficial absorver os nutrientes no meio marinho. Além disso, todas as células têm a capacidade de absorver nutrientes, explicando a alta taxa de crescimento (Kramer et al., 2007). A *Porphyra umbilicalis* pode ser utilizada para consumo humano, bioremediação da água (absorção de compostos inorgânicos como o azoto e o fósforo) e extração de pigmentos (r-ficoeritrina) (Pereira et al., 2006), como resultado, a macroalga exibe um valor económico elevado. A costa norte de Portugal é abundante em *Porphyra umbilicalis* (Gaspar et al., 2019) e com a produção mundial de *Porphyra* sp. atingir as 1,3 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2016g), a implementação de uma aquacultura de *Porphyra umbilicalis* seria economicamente rentável e benéfico para o meio marinho. Apesar dos principais produtores serem a China, Japão, Coreia do Norte e a Coreia do Sul, na Europa, o Reino Unido já iniciou o cultivo da *Porphyra umbilicalis* em pequena escala (FAO, 2016g).

### **1.5.3 Wakame**

A Wakame (*Undaria pinnatifida*) é uma macroalga endémica da Coreia, Japão e China mas, devido à sua grande facilidade de adaptação a diversos meios marinhos esta espécie já se introduziu em vários países ao longo da costa da Europa, incluindo Espanha e Portugal (Yamanaka e Akiyama, 1993; Castric-Fey et al., 1999; Stuart et al., 1999; Peteiro et al., 2016). Esta espécie é a segunda macroalga mais valiosa em aquacultura atrás das espécies *Porphyra* sp., sendo que só no Japão a produção atingiu os 90 milhões de dólares americanos em 2016 (Niwa e Kobiyama, 2019). O cultivo de Wakame tem diversos propósitos, desde o consumo humano na culinária asiática até à medicina para prevenir aparecimentos de cancro da mama (Wu et al., 2019). Diversos estudos já foram realizados para compreender os parâmetros ótimos da espécie, onde na Ásia já é produzida extensivamente e na Europa ainda é recolhida no meio selvagem (Choi et al., 2005; Gao et al., 2013; Zhang et al., 2013; Gao et al., 2017).

## 1.7 Objectivos

Este trabalho insere-se no âmbito do projeto Aquimar - Caracterização geral de áreas AQUÍcolas para estabelecimento de culturas MARinhas cujo objetivo principal é otimizar a seleção dos locais para realizar a prática de aquacultura. Neste trabalho pretende-se:

- Estudar os perfis na coluna de água dos parâmetros físicos (temperatura), químicos (amónia, nitrito, nitrato, sílica, fósforo, oxigénio dissolvido, salinidade e pH) e biológicos (clorofila *a*) em 5 áreas na zona costeira de Portugal, nomeadamente, a área A (Viana do Castelo e Porto), a área B (entre Aveiro e a Figueira da Foz), a área C (Peniche) a área D (entre Setúbal e Sines) e a área E (Algarve) no período correspondente às campanhas de amostragem efetuadas entre 5 e 27 de outubro de 2018 (até 50 metros de profundidade) e entre os dias 16 de abril e 13 de maio de 2019 (até 100 metros de profundidade) e, assim, averiguar a aptidão desses locais para a prática de aquacultura. A identificação dos locais vai permitir selecionar as espécies mais adequadas para serem produzidas em cada local, de acordo as suas características biológicas.

- Comparar os resultados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos com os parâmetros de crescimento ideais para as espécies com interesse económico e com potencial para a aquacultura *offshore* e na zona costeira em Portugal, designadamente a dourada (*Sparus aurata*), corvina (*Argyrosomus regius*), robalo (*Dicentrarchus labrax*), bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*), salmão-do-atlântico (*Salmo salar*), gracilaria (*Gracilaria gracilis*), nori (*Porphyra umbilicalis*), wakame (*Undaria pinnatifida*), mexilhão (*Mytilus edulis*), vieira (*Pecten maximus*), ostra (*Crassostrea gigas*) e a amêijoia-boia (*Ruditapes decussatus*).

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Campanhas de amostragem**

Foram realizadas 2 campanhas de amostragem no âmbito do presente estudo:

- Campanha IHPT-AQUIMAR2018-2, entre os dias 5 e 27 de outubro de 2018 a bordo do NRP Almirante Gago Coutinho, sendo a equipa científica composta por elementos do IH e do Centro de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade de Lisboa (MARE/FCUL);

- Campanha IHPT-AQUIMAR2019-2, entre os dias 16 de abril e 13 de maio de 2019 a bordo do NRP D. Carlos I, sendo a equipa científica composta por elementos do IH e do Centro de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade de Lisboa (MARE/FCUL).

As áreas cobertas (Fig.1) em ambas as campanhas foram:

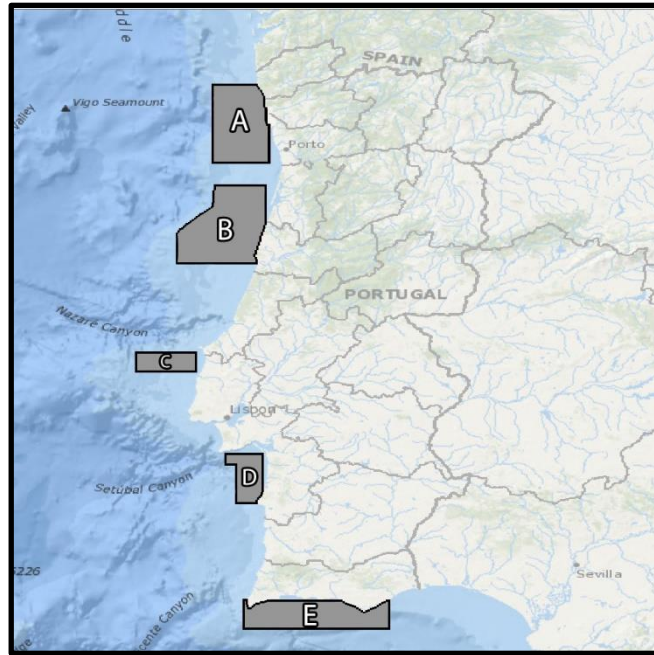
A - Área A (Viana do Castelo e Porto); Limites das coordenadas geográficas: (Longitude: -9,289 até -8,772; Latitude: 41,036 até 41,745).

B - Área B (entre Aveiro e a Figueira da Foz); Limites das coordenadas geográficas: (Longitude: -9,537 até -8,965; Latitude: 40,122 até 40,820).

C – Área C (Peniche); Limites das coordenadas geográficas: (Longitude: -9,975 até -9,483; Latitude: 39,142 até 39,323).

D – Área D (entre Setúbal e Sines); Limites das coordenadas geográficas: (Longitude: -9,172 até -8,830; Latitude: 37,948 até 38,403).

E – Área E (Algarve); Limites das coordenadas geográficas: (Longitude: -9,000 até -7,556; Latitude: 36,816 até 37,075).



**Figura 1.** Mapa das 5 áreas de estudo definidas no projeto Aquimar (A - Área A (Viana do Castelo e Porto); B - Área B (entre Aveiro e a Figueira da Foz); C – Área C (Peniche); D – Área D (entre Setúbal e Sines); E – Área E (Algarve)).

### 2.1.1 Campanha de outubro de 2018

O trabalho de campo foi efetuado em 265 estações, distribuídas por 55 secções perpendiculares à batimetria costeira, em 5 áreas na zona costeira de Portugal. Com o auxílio do equipamento “OCEAN SEVEN 320PLUS WOCE-CTD” instalado na *rosette* equipada com 11 garrafas de colheita *Niskin* de 8 Litros, foram realizados os perfis de CTD e nefelometria e, em paralelo, colheitas de amostras de água em 203 estações. As amostras de água foram colhidas em diversos níveis, nomeadamente a 5 metros, 25 metros, 50 metros, 75 metros, 100 metros e a 5 metros acima do fundo do mar. Para o presente estudo, apenas foram analisados os dados até 50 metros, num total de 567 amostras de água. Após a recolha das amostras de água, estas foram filtradas e congeladas a temperaturas de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  numa arca congeladora “THERMOKING” para posterior análise nos laboratórios do IH dos parâmetros de nitratos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_2^-$ ), amónia ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_3$ ), fósforo ( $\text{PO}_4$ ;  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{SiO}_2$ ) e clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Para os parâmetros do pH e oxigénio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) as medições foram realizadas no laboratório do navio. Os parâmetros de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e salinidade foram recolhidos nos perfis CTD.

Na tabela I está registrado o número de análises por parâmetro na campanha de outubro de 2018 num total de 5569 análises realizadas.

**Tabela I.** Número de análises realizadas por parâmetro em cada intervalo de profundidade na campanha de outubro de 2018.

Parâmetros	Profundidades				Total
	Até 7 metros	15 - 36 metros	37 - 56 metros	57 - 107 metros	
Amónia	194	212	161	-	567
Nitrito	194	212	161	-	567
Nitrato	194	212	161	-	567
Fósforo	194	212	161	-	567
Sílica	194	212	161	-	567
Salinidade	180	190	152	-	522
pH	196	212	156	-	564
Oxigénio dissolvido	196	212	156	-	564
Temperatura	180	190	152	-	522
Clorofila a	194	212	156	-	562

### 2.1.2 Campanha de abril de 2019

O trabalho de campo foi efetuado em 242 estações, distribuídas por 51 secções perpendiculares à batimetria costeira, em 5 áreas na zona costeira de Portugal. Com o auxílio do equipamento “OCEAN SEVEN 320PLUS WOCE-CTD” instalado na *rosette* e equipada com 11 garrafas de colheita *Niskin* de 8 Litros no navio NRP D. Carlos, foram realizadas colheitas de água em 214 estações. As amostras de água foram colhidas a diversas profundidades, nomeadamente a 5 metros, 25 metros, 50 metros, 75 metros, 100 metros e a 5 metros acima do fundo do mar. No presente estudo foram analisados os dados até 100 metros de profundidade, num total de 682 amostras de água. Após a recolha das amostras de água, estas foram filtradas e congeladas a temperaturas de -18 C° numa arca congeladora “THERMOKING” para posterior análise laboratorial do IH dos parâmetros de nitratos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_2^-$ ), amónia ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_3$ ), fósforo ( $\text{PO}_4$ ;  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $\text{SiO}_2$ ) e clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Para os parâmetros do pH e oxigénio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) as medições foram realizadas in-situ. Os parâmetros de temperatura (°C) e salinidade foram recolhidos nos perfis CTD.

Na tabela II está registado o número de análises por parâmetro na campanha de abril de 2019 num total de 6618 análises realizadas, onde apenas no parâmetro de clorofila *a*, não foram realizadas amostragens acima dos 56 metros.

**Tabela II.** Número de análises realizadas por parâmetro em cada intervalo de profundidade na campanha de abril 2019.

Parâmetros	Profundidades				Total
	Até 7 metros	15 - 36 metros	37 - 56 metros	57 - 107 metros	
Amónia	197	196	169	116	678
Nitrito	197	196	169	116	678
Nitrato	197	196	169	116	678
Fósforo	197	196	169	116	678
Sílica	197	196	169	116	678
Salinidade	192	194	163	110	659
pH	194	200	168	112	674
Oxigénio dissolvido	194	200	168	112	674
Temperatura	192	194	163	110	659
Clorofila a	198	199	165	-	562

## 2.2 Procedimentos de laboratório

Os parâmetros biológicos, físicos e químicos foram determinados nos laboratórios do IH, de acordo com métodos de ensaio na sua maioria acreditados segundo a norma NP EN ISSO/IEC 17025:2005. Independentemente dos métodos serem acreditados ou não, há um controlo de qualidade efetuado em todos os ensaios, nomeadamente realização de duplicados, ensaios em branco, ensaios de recuperação, utilização de materiais de referência certificados e a participação em ensaios interlaboratoriais.

### 2.2.1 Parâmetros químicos

A análise das amostras de nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{SiO}_2$ ) foi efetuada por espectrometria de absorção molecular num autoanalisador de fluxo segmentado (SKALAR SAN(Plus)) adaptado à análise de amostras salinas. O equipamento é composto por: amostrador, módulo químico, sistema de deteção fotométrica contendo um filtro de leitura, um filtro de correção e um sistema de aquisição de registo de dados. Para a análise deste tipo de amostras recorre-se à compensação automática eletrónica do efeito de salinidade das amostras e o percurso ótico de deteção é mais extenso para aumentar a sensibilidade do(s) método(s). O software do sistema procede, quer manual, quer automaticamente, a vários tipos de ajuste dos resultados brutos, de modo a minimizar possíveis alterações devidas a variação das condições ambientais, qualidade dos reagentes ao longo da sequência de amostragem, ou a caracterização errónea de picos, entre outras.

O cálculo do teor de  $\text{NO}_x$  e  $\text{NH}_3$  (concentração –  $[\text{NH}_3]$  e  $[\text{NO}_x]$ ) das amostras é efectuado com base na expressão de função de calibração quadrática:

$$y = a + bx + cx^2$$

x – Resultado (provisório) da concentração da amostra;

y – Altura de pico com correção de linha de base e sensibilidade da amostra;

a – Ordenada na origem da curva de calibração;

b – Tangente (declive) ao centro da curva da calibração;

c – Coeficiente quadrática da curva de calibração.

O cálculo do teor de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{SiO}_2$  (concentração –  $[\text{NO}_2]$ ,  $[\text{PO}_4]$  e  $[\text{SiO}_2]$ ) das amostras é efectuado com base na expressão da função de calibração linear:

$$x = \frac{y - a}{b}$$

x – Resultado (provisório) da concentração da amostra;

y – Altura de pico com correção de linha de base e sensibilidade da amostra;

a – Ordenada na origem da curva de calibração;

b – Declive da reta de calibração.

### **2.2.1.1 Amónia**

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação da amónia em amostras de água superficiais e costeiras, entre os valores de 1,00  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e 25,00  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

O método baseia-se numa modificação da reação de berthlot, em que a amónia reage com o hipoclorito e fenol, de modo a formar um composto corado de cor verde. O corante formado apresenta uma alta absorvidade  $10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  molar ao comprimento de onda de medição com, aproximadamente,  $2,00 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

A absorvância da solução é lida a 630 nm num percurso optico de 50 mm, sendo este valor corrigido por leitura de absorvância a 1010 nm, comprimento de onda a que a absorvância do corante é minima.

### **2.2.1.2 Nitrito**

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação de nitrito em amostras de água superficiais e costeiras, entre os valores de 0,10  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e 5,00  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

A determinação de  $\text{NO}_2$  foi efetuada segundo Strickland and Parsons e baseia-se na reação do  $\text{NO}_2$  com duas amins aromáticas de modo a formar um composto azoico fortemente corado, de cor púrpura avermelhada. A reação inicia-se com a adição à amostra duma solução de sulfanilamida e diclorohidrato de N-(1-naftil)-etilenodiamina em meio ácido. Por reação do  $\text{NO}_2$  com a sulfanilamida forma-se quantitativamente um composto diazo. Por sua vez, este reage de imediato com o diclorohidrato de N-(1-naftil)-etilenodiamina para formar o corante azoico referido. A absorvância da solução é lida a 540 nm, sendo o valor do fundo corrigido por leitura da absorvância a 620 nm. A reação dá-se em meio tamponizado a  $\text{pH} \approx 8,2$ , de modo a prevenir a oxidação de  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_3$  em meio fortemente ácido ou básico.

### 2.2.1.3 Nitrato

A determinação de  $\text{NO}_x$  foi efetuada de acordo com a mesma reação do  $\text{NO}_2$ , precedida da redução do nitrato ( $\text{NO}_3$ ) a  $\text{NO}_2$  por contacto com cádmio coperizado, para uma gama de concentrações entre  $0,10 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $25,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ . A determinação da concentração de nitrato é efectuada através do cálculo da diferença entre a concentração de nitrato+nitrito e nitrito.

A determinação de  $\text{NH}_3$  baseia-se numa modificação da reação de Berthelot, em que a amónia reage com o hipoclorito e fenol, de modo a formar um composto corado de cor verde. Num primeiro passo dá-se a reação quantitativa dos compostos de amónia ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) com hipoclorito de modo a formar uma cloroamina em meio ligeiramente básico. Quando em presença de excesso de hipoclorito, a amina reage com o fenol para formar um composto corado, o azul de indofenol. A reação é catalisada por um derivado do ião nitroprussiato que se forma em meio básico. A interferência devida à presença de iões alcalino-terrosos nas amostras salinas é eliminada pela adição de citrato de sódio ao percurso de reação, que provoca a complexação daqueles iões, impedindo assim a sua precipitação e conseqüente interferência na análise. A absorvância da solução é lida a  $630 \text{ nm}$  num percurso optico de  $50 \text{ mm}$ , sendo o valor de fundo corrigido por leitura de absorvância a  $1010 \text{ nm}$ .

### 2.2.1.4 Fósforo

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação de fósforo ( $\text{PO}_4$ ) em amostras de águas superficiais e costeiras na gama de concentrações entre  $0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $5,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

A determinação de  $\text{PO}_4$  foi efetuada segundo Murphy and Riley e baseia-se na formação de um complexo de antimónio, fósforo e molibdénio que é de seguida reduzido a um outro complexo corado de cor azul, o azul de molibdénio. A reação inicia-se com a adição à amostra de heptamolibdato de amónio na presença de antimónio(III), presente como ião antimoniltartarato, em meio ácido, de modo a formar um complexo de antimónio-fósforo-molibdato, em que os elementos se encontram presentes na proporção 1:1:12. Quando em presença de ácido L(+)-ascórbico, este complexo apresenta uma ligeira cor amarela e, sob a ação catalisadora do ião antimoniltartarato, o complexo é reduzido passando a apresentar uma cor azul intensa. A absorvância da solução é lida a  $880 \text{ nm}$ , sendo este valor corrigido por leitura da absorvância a  $1010 \text{ nm}$ .

### 2.2.1.5 Sílica

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em amostras de água superficiais e costeiras, na gama de concentrações entre  $0,30 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $15,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

A determinação de  $\text{SiO}_2$  foi efetuada segundo Koroleff e baseia-se na formação de um complexo de sílica e molibdénio, que é de seguida reduzido a um outro complexo corado de cor azul. A reação inicia-se com a adição à amostra de heptamolibdato de amónio em meio ácido, de modo a formar o ácido molibdosilícico que apresenta uma ligeira cor amarela. Quando em presença de ácido L(+)-ascórbico, o complexo é reduzido passando a apresentar uma cor azul intensa. A absorvância da solução é lida a 810 nm, valor que é corrigido por leitura da absorvância a 1010 nm. A interferência do ião fosfato, que, na presença do ião molibdato forma também um complexo de cor azul, é eliminada pela adição de ácido oxálico, que vai provocar a decomposição do complexo molibdofosfórico, impedindo assim a sua redução e conseqüente interferência na análise.

### 2.2.1.6 Salinidade

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação da salinidade em amostras de água, entre a gama de valores de 2 e 42 PSU. O equipamento utilizado foi o Salinómetro Guildline Autosal8400B.

O método baseia-se na medição da razão de condutividade,  $R_t$ , da amostra a analisar á razão de condutividade de uma amostra de água salina padrão (*Standard Seawater – SSW*) a uma temperatura controlada (*in-situ*). De modo a garantir a estabilidade térmica, a célula encontra-se mergulhada num banho de água termostaticado a uma temperatura programada que pode variar entre os  $18^\circ\text{C}$  e  $33^\circ\text{C}$ .

### **2.2.1.7 pH**

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação do pH em amostras de água. O equipamento utilizado foi o “pH Metrohm 744” e “pH Metrohm 827”

O método de análise aplica-se à determinação do pH em amostras de águas naturais doces (superficiais e subterrâneas) e salinas (marinhas, transição e costeiras) pelo método eletrométrico utilizando um eletrodo de referência. Para águas costeiras e oceânicas, o pH natural apresenta-se no intervalo 7,50 a 8,50. O método descrito é aplicável à determinação no próprio local da colheita (in-situ).

### **2.2.1.8 Oxigénio dissolvido**

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação do oxigénio dissolvido em amostras de água através de um sensor polarográfico. O equipamento utilizado foi o Sensor polarográfico de oxigénio dissolvido Thermo Scientific Orion Star 2135.

O método baseia-se na determinação de oxigénio dissolvido através da corrente gerada pela redução do oxigénio sobre um cátodo. O oxigénio atravessa uma membrana permeável, alcançando a superfície de um eletrodo negativamente polarizado em relação ao anodo, ambos imersos num eletrólito. A corrente gerada é proporcional à concentração absoluta de oxigénio fora da membrana e apresenta-se em  $\text{mg L}^{-1}$ .

## **2.2.2 Parâmetros físicos**

### **2.2.2.1 Temperatura**

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação da temperatura local de colheita (in-situ) recorrendo a termómetros integrado na rosette. O método de ensaio é aplicável à determinação da temperatura em amostras de água superficial oceânica e costeira. Não existem limites inferiores e superiores de determinação, para além dos estabelecidos pelos fabricantes dos equipamentos. O valor da temperatura é apresentado em graus celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). O equipamento utilizado foi o Modelo IDRONAUT General Oceanics integrado na Rosette.

## 2.2.3 Parâmetros biológicos

### 2.2.3.1 Clorofila a

O método descreve o procedimento laboratorial para a determinação de pigmentos fotossintéticos - clorofila a em amostras de água por espectrometria de absorção molecular, a valores superiores a 0,10 µg L<sup>-1</sup>. (Lorenzen, 1967)

O método baseia-se na leitura de absorvância da solução contendo os pigmentos a analisar a comprimentos de onda que são característicos das várias espécies de organismos fotossintéticos. Primeiramente, as amostras foram filtradas por um filtro de éster de celulose, de 47 mm de diâmetro e com porosidade de 0,45 µm, em vácuo. De seguida, o filtro foi congelado a -20°C. Na véspera da análise, os filtros foram descongelados e procedeu-se á extracção dos pigmentos fotossintéticos através da adição de uma solução de acetona a 90%. A solução obtida foi centrifugada para remover qualquer matéria particulada. A absorvância é lida a 664, 647 e 630nm e corrigido por um filtro de 750 nm para determinar o conteúdo de clorofila a.

O cálculo da concentração, expresso em µg L<sup>-1</sup> é efectuado a partir da equação:

$$\text{Clo a} = \frac{v}{V \times L} \times [11,85 \times (A_{664} - A_{750}) - 1,54 \times (A_{647} - A_{750}) - 0,08 \times (A_{630} - A_{750})]$$

A<sub>xxx</sub> – Absorvâncias;

v – Volume de extratante, em mL;

V – Volume da amostra, em L

L – Percurso ótico, em cm.

### 2.3 Temperatura média mensais

Os dados da temperatura média mensais foram recolhidos da plataforma da NASA do projecto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*, nível 4). Esta plataforma permite recolher dados diários da temperatura oceânica até 1 metro de profundidade em todo o globo. Usa sistemas de AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*), GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (Naval Oceanographic Office, GHTSST Level 4, 2008). Este software permite recolher temperaturas oceanográficas a cada 625 km<sup>2</sup> (25 x 25 km). Esta área foi utilizada para recolher os valores de temperatura média no interior dos limites de cada área de estudo, sendo que cada área de estudo está representada por uma área de 625 km<sup>2</sup>. Nas tabelas III e IV estão representados as temperaturas médias anuais das 5 áreas de estudo em 2018 e 2019 recolhidos do projecto GHRSSST. As temperaturas superficiais das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, referidas no capítulo 3.1.6, apresentam valores semelhantes ao projecto GHRSSST nos meses de outubro de 2018 e abril de 2019, e uma vez que não foram determinados valores de temperaturas à excepção dos períodos de amostragem, os restantes meses do projecto GHRSSST foram utilizados para compreender as variações de temperatura que a aquacultura *offshore* e costeira será sujeita ao longo do ano.

**Tabela III.** Temperatura média mensal (média  $\pm$  desvio padrão  $^{\circ}\text{C}$ ) da superfície da água (até 1 metro) das 5 áreas de estudo em 2018.

Temperatura média anual (2018)	A	B	C	D	E
Janeiro	13,35 $\pm$ 0,36 $^{\circ}\text{C}$	13,55 $\pm$ 0,39 $^{\circ}\text{C}$	14,08 $\pm$ 0,48 $^{\circ}\text{C}$	14,57 $\pm$ 0,42 $^{\circ}\text{C}$	16,05 $\pm$ 0,42 $^{\circ}\text{C}$
Fevereiro	12,49 $\pm$ 0,37 $^{\circ}\text{C}$	12,86 $\pm$ 0,15 $^{\circ}\text{C}$	12,99 $\pm$ 0,14 $^{\circ}\text{C}$	13,75 $\pm$ 0,17 $^{\circ}\text{C}$	15,14 $\pm$ 0,25 $^{\circ}\text{C}$
Março	12,64 $\pm$ 0,27 $^{\circ}\text{C}$	13,01 $\pm$ 0,15 $^{\circ}\text{C}$	13,53 $\pm$ 0,19 $^{\circ}\text{C}$	14,02 $\pm$ 0,19 $^{\circ}\text{C}$	15,13 $\pm$ 0,25 $^{\circ}\text{C}$
Abril	13,17 $\pm$ 0,69 $^{\circ}\text{C}$	13,66 $\pm$ 0,81 $^{\circ}\text{C}$	13,67 $\pm$ 0,46 $^{\circ}\text{C}$	14,24 $\pm$ 0,47 $^{\circ}\text{C}$	15,59 $\pm$ 0,55 $^{\circ}\text{C}$
Maiο	14,59 $\pm$ 0,82 $^{\circ}\text{C}$	15,15 $\pm$ 1,00 $^{\circ}\text{C}$	14,72 $\pm$ 0,81 $^{\circ}\text{C}$	15,29 $\pm$ 0,45 $^{\circ}\text{C}$	16,72 $\pm$ 0,64 $^{\circ}\text{C}$
Junho	15,93 $\pm$ 0,75 $^{\circ}\text{C}$	16,65 $\pm$ 0,70 $^{\circ}\text{C}$	16,52 $\pm$ 0,80 $^{\circ}\text{C}$	16,35 $\pm$ 0,78 $^{\circ}\text{C}$	17,49 $\pm$ 1,13 $^{\circ}\text{C}$
Julho	18,04 $\pm$ 0,57 $^{\circ}\text{C}$	18,92 $\pm$ 0,53 $^{\circ}\text{C}$	18,26 $\pm$ 0,37 $^{\circ}\text{C}$	17,57 $\pm$ 0,76 $^{\circ}\text{C}$	18,43 $\pm$ 0,77 $^{\circ}\text{C}$
Agosto	16,71 $\pm$ 0,94 $^{\circ}\text{C}$	18,01 $\pm$ 0,90 $^{\circ}\text{C}$	17,97 $\pm$ 0,95 $^{\circ}\text{C}$	17,78 $\pm$ 0,64 $^{\circ}\text{C}$	20,91 $\pm$ 1,43 $^{\circ}\text{C}$
Setembro	16,41 $\pm$ 0,48 $^{\circ}\text{C}$	18,25 $\pm$ 0,43 $^{\circ}\text{C}$	17,83 $\pm$ 0,50 $^{\circ}\text{C}$	18,43 $\pm$ 0,50 $^{\circ}\text{C}$	22,16 $\pm$ 0,76 $^{\circ}\text{C}$
Outubro	15,88 $\pm$ 0,91 $^{\circ}\text{C}$	16,98 $\pm$ 0,97 $^{\circ}\text{C}$	17,38 $\pm$ 1,05 $^{\circ}\text{C}$	18,46 $\pm$ 0,95 $^{\circ}\text{C}$	22,04 $\pm$ 1,31 $^{\circ}\text{C}$
Novembro	14,86 $\pm$ 0,52 $^{\circ}\text{C}$	15,07 $\pm$ 0,21 $^{\circ}\text{C}$	15,34 $\pm$ 0,36 $^{\circ}\text{C}$	16,12 $\pm$ 0,26 $^{\circ}\text{C}$	18,11 $\pm$ 0,49 $^{\circ}\text{C}$
Dezembro	14,75 $\pm$ 0,22 $^{\circ}\text{C}$	15,05 $\pm$ 0,19 $^{\circ}\text{C}$	15,70 $\pm$ 0,28 $^{\circ}\text{C}$	15,89 $\pm$ 0,25 $^{\circ}\text{C}$	17,46 $\pm$ 0,20 $^{\circ}\text{C}$

**Tabela IV.** Temperatura média mensal (média  $\pm$  desvio padrão °C) da superfície da água (até 1 metro) das 5 áreas de estudo em 2019.

Temperatura média anual (2019)	A	B	C	D	E
Janeiro	13,39 $\pm$ 0,39 °C	13,42 $\pm$ 0,27 °C	13,59 $\pm$ 0,29 °C	14,50 $\pm$ 0,60 °C	16,00 $\pm$ 0,63 °C
Fevereiro	12,86 $\pm$ 0,51 °C	12,98 $\pm$ 0,41 °C	13,49 $\pm$ 0,43 °C	13,81 $\pm$ 0,17 °C	15,26 $\pm$ 0,33 °C
Março	13,66 $\pm$ 0,25 °C	13,84 $\pm$ 0,11 °C	14,04 $\pm$ 0,25 °C	14,06 $\pm$ 0,17 °C	15,16 $\pm$ 0,21 °C
Abril	13,95 $\pm$ 0,42 °C	14,22 $\pm$ 0,30 °C	14,63 $\pm$ 0,33 °C	15,31 $\pm$ 0,32 °C	15,32 $\pm$ 0,55 °C
Maiο	14,36 $\pm$ 0,96 °C	15,01 $\pm$ 1,02 °C	15,71 $\pm$ 1,05 °C	16,84 $\pm$ 0,84 °C	16,54 $\pm$ 0,76 °C
Junho	16,26 $\pm$ 1,21 °C	16,88 $\pm$ 0,97 °C	17,17 $\pm$ 1,03 °C	17,01 $\pm$ 0,91 °C	17,52 $\pm$ 0,69 °C
Julho	16,98 $\pm$ 0,44 °C	17,33 $\pm$ 0,68 °C	17,12 $\pm$ 0,87 °C	17,75 $\pm$ 0,59 °C	18,40 $\pm$ 0,42 °C
Agosto	17,28 $\pm$ 0,59 °C	17,31 $\pm$ 0,88 °C	17,61 $\pm$ 0,43 °C	17,36 $\pm$ 0,30 °C	20,20 $\pm$ 1,50 °C
Setembro	16,17 $\pm$ 1,07 °C	16,79 $\pm$ 0,90 °C	17,28 $\pm$ 0,85 °C	18,43 $\pm$ 0,38 °C	22,25 $\pm$ 0,87 °C
Outubro	16,11 $\pm$ 0,82 °C	16,26 $\pm$ 1,04 °C	16,48 $\pm$ 1,04 °C	17,96 $\pm$ 1,34 °C	21,71 $\pm$ 1,74
Novembro	14,18 $\pm$ 1,53 °C	14,43 $\pm$ 1,02 °C	15,02 $\pm$ 1,13 °C	16,10 $\pm$ 0,23 °C	18,37 $\pm$ 0,92 °C
Dezembro	13,61 $\pm$ 0,45 °C	14,33 $\pm$ 0,58 °C	15,11 $\pm$ 0,42 °C	16,00 $\pm$ 0,29 °C	17,44 $\pm$ 0,18 °C

## 2.4 ArcGis (Arcmap)

Todos os mapas das concentrações superficiais (até 7 metros) dos diversos parâmetros analisados foram realizados no software Arcgis para o Windows, na divisão “Arcmap”, versão 10.2.2. Este software permite interpolar dados geográficos e oceanográficos em mapas de alta resolução através do método de interpolação “Empirical Bayesian Kriging”. Este modelo de interpolação é utilizado para análises estatísticas oceanográficas, criando semivariogramas e múltiplas simulações para criar um mapa com consideração pelas concentrações mais próximas. (Condições do interpolamento: Transformação de dados: *none*; modelo semivariograma: *linear*; parâmetros dos dados vizinhos: *smooth circular*; raio: 0,14; fator de arredondamento: 0,8).

## **2.5 Perfil de distribuição vertical (Ocean Data View)**

Para representar os parâmetros ao longo da coluna de água, foi necessário recorrer ao software “Ocean Data View” com o método de interpolação “Diva Gridding”. Os dados foram interpolados numa região central e perpendicular á costa. Em outubro de 2018 e abril de 2019, foram efectuados 25 perfis distribuídos pelas 5 áreas de estudo de nitrato, fósforo, sílica, clorofila *a* e temperatura. Os resultados da campanha de 2018 estão representados até 50 metros de profundidade, enquanto os resultados da campanha de 2019 estão representados até 100 metros de profundidades.

## **2.6 Seleção de espécies**

Os parâmetros ótimos de crescimento das espécies com maior potencial em aquacultura foram compilados com base numa pesquisa de artigos científicos indexados (publicados entre 1975 até 2021). Os parâmetros máximos, mínimos e ótimos de temperatura, amónia, nitrito, fósforo, sílica e clorofila *a* para o cultivo de cada uma das espécies foram relacionados com os resultados dos parâmetros obtidos nas campanhas do projecto Aquimar. Através dessa análise, foram indentificadas as áreas com maior potencial na costa portuguesa para implementar uma aquacultura para cada espécie.

### 3. Resultados

A apresentação dos resultados foi dividida em 2 subcapítulos – parâmetros superficiais (até 7 metros de profundidade) no capítulo 3.1 e os perfis de distribuição vertical dos parâmetros (até 50 metros e 100 metros de profundidade nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, respectivamente) no capítulo 3.2.

Os parâmetros de amónia e nitrito encontravam-se abaixo dos limites de quantificação pelo que não foram elaborados os repetivos mapas no “Arcmap”. Da mesma forma, os parâmetros de pH, oxigénio dissolvido e salinidade, também não foram efectuadas interpolações, uma vez que os valores eram muito semelhantes nos diversos intervalos de profundidade. Na campanha de outubro de 2018, apenas em 9 estações não foram realizadas colheitas, num total de 194 estações. Tal como na campanha de abril de 2019, apenas em 17 estações não possível recolher amostragens, num total de 197 estações. Na tabela V, apresentam-se o número de estações efetuadas em cada área nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

**Tabela V.** Número de estações nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Nº de estações por área	A	B	C	D	E	Total
Campanha de outubro de 2018	50	61	11	20	52	194
Campanha de abril de 2019	45	58	18	22	54	197

#### 3.1 Parâmetros superficiais

##### 3.1.1 Concentração superficial de amónia

A maioria das concentrações encontravam-se abaixo do limite de quantificação (< 1,00  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). Como se pode observar na tabela VI, as concentrações médias de amónia são baixas e semelhantes entre cada área.

**Tabela VI.** Concentrações máximas, mínimas e médias de amónia ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

NH <sub>3</sub>	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )
A	1,80	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
B	1,20	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
C	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
D	1,50	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
E	1,60	< 1,00	< 1,00	4,80	< 1,00	< 1,00

### 3.1.2 Concentração superficial de nitrito

A maioria das concentrações encontravam-se abaixo do limite de quantificação (<  $0,10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). De salientar valores mais elevados na área A na campanha de outubro de 2018 e nas áreas A e E na campanha de abril de 2019.

**Tabela VII.** Concentrações máximas, mínimas e médias de nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

NO <sub>2</sub>	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )
A	0,83	< 0,10	0,19	0,57	< 0,10	0,11
B	0,31	< 0,10	< 0,10	0,22	< 0,10	< 0,10
C	0,36	< 0,10	< 0,10	0,44	< 0,10	< 0,10
D	0,30	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
E	0,27	< 0,10	< 0,10	0,59	< 0,10	0,15

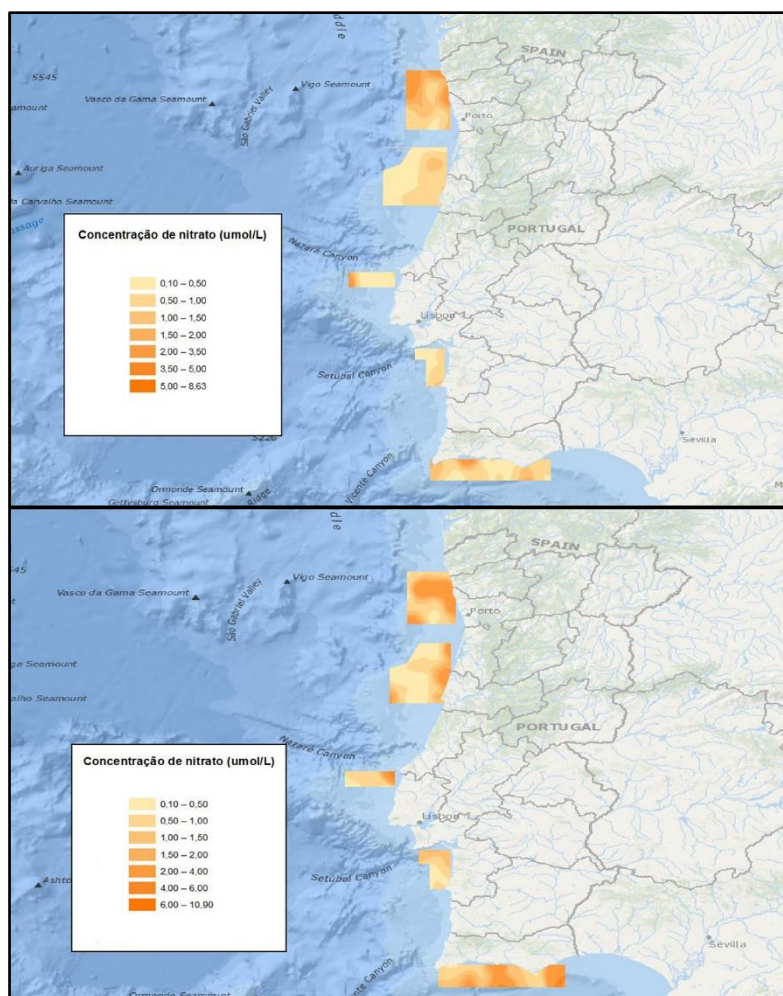
### 3.1.3 Concentração superficial de nitrato

Comparando as médias das áreas entre as duas campanhas, pode-se verificar que todas as áreas na campanha de abril de 2019 apresentam concentrações médias superiores à campanha de outubro de 2018. Na tabela VIII, as áreas que se destacam com as concentrações mais elevadas de nitrato são as áreas A e E, enquanto as áreas com as concentrações mais baixas são as áreas B e D, em ambas as campanhas.

**Tabela VIII.** Concentrações máximas, mínimas e médias de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) superficial nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

NO <sub>3</sub>	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )
A	5,55	0,10	1,27	10,96	0,10	1,80
B	3,65	0,14	0,55	4,00	0,13	0,75
C	4,74	0,20	0,74	8,46	0,20	1,18
D	1,89	0,20	0,53	2,15	0,20	0,77
E	3,43	0,20	0,90	10,96	0,10	1,80

Na figura 2, pode-se constatar a dispersão das concentrações superficiais de nitrato nas 5 áreas de estudo. A área A apresenta concentrações de nitrato mais elevadas comparativamente com as restantes áreas na campanha de outubro de 2018, no entanto, na campanha de abril de 2019, a área E supera a concentração superficial média de nitrato na área A.



**Figura 2.** Mapa da concentração superficial de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).

Os mapas das concentrações superficiais de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) de cada uma das áreas estudadas estão representados em anexo (Figuras A1 – A10).

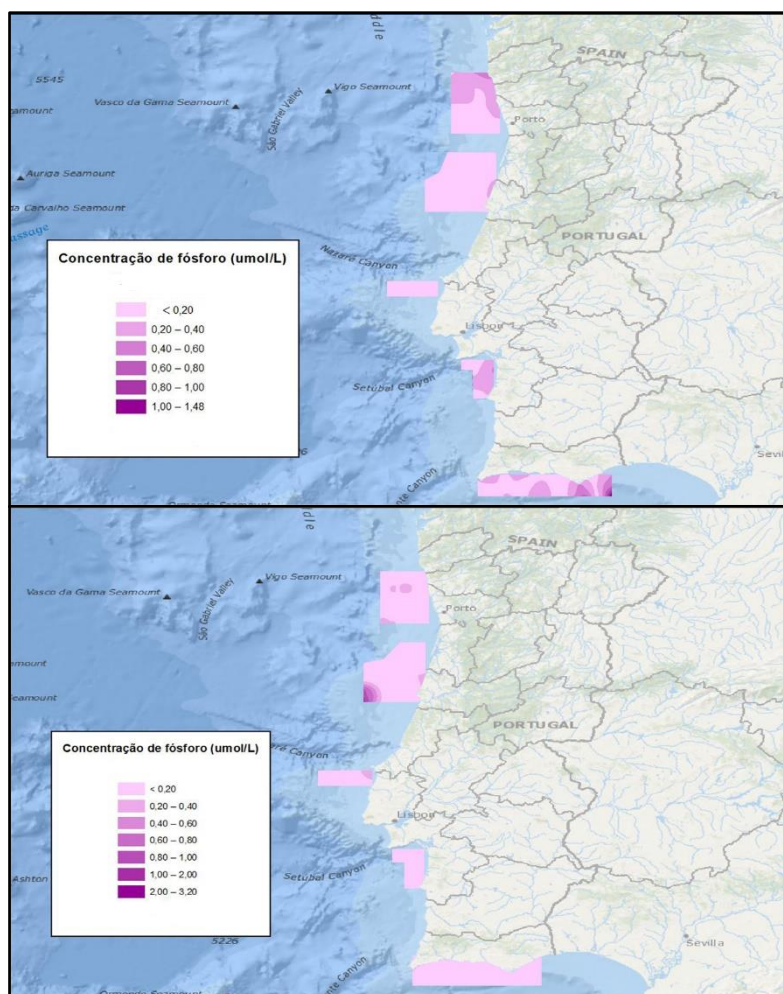
### 3.1.4 Concentração superficial de fósforo

A campanha de outubro de 2018 apresentou concentrações médias de fósforo superiores á campanha de abril de 2019. A área E foi a área com a maior concentração média superficial de fósforo em outubro de 2018 com  $0,24 \mu\text{mol L}^{-1}$  e em abril de 2019 todas as áreas apresentaram um valor médio abaixo do limite de quantificação de  $< 0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Na tabela IX, estão esquematizadas as concentrações máximas, mínimas e médias das restantes áreas.

**Tabela IX.** Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

PO <sub>4</sub>	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )
A	0,54	< 0,20	0,21	0,61	< 0,20	< 0,20
B	0,39	< 0,20	< 0,20	3,20	< 0,20	< 0,20
C	0,21	< 0,20	< 0,20	0,62	< 0,20	< 0,20
D	0,74	< 0,20	0,21	0,20	< 0,20	< 0,20
E	1,48	< 0,20	0,24	0,25	< 0,20	< 0,20

Para representar os mapas da concentração superficial de fósforo, foi necessário recorrer ao modelo de interpolação “Empirical Bayesian Kriging” no software “Arcmap”. Na campanha de outubro de 2018 pode-se constatar que as concentrações estão dispersas numa área mais ampla, enquanto as concentrações de fósforo na campanha de abril de 2019 estão localizadas em pequenas áreas, como demonstra a figura seguinte.



**Figura 3.** Mapa da concentração superficial de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).

Os mapas das concentrações de fósforo superficial ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) de cada uma das áreas estudadas estão representados em anexo (Figuras A11 – A20).

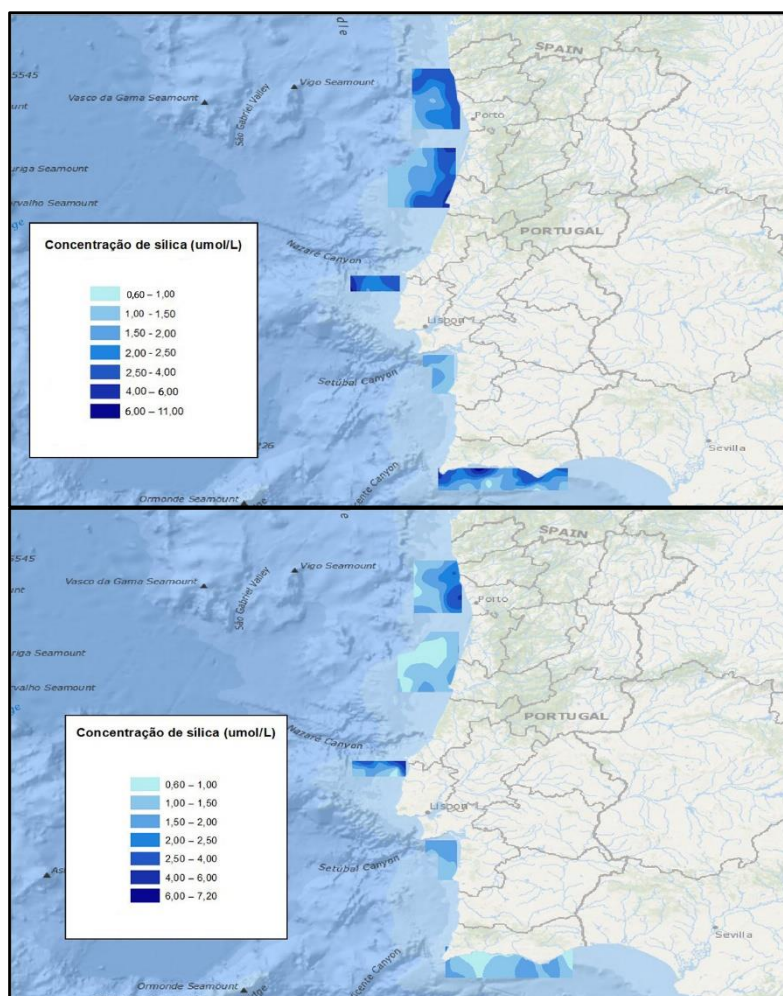
### 3.1.5 Concentração superficial de sílica

As campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 apresentaram diferenças relevantes na concentração superficial de sílica. A área C apresentou as maiores concentrações de sílica superficial em outubro de 2018 e abril de 2019, com concentrações médias de  $3,04 \mu\text{mol L}^{-1}$  e de  $2,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente. Na tabela X, estão esquematizadas as concentrações máximas, mínimas e médias das restantes áreas.

**Tabela X.** Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

SiO <sub>2</sub>	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{mol/L}$ )	Média ( $\mu\text{mol/L}$ )
A	11,00	0,70	2,34	7,20	0,60	1,91
B	9,20	0,90	2,23	3,20	0,36	1,20
C	8,10	1,90	3,04	5,80	0,70	2,17
D	2,30	1,20	1,58	3,00	0,90	1,50
E	11,00	0,70	2,35	2,90	0,60	1,24

Para representar os mapas da concentração superficial de sílica, foi necessário recorrer ao modelo de interpolação “Empirical Bayesian Kriging” no software “Arcmap”. A diferença na concentração superficial de sílica é nítida nas áreas A, B, C e E entre as campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, tal como como demonstra a figura seguinte.



**Figura 4.** Mapa da concentração superficial de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).

Os mapas das concentrações de sílica superficial ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) de cada uma das áreas estudadas estão representados em anexo (Figuras. A21 – A30).

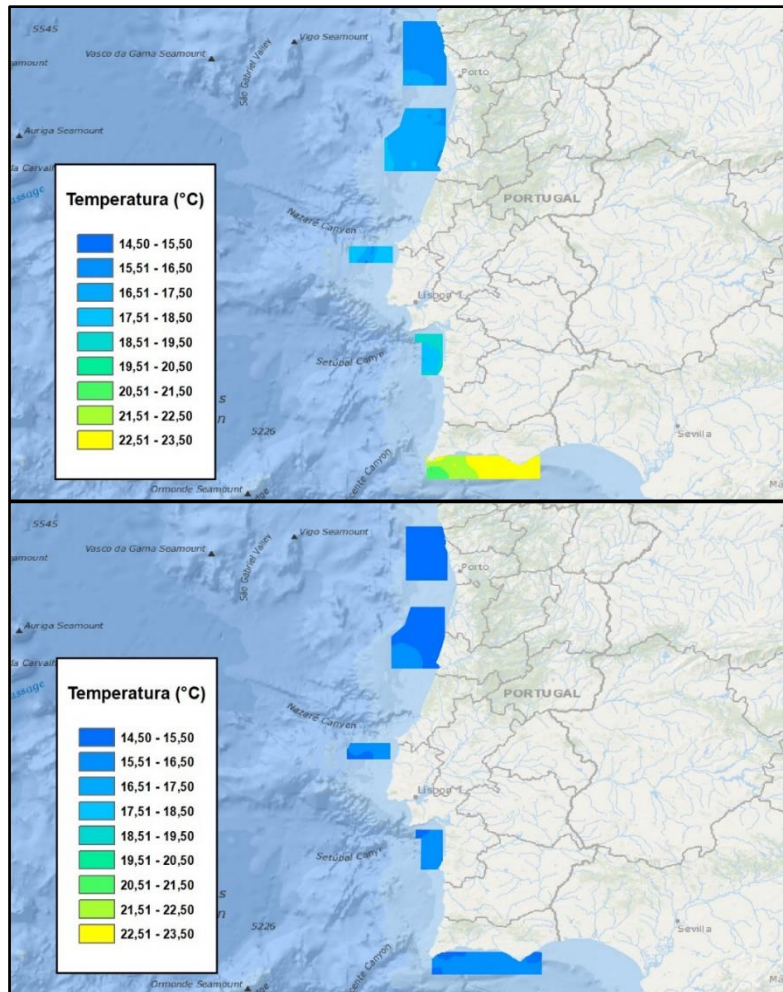
### 3.1.6 Temperatura superficial

As campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 apresentaram diferenças relevantes na temperatura superficial, sendo que a campanha de outubro de 2018 apresentou temperaturas superiores à campanha de abril de 2019. A área E apresenta as temperaturas superficiais mais elevadas e a área A as temperaturas superficiais mais baixas em ambas as campanhas. Na tabela XI, estão esquematizadas as temperaturas máximas, mínimas e médias das restantes áreas.

**Tabela XI.** Temperaturas superficiais máximas, mínimas e médias (°C) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Temperatura	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Média (°C)
A	17,03	15,31	16,18	15,41	13,88	14,63
B	18,13	16,23	17,09	16,21	14,25	15,27
C	18,22	16,95	17,69	16,12	15,00	15,68
D	19,42	17,41	18,67	16,53	14,97	15,71
E	23,56	20,20	22,56	16,56	15,04	15,81

Para representar os mapas da temperatura superficial, foi necessário recorrer ao modelo de interpolação “Empirical Bayesian Kriging” no software “Arcmap”. Na campanha de outubro de 2018, pode-se constatar que a temperatura aumenta à medida que a latitude diminuí, no entanto, na campanha de abril de 2019, as temperaturas apresentam intervalos de temperatura semelhantes. As diferenças de temperatura entre as áreas de estudo são mais evidentes em outubro, do que em abril, tal como demonstra a figura 5.



**Figura 5.** Mapa da temperatura superficial (°C) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).

Os mapas das temperaturas superficiais (°C) das áreas A, B, C, D e E estão representados nos anexos (Figuras. A31 – A40).

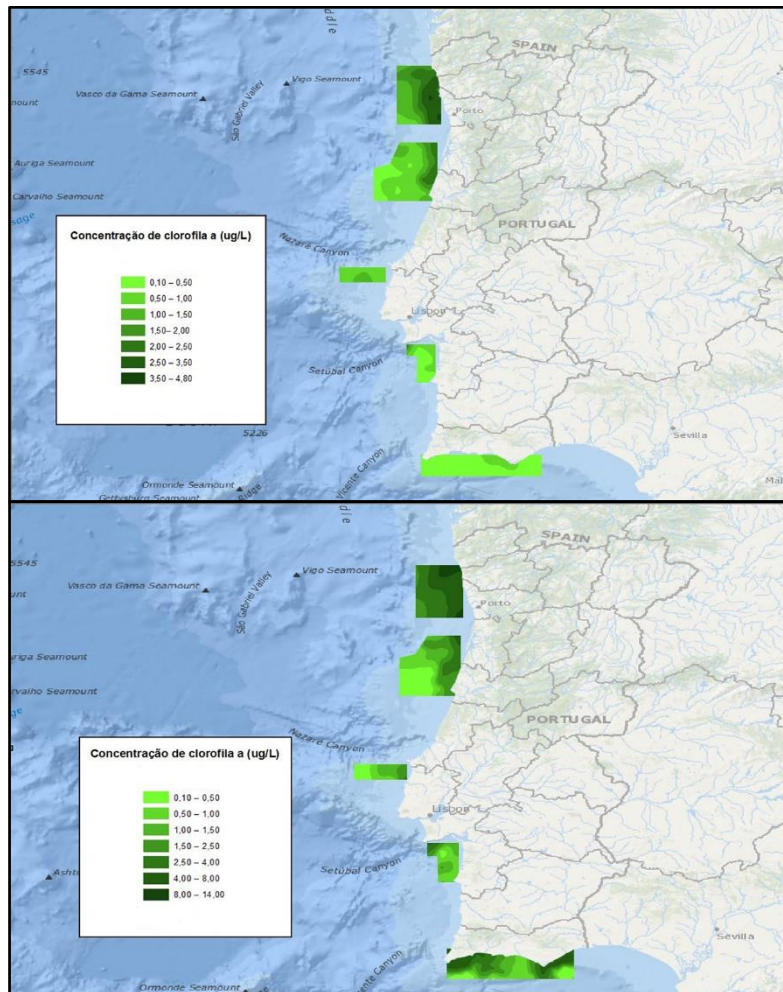
### 3.1.7 Concentração superficial de clorofila *a*

Foram determinadas concentrações superficiais de clorofila *a* em 194 amostras na campanha de outubro de 2018 e 198 amostras na campanha de abril de 2019 (até 7 metros de profundidade) ao longo das 5 áreas da costa Portuguesa. As campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 apresentaram diferenças relevantes na concentração superficial de clorofila *a*. A campanha de abril de 2019 apresentou concentrações médias totais superiores à campanha de outubro de 2018. Em ambas as campanhas, a área A exibiu as concentrações superficiais mais elevadas de clorofila *a*. As concentrações máximas, mínimas e médias das restantes áreas estão esquematizadas na tabela XII.

**Tabela XII.** Concentrações superficiais máximas, mínimas e médias de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Clorofila a	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima ( $\mu\text{g/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{g/L}$ )	Média ( $\mu\text{g/L}$ )	Concentração máxima ( $\mu\text{g/L}$ )	Concentração mínima ( $\mu\text{g/L}$ )	Média ( $\mu\text{g/L}$ )
A	4,80	0,49	2,03	14,00	0,70	5,12
B	2,70	0,18	0,94	5,60	0,17	1,26
C	1,80	0,44	0,85	3,00	0,27	1,06
D	2,40	0,21	0,62	4,40	0,36	1,35
E	1,10	< 0,10	0,30	7,20	0,27	2,34

Para representar os mapas da concentração superficial de clorofila a, foi necessário recorrer ao modelo de interpolação “Empirical Bayesian Kriging” no software “Arcmap”. Na campanha de outubro de 2018, a concentração de clorofila a diminuiu com a descida da latitude, porém, na campanha de abril de 2019, existem áreas onde a concentração superficial de clorofila a é superior em latitudes mais baixas. Essas diferenças na concentração de clorofila a podem ser explicadas pelas diferentes estações do ano quando as amostras foram recolhidas, tal como está demonstra a figura 6.



**Figura 6.** Mapa da concentração superficial de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas 5 áreas de estudo da costa portuguesa das campanhas de outubro de 2018 (em cima) e abril de 2019 (em baixo).

Os mapas das concentrações superficiais de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de cada uma das áreas estudadas estão representados em anexo (Figuras. A41 – A50).

### 3.1.8 pH superficial

As diferenças de pH entre as campanhas são reduzidas e não existe nenhuma área que apresente diferenças relevantes nas 5 áreas de estudo. A área que se destaca na campanha de outubro de 2018 é a área E com o pH mais alto e a área A com o pH mais baixo. Na campanha de abril de 2019, a área com o pH mais alto é a área D e a área E com o pH mais baixo, tal como está representado na tabela XIII.

**Tabela XIII.** Valores superficiais máximos, mínimos e médios de pH nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

pH	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Valor máximo	Valor mínimo	Média	Valor máximo	Valor mínimo	Média
A	8,14	7,85	8,04	8,23	7,80	8,11
B	8,14	8,01	8,10	8,22	7,87	8,10
C	8,17	7,89	8,08	8,21	7,99	8,12
D	8,18	7,98	8,10	8,21	8,06	8,14
E	8,19	7,92	8,12	8,20	7,77	8,07

### 3.1.9 Concentração superficial de oxigénio dissolvido

Na tabela XIV, pode-se observar as diferenças na concentração de oxigénio dissolvido entre as duas campanhas, sendo que a campanha de abril de 2019 apresenta concentrações superiores à campanha de outubro de 2018. Entre cada área, as concentrações de oxigénio dissolvido não apresentam diferenças relevantes, no entanto, na campanha de outubro de 2018, a área B apresenta a maior concentração de oxigénio dissolvido e a área E a menor concentração. Na campanha de abril de 2019, as áreas que se destacam são a área A com a maior concentração de oxigénio dissolvido e a área B com a menor concentração.

**Tabela XIV.** Concentrações superficiais máximas, mínimos e médios de oxigénio dissolvido nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Oxigénio Dissolvido	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Concentração máxima (mg/L)	Concentração mínima (mg/L)	Média (mg/L)	Concentração máxima (mg/L)	Concentração mínima (mg/L)	Média (mg/L)
A	9,00	6,00	7,66	11,00	7,00	9,23
B	9,00	7,00	7,86	10,00	7,00	8,54
C	8,00	7,00	7,82	9,00	7,00	8,59
D	8,00	7,00	7,85	9,00	8,00	8,76
E	8,00	6,00	7,29	9,00	8,00	8,58

### 3.1.10 Salinidade superficial

Foram determinados valores superficiais de salinidade em 180 amostras na campanha de outubro de 2018 e 192 amostras na campanha de abril de 2019 (até 7 metros de profundidade) nas 5 áreas da costa Portuguesa. Como os valores de salinidade eram muito semelhantes nas 5 áreas de estudo, não foi necessário aplicar o modelo de interpolação “Empirical Bayesian Kriging” no software “Arcmap”. Os valores de salinidade não apresentam diferenças relevantes entre as duas campanhas, no entanto, pode-se observar na tabela XV que os valores de salinidade aumentam à medida que a latitude diminuí. Por isso, a área com o valor de salinidade mais elevado é a área E, tal como a área A apresenta os valores mais baixos em ambas as campanhas.

**Tabela XV.** Valores superficiais máximos, mínimos e médios de salinidade nas 5 áreas de estudo nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Salinidade	Campanha de outubro de 2018			Campanha de abril de 2019		
	Valor máximo	Valor mínimo	Média	Valor máximo	Valor mínimo	Média
A	35,79	34,95	35,52	35,69	34,54	35,53
B	35,89	35,46	35,75	35,63	35,16	35,65
C	35,99	35,89	35,95	35,79	35,61	35,80
D	36,73	35,95	36,11	36,04	35,90	35,94
E	36,73	36,18	36,48	36,23	36,00	36,09

### 3.2 Perfil de distribuição vertical (Ocean Data View)

Os parâmetros de pH, oxigénio dissolvido, salinidade, nitritos e amónia não apresentaram diferenças até 100 metros de profundidade, pelo que a representação gráfica dos mesmos não foi efectuada. Nos subcapítulos abaixo apresentam-se como exemplo alguns perfis de distribuição de diferentes parâmetros da área A, sendo que as restantes áreas estão representadas em anexos (Figuras. A51 – A58). Na tabela XVI, estão representados os valores dos parâmetros que apresentaram diferenças até 100 metros nas campanhas de outubro de 2018 e na campanha de abril 2019. Existem diferenças nos parâmetros entre cada intervalo de profundidade e entre as duas campanhas. Observa-se o aumento da concentração dos parâmetros do fósforo, nitrato e sílica à medida que a profundidade aumenta, enquanto os valores da clorofila *a* e temperatura diminuem com a profundidade. A campanha de abril 2019 apresenta concentrações superiores à campanha de outubro de 2018 em todos os intervalos de profundidades, à excepção da temperatura que apresentou valores inferiores à campanha de outubro de 2018.

**Tabela XVI.** Valores médios dos parâmetros de clorofila *a*, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em 3 intervalos de profundidade nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Parâmetros	Campanha de outubro 2018			Campanha de abril de 2019		
	15 - 36 metros	37 - 56 metros	57 - 107 metros	15 - 36 metros	37 - 56 metros	57 - 107 metros
Clorofila <i>a</i>	0,75 µg/L	0,48 µg/L	-	2,15 µg/L	0,96 µg/L	-
Fósforo	0,24 µmol/L	0,38 µmol/L	-	0,39 µmol/L	0,45 µmol/L	0,54 µmol/L
Nitrato	1,66 µmol/L	4,29 µmol/L	-	3,62 µmol/L	5,65 µmol/L	7,91 µmol/L
Sílica	2,15 µmol/L	2,81 µmol/L	-	2,12 µmol/L	2,86 µmol/L	3,63 µmol/L
Temperatura	17,37 °C	15,25 °C	-	14,62 °C	14,17 °C	13,64 °C

Na tabela XVII, apresentam-se os valores médios dos parâmetros de clorofila a, fósforo, nitrato, sílica e temperatura das 5 áreas de estudo em 2 intervalos de profundidade na campanha de outubro de 2018. A maioria dos parâmetros apresenta diferenças entre cada área. Os parâmetros de nitrato e fósforo destacam-se pela diminuição contínua da concentração, com uma concentração mais elevada na área A até à concentração mais baixa na área E em todas as profundidades (à exceção da concentração de fósforo entre as áreas C e D no intervalo de profundidade 15 – 36 metros, onde ocorre um aumento da concentração). No entanto, em profundidade, estes parâmetros apresentam um aumento constante da concentração à medida que a profundidade aumenta. Da mesma forma, os parâmetros da temperatura e clorofila a apresentam uma descida contínua dos valores médios entre cada intervalo de profundidade.

**Tabela XVII.** Valores médios dos parâmetros de clorofila a, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em cada área de estudo em 2 intervalos de profundidade na campanha de outubro de 2018.

Áreas	Profundidades	Parâmetros				
		Clorofila a	Fósforo	Nitrato	Sílica	Temperatura
A	15 - 36 metros	0,78 µg/L	0,35 µmol/L	3,66 µmol/L	2,40 µmol/L	15,06 °C
	37 - 56 metros	0,33 µg/L	0,52 µmol/L	6,87 µmol/L	3,74 µmol/L	13,71 °C
B	15 - 36 metros	0,91 µg/L	0,23 µmol/L	1,53 µmol/L	2,05 µmol/L	16,37 °C
	37 - 56 metros	0,36 µg/L	0,40 µmol/L	5,24 µmol/L	2,69 µmol/L	14,50 °C
C	15 - 36 metros	0,83 µg/L	0,20 µmol/L	0,84 µmol/L	2,17 µmol/L	16,98 °C
	37 - 56 metros	0,46 µg/L	0,34 µmol/L	3,17 µmol/L	2,53 µmol/L	16,02 °C
D	15 - 36 metros	0,61 µg/L	0,22 µmol/L	0,91 µmol/L	1,90 µmol/L	17,86 °C
	37 - 56 metros	0,44 µg/L	0,33 µmol/L	2,92 µmol/L	2,09 µmol/L	16,07 °C
E	15 - 36 metros	0,58 µg/L	0,18 µmol/L	0,83 µmol/L	2,18 µmol/L	20,63 °C
	37 - 56 metros	0,72 µg/L	0,31 µmol/L	2,23 µmol/L	2,71 µmol/L	16,71 °C

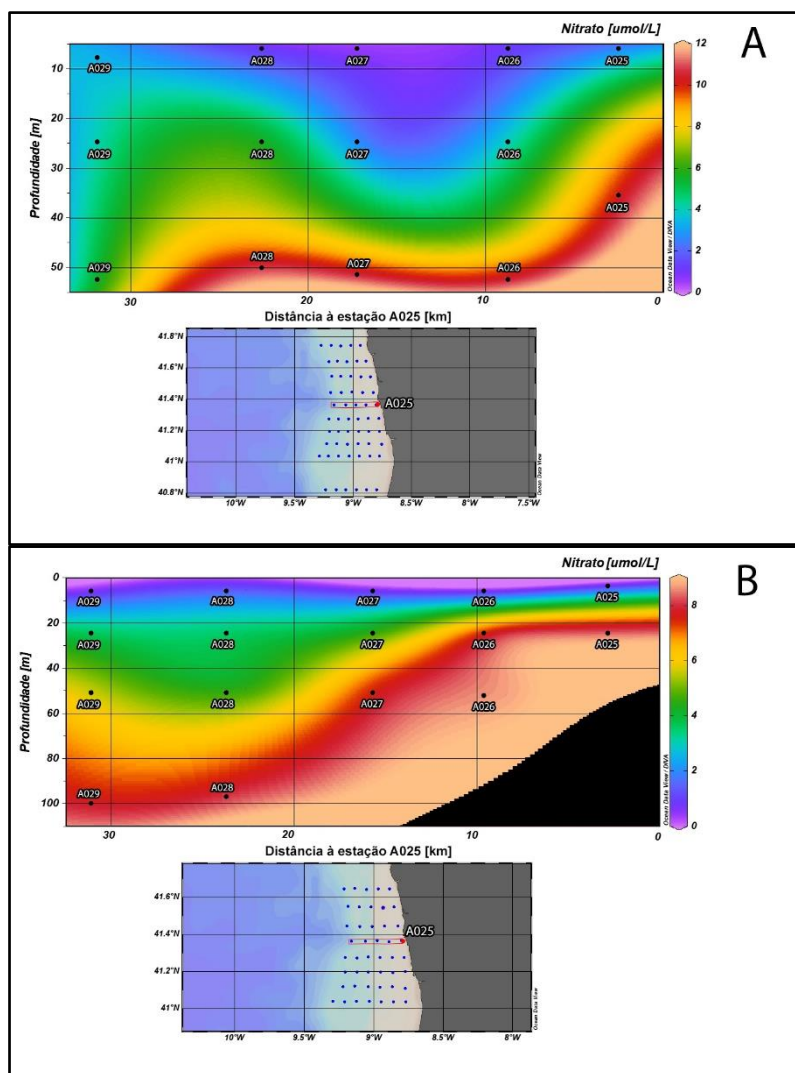
Na tabela XVIII, apresentam-se os valores médios dos parâmetros de clorofila *a*, fósforo, nitrato, sílica e temperatura das 5 áreas de estudo em 3 intervalos de profundidade na campanha de abril de 2019. As concentrações dos parâmetros de fósforo, nitrato e sílica apresentam um aumento significativo à medida que a profundidade aumenta. De forma oposta, os valores médios dos parâmetros de clorofila *a* e temperatura decrescem à medida que a profundidade aumenta.

**Tabela XVIII.** Valores médios dos parâmetros de clorofila *a*, fósforo, nitrato, sílica e temperatura em cada área de estudo em 3 intervalos de profundidade na campanha de abril de 2019.

Áreas	Profundidades	Parâmetros				
		Clorofila <i>a</i>	Fósforo	Nitrato	Sílica	Temperatura
A	15 - 36 metros	3,38 µg/L	0,41 µmol/L	4,54 µmol/L	2,57 µmol/L	13,73 °C
	37 - 56 metros	1,49 µg/L	0,48 µmol/L	6,61 µmol/L	3,62 µmol/L	13,40 °C
	57 - 107 metros	-	0,52 µmol/L	8,30 µmol/L	3,82 µmol/L	12,84 °C
B	15 - 36 metros	1,82 µg/L	0,50 µmol/L	2,73 µmol/L	1,85 µmol/L	14,44 °C
	37 - 56 metros	0,76 µg/L	0,43 µmol/L	4,90 µmol/L	2,72 µmol/L	13,89 °C
	57 - 107 metros	-	0,54 µmol/L	7,85 µmol/L	4,04 µmol/L	13,38 °C
C	15 - 36 metros	0,95 µg/L	0,43 µmol/L	3,48 µmol/L	2,82 µmol/L	14,58 °C
	37 - 56 metros	0,65 µg/L	0,42 µmol/L	4,66 µmol/L	2,89 µmol/L	14,07 °C
	57 - 107 metros	-	0,48 µmol/L	5,55 µmol/L	3,04 µmol/L	13,76 °C
D	15 - 36 metros	1,54 µg/L	0,27 µmol/L	2,18 µmol/L	1,57 µmol/L	15,14 °C
	37 - 56 metros	0,89 µg/L	0,41 µmol/L	4,74 µmol/L	2,35 µmol/L	14,66 °C
	57 - 107 metros	-	0,51 µmol/L	7,69 µmol/L	3,21 µmol/L	14,02 °C
E	15 - 36 metros	2,15 µg/L	0,36 µmol/L	4,13 µmol/L	2,05 µmol/L	15,30 °C
	37 - 56 metros	0,81 µg/L	0,45 µmol/L	6,33 µmol/L	2,55 µmol/L	14,95 °C
	57 - 107 metros	-	0,59 µmol/L	8,68 µmol/L	3,53 µmol/L	14,20 °C

### 3.2.1 Perfil de distribuição vertical de nitrato

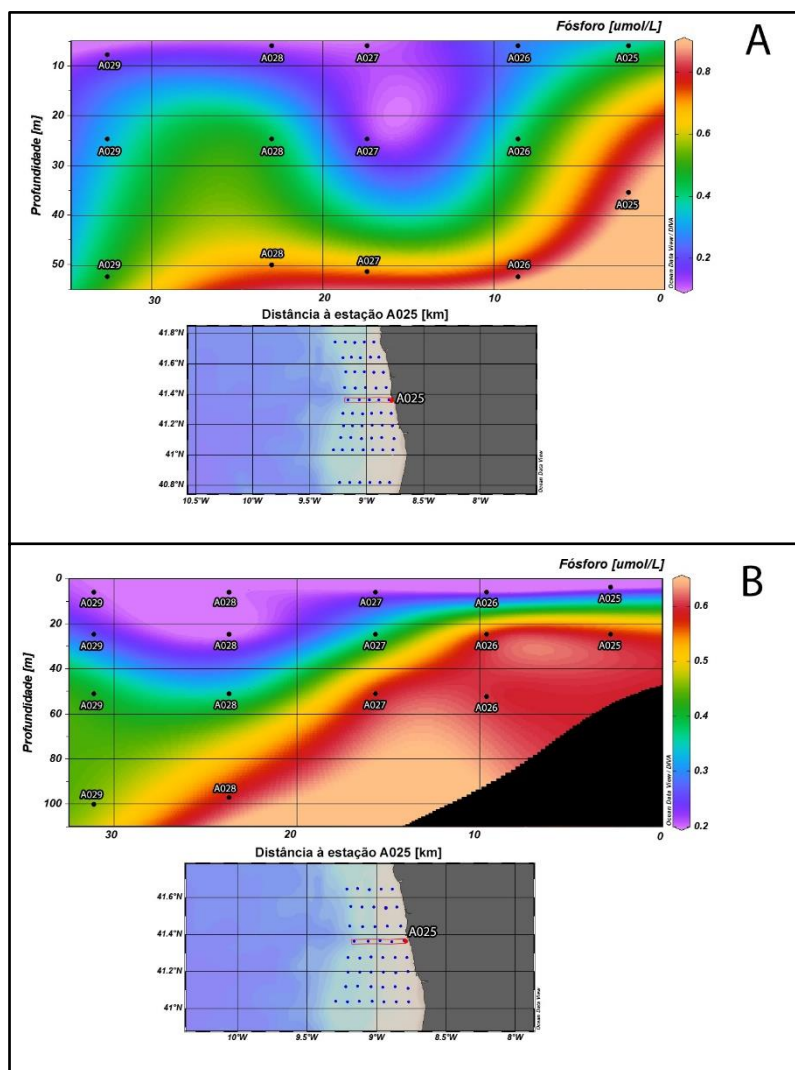
Na figura 7 está representado a distribuição vertical de nitrato na campanha de outubro de 2018 e abril de 2019 até 50 e 100 metros de profundidade, respectivamente. A linha central e perpendicular à costa Portuguesa engloba 5 estações, a começar na estação A025 até à estação A029. A concentração máxima de nitrato em outubro de 2018 foi encontrada na estação A025, a 36 metros de profundidade ( $11,07 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A027, a 5 metros de profundidade ( $0,50 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Em abril de 2019, concentração máxima de nitrato foi encontrada na estação A026, a 50 metros de profundidade ( $8,7 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi determinada na estação A027, a 5 metros de profundidade ( $0,50 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).



**Figura 7.** Perfil de distribuição vertical de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B). O perfil da distribuição vertical de nitrato desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.

### 3.2.2 Perfil de distribuição vertical de fósforo

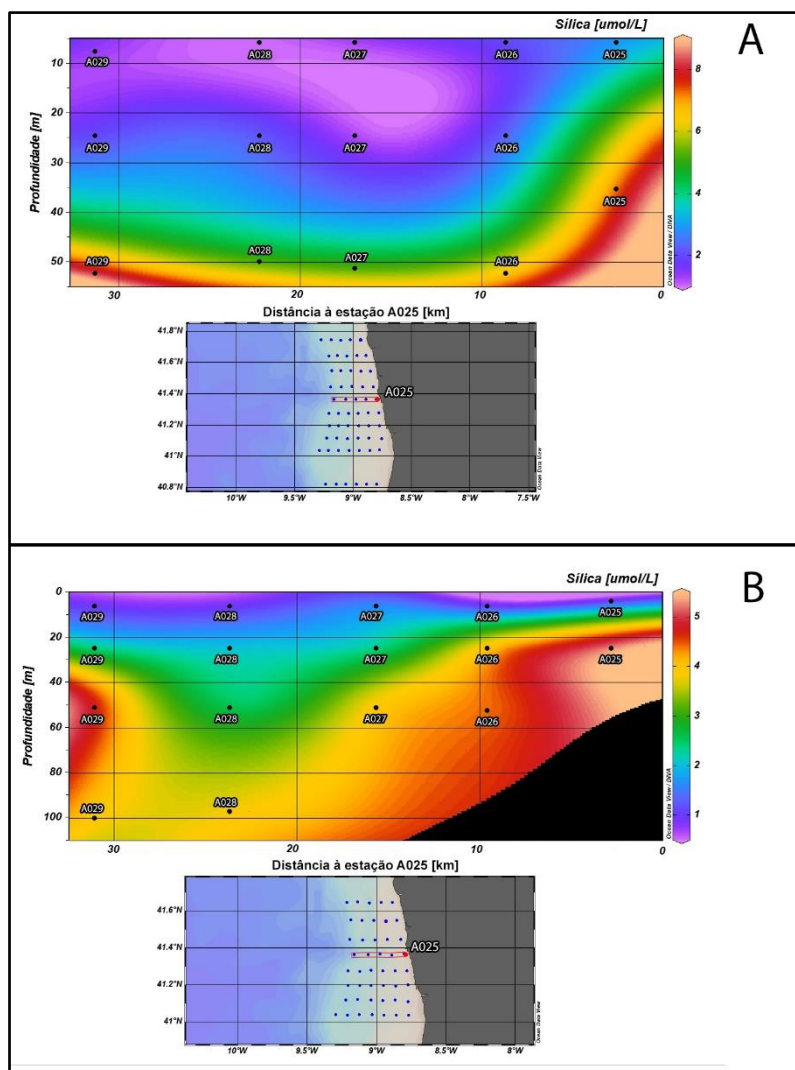
Na figura 8 está representado a distribuição vertical de fósforo na campanha de outubro de 2018 e abril de 2019 até 50 e 100 metros de profundidade, respectivamente. A linha central e perpendicular à costa Portuguesa engloba 5 estações, a começar na estação A025 até à estação A029. A concentração máxima de fósforo em outubro de 2018 foi encontrada na estação A026, a 50 metros de profundidade ( $0,81 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A027, a 25 metros de profundidade ( $0,10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Em abril de 2019, concentração máxima de fósforo foi encontrada na estação A026, a 50 metros de profundidade ( $0,61 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A025, a 4 metros de profundidade ( $0,10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).



**Figura 8.** Perfil de distribuição vertical de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical de fósforo desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.

### 3.2.3 Perfil de distribuição vertical de sílica

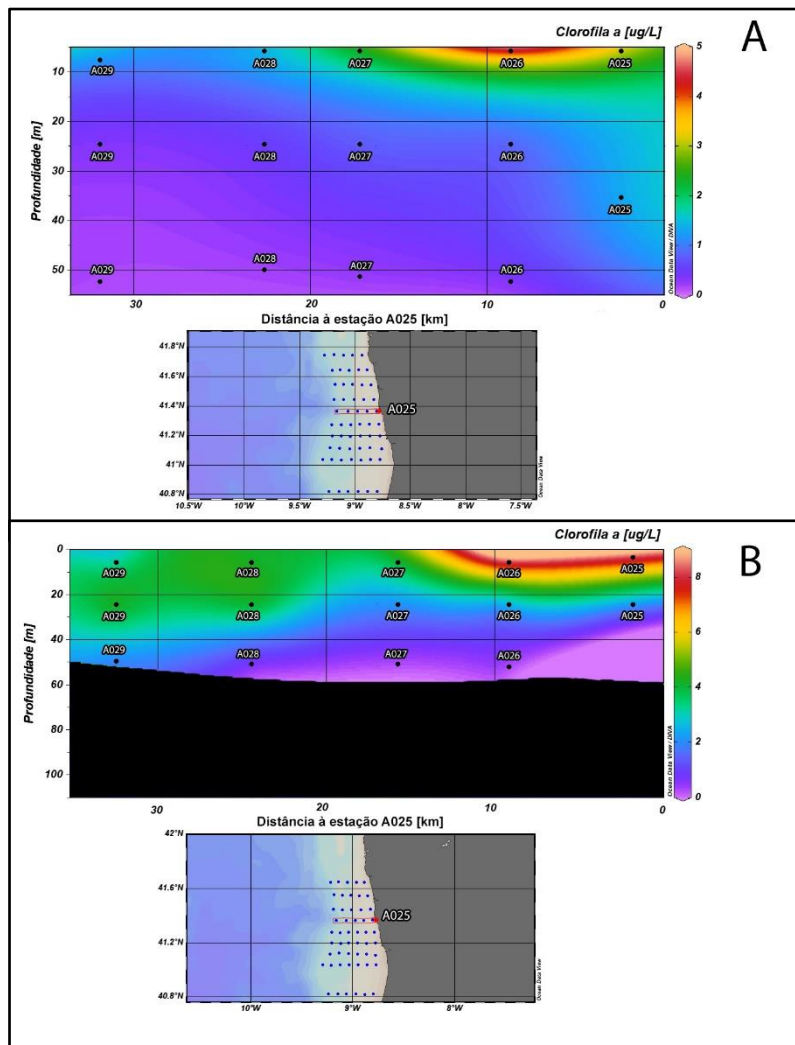
Na figura 9 está representado a distribuição vertical de sílica na campanha de outubro de 2018 e abril de 2019 até 50 e 100 metros de profundidade, respectivamente. A linha central e perpendicular à costa Portuguesa engloba 5 estações, a começar na estação A025 até à estação A029. A concentração máxima de sílica em outubro de 2018 foi encontrada na estação A025, a 50 metros de profundidade ( $5,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A027, a 25 metros de profundidade ( $1,00 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Em abril de 2019, concentração máxima de sílica foi encontrada na estação A025, a 24 metros de profundidade ( $5,50 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A026, a 6 metros de profundidade ( $0,90 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).



**Figura 9.** Perfil de distribuição vertical de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical de fósforo desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.

### 3.2.4 Perfil de distribuição vertical de clorofila a

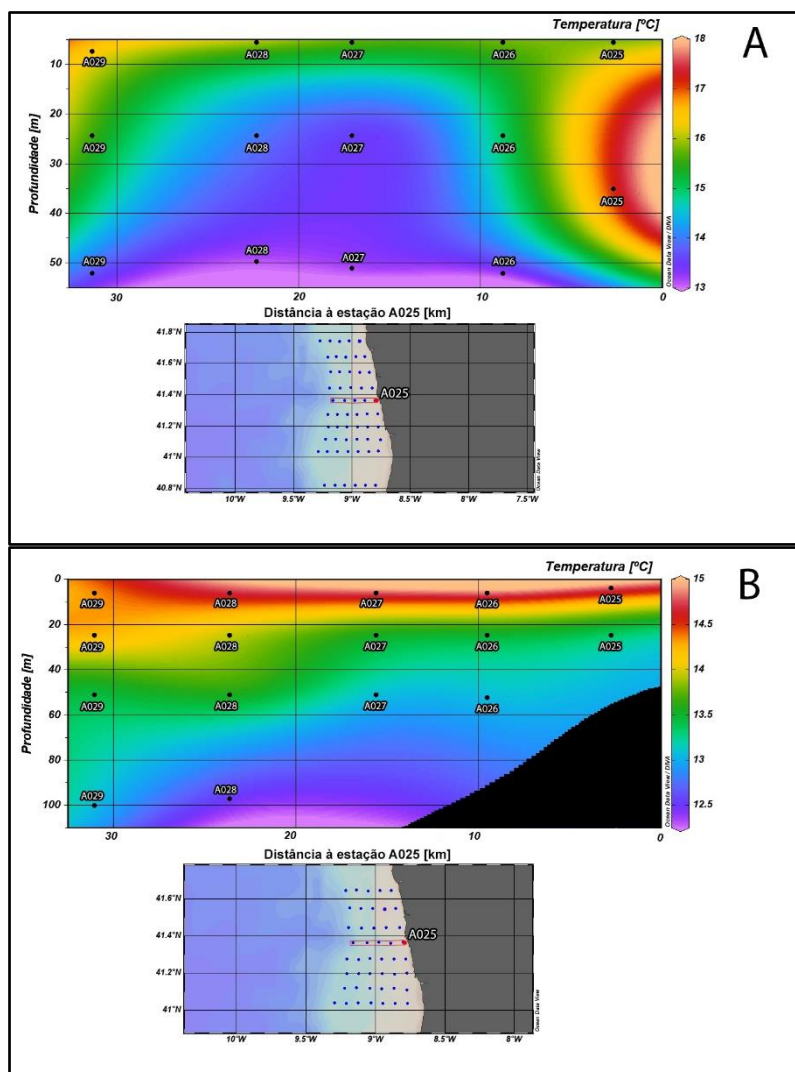
Na figura 10 está representado a distribuição vertical de clorofila a na campanha de outubro de 2018 e abril de 2019 até 50 e 100 metros de profundidade, respectivamente. A linha central e perpendicular à costa Portuguesa engloba 5 estações, a começar na estação A025 até à estação A029. A concentração máxima de clorofila a em outubro de 2018 foi encontrada na estação A026, a 6 metros de profundidade ( $4,80 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A029, a 50 metros de profundidade ( $0,18 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Em abril de 2019, só foram realizadas colheitas até 50 metros de profundidade, por isso, a concentração máxima de clorofila a foi encontrada na estação A026, a 6 metros de profundidade ( $8,30 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e a concentração mínima foi encontrada na estação A029, a 50 metros de profundidade ( $1,70 \mu\text{g L}^{-1}$ ).



**Figura 10.** Perfil de distribuição vertical de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B). O perfil da distribuição vertical de clorofila a desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.

### 3.2.5 Perfil de distribuição vertical de temperatura

Na figura 11 está representado a distribuição vertical da temperatura na campanha de outubro de 2018 e abril de 2019 até 50 e 100 metros de profundidade, respectivamente. A linha central e perpendicular à costa Portuguesa engloba 5 estações, a começar na estação A025 até à estação A029. A temperatura máxima em outubro de 2018 foi encontrada na estação A026, a 6 metros de profundidade (17,38 °C) e a temperatura mínima foi determinada na estação A028, a 50 metros de profundidade (13,07 °C). Em abril de 2019, a temperatura máxima foi encontrada na estação A027, a 5 metros de profundidade (14,88 °C) e a temperatura mínima foi encontrada na estação A028, a 98 metros de profundidade (12,46 °C).



**Figura 11.** Perfil de distribuição vertical da temperatura (°C) até 50 metros de profundidade em outubro de 2018 (A) e até 100 metros de profundidade em abril de 2019 (B).O perfil da distribuição vertical da temperatura desta figura pertence às estações A025, A026, A027, A028 e A29 da área A.

### **3.3 Parâmetros para crescimento óptimo das espécies com interesse económico para aquacultura**

As tabelas XIX, X e XI apresentam a compilação de artigos científicos das espécies com maior potencial em aquacultura *offshore* em Portugal. A tabela XIX apresenta os limites dos parâmetros essenciais para o grupo de peixes, nomeadamente a temperatura, amónia e nitritos. Cada espécie de peixe possui tolerâncias diferentes a cada parâmetro, no entanto, as espécies de água quente como a dourada, robalo e corvina necessitam de temperaturas ideais superiores a 20 °C. A tabela X apresenta os limites dos parâmetros essenciais dos bivalves como a temperatura, amónia, nitritos e alimentação, onde é observável a necessidade de elevadas concentrações de fitoplâncton e na tabela XI estão destacados os limites dos parâmetros essenciais das macroalgas como a temperatura, fósforo e azoto, sendo que cada espécie requiere diferentes concentrações de azoto para desenvolver (Lc 50 – *Lethal concentration*. Concentração necessária para provocar mortalidade a 50% dos indivíduos num ensaio).

**Tabela XIX.** Limites dos parâmetros ótimos para a produção dos peixes com maior potencial em aquacultura em Portugal.

Peixes	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura ideal (°C)	Amónia (NH <sub>3</sub> )	Nitrito (NO <sub>2</sub> )
Corvina ( <i>Argyrosomus regius</i> )	13 °C (Duncan et al., 2013); 14 °C (Chatzifotis et al., 2010)	28 °C (Duncan et al., 2013); 26 °C (Chatzifotis et al., 2010)	20 °C - 21 °C (Larva, Duncan et al., 2013); 26 °C (Antonopoulou et al., 2020)	Lc 50 - 41,1 µmol/L (3.0 ± 0.9 g; 96h; 30ppt salinidade; 22 °C; pH: 8.2; Kir et al., 2015a)	Lc 50 - 849,6 µmol/L (3.2 ± 0.6 g; 96h; 30ppt salinidade; 22 °C; pH: 8.0; Kir et al., 2015b)
Bacalhau-do-atlântico ( <i>Gadus morhua</i> )	-1,5°C (Jordaan e Kling, 2003)	17 °C (Juvenil, Kristjánsson, 2013)	17 °C (Juvenil, Kristjánsson, 2012); 7 °C (Kristjánsson, 2012); 15,4 ± 1,1°C (hbl-1, Petersen e Steffensen, 2002); 8,2 ± 1,5°C (hbl-2, Petersen e Steffensen, 2002); 9 °C (Björnsson et al., 2007); 14,3°C (1,98g, Björnsson et al., 2007);	> 5,9 µmol/L - Redução do crescimento (Juvenil, Thorarensen et al., 2018)	> 20 µmol/L - Redução do crescimento (7,0 ± 1.9 g; 96 dias; 33 ppt; pH: 8,0; Siikavuopio et al., 2006)
Salmão-do-atlântico ( <i>Salmo salar</i> )	0 °C - 7 °C (Parr + smolt, Grande e Andersen 1991; Finstad et al., 2004; 14 °C (Oppedal et al., 2001; Johansson et al., 2006; Johansson et al., 2009); 8 °C (Post-smolt, Friedland et al., 2000; Jonsson e Jonsson, 2004)	22 °C - 28 °C (Parr + smolt, Grande e Andersen 1991; Finstad et al., 2004); 18 °C (Oppedal et al., 2001; Johansson et al., 2006; Johansson et al., 2009); 12 °C (Post-smolt, Friedland et al., 2000; Jonsson e Jonsson, 2004)	13 °C (Olsvik et al., 2013; Jørgensen et al., 2014; Hevrøy et al., 2015); 12 °C - 18 °C (Elliott e Elliott, 2010)	Lc 50 - 5,34 µmol/L (4,8 cm - 9,2 cm; 96h; 12,5 °C; pH: 6,05; Knoph, 1991) > 2,06 µmol/L - Redução do crescimento (17,4 ± 0.1 g; 105 dias; 35 ppt salinidade; pH: 7,2; Kolarevic et al., 2012)	> 74 µmol/L - Redução do crescimento (Smolt, Gutiérrez et al., 2019)
Dourada ( <i>Sparus aurata</i> )	11 °C (Muller-Feuga, 1990); 11 °C - 12 °C (Bovo et al., 1995); 13°C (Ibarz et al., 2010); > 12 °C (Tort et al., 1998); > 12 °C (Seginer, 2016)	32,9 °C (Muller-Feuga, 1990); 30 °C (Guinot et al., 2012); 30 °C (Seginer, 2016)	24 °C - 26 °C (Ravagnan, 1984; Barnabe, 1991); 24 °C (Larva; Shields, 2001); 22 °C (Guinot et al., 2012); 23°C (Tort et al., 1998); 25 °C (Seginer, 2016)	Lc 50 - 146,8 µmol/L (160g; 96h; 34ppt salinidade; 18 °C; pH 8,1; Le Ruyet et al. 1995); Lc 50 - 44,7 µmol/L (1,1 ± 0,1g; 96h; 30ppt salinidade; 20 °C; Kir et al., 2017)	-
Robalo ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	5 °C (Claridge e Potter, 1983); 2 °C - 3 °C (Barnabe, 1991); 5°C (Kousoulaki et al., 2015); 11 °C - 15 °C (Larva; Barnabé, 1991)	28 °C (Claridge e Potter, 1983); 30 °C - 32 °C (Barnabe, 1991); 26 °C (Larva; Person-Le Ruyet et al., 2004); 28 °C (Kousoulaki et al., 2015); 30 °C - 32 °C (Larva; Barnabé, 1991)	22 °C - 24 °C (Claridge e Potter, 1983); 22 °C - 25 °C (Barnabe, 1991); 25 °C (Dulger et al., 2012); 20 °C - 22 °C (Larva, Barnabé, 1991) 20 °C (Zhang et al., 2021)	Lc 50 - 99,8 µmol/L (11g; 96h; 37ppt salinidade; 21,8 °C; pH 8,0; Person-Le Ruyet et al., 1995)	Lc 50 - 1035 µmol/L (15 cm; 96h; 36 ppt salinidade; 23 °C; pH 8,1 - 8,4; Saroglia et al., 1981)

(– não foram encontrados dados para o parâmetro)

**Tabela XX.** Limites dos parâmetros ótimos para a produção de bivalves com maior potencial em aquacultura em Portugal.

Bivalves	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura ideal (°C)	Amónia (NH <sub>3</sub> )	Nitrito (NO <sub>2</sub> )	Filtração
Mexilhão ( <i>Mytilus edulis</i> )	5 °C (Widdows, 1978)	28,2 °C (Wallis, 1975)	13 °C - 22 °C ( <i>Mytilus californianus</i> , Bayne et al., 1976); 15 °C - 20 °C (Almada-Villela et al., 1982); 11 °C - 18 °C (Kittner et al., 2005)	Lc 50 - 1,47 µmol/L (22 ± 2,5 mm ; 21 dias; 15,9 ± 0,5 °C; pH: 7,94 ± 0,07; salinidade: 29,7 ± 0,03 ppt; Kittner et al., 2005)	-	Min: 0,5 µg/L - 0,9 µg/L Ideal: 6,3 µg/L - 10 µg/L (Clorofila a, Riisgaard et al., 2006; Pascoe et al., 2009)
Vieira ( <i>Pecten maximus</i> )	4 °C (Brynjelsen e Strand 1996); 6,5 °C (Laing et al., 2000); 5 °C - 8 °C (Davenport et al., 1975)	22,9 °C (Laing et al., 2000)	16 °C - 17 °C (Laing et al., 2000) 10 °C - 14 °C (Hawkings et al., 2005)	-	-	Crescimento elevado: 300 µg/L ( <i>Rhodomonas baltica</i> ; Bergvik et al., 2019)
Ostra ( <i>Crassostrea gigas</i> )	8 °C - 10 °C (Fabioux et al., 2005)	32 °C (Moreira et al., 2018)	18 °C - 20 °C ( <i>Crassostrea angulata</i> ; Portela, 2016)	-	-	Crescimento elevado: 25 células/hora/larva ( <i>Crassostrea angulata</i> ; Qiu et al., 2015)
Ameijôa-boia ( <i>Ruditapes decussatus</i> )	10 °C (Albentosa, 1996)	28 °C (Larva estágio D, Albentosa, 1996)	20 ± 1 °C (Região Norte da Península Ibérica, Matias et al., 2009); 22 ± 1 °C (Região sul da Península Ibérica, Matias et al., 2009);	Redução do crescimento: 99,8 µmol/L (Sobral, 2004)	-	Crescimento elevado: 70.000 células mL <sup>-1</sup> ( <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Pavlova lutheri</i> e <i>Chaetoceros muelleri</i> (1:1:2); Aranda-Burgos et al., 2014)

(– não foram encontrados dados para o parâmetro)

**Tabela XXI.** Limites dos parâmetros ótimos para a produção de macroalgas com maior potencial em aquacultura em Portugal.

Macroalgas	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura ideal (°C)	Fósforo (P)	Azoto (N)
Gracilaria ( <i>Gracilaria gracilis</i> )	10 °C (Rebello et al., 1996)	28 °C (Rebello et al., 1996)	18 °C - 23 °C (Rebello et al., 1996); 20 °C - 25 °C ( <i>Gracilaria sp</i> ; Raikar, 2001); 25 °C ( <i>Gracilaria verrucos</i> ; Engledow e Bolton, 1992)	Crescimento elevado: 0,02 µmol/L (Rebello et al., 1996)	Crescimento elevado: 0,12 µmol/L (Amónia + Nitrito + Nitrato; Rebello et al., 1996)
Nori ( <i>Porphyra umbilicalis</i> )	3 °C ( <i>Porphyra yezoensis</i> ; Green et al., 2015); 8 °C ( <i>Porphyra haitanensis</i> ; Green et al., 2015)	20 °C (Kraemer e Yarish, 1999)	10 °C - 15 °C (Green et al., 2015); 10 °C (Kim e Kraemer, 2007)	Crescimento elevado: 19,50 µmol/L (Hafting, 1999)	Crescimento elevado: 35 µmol/L (Amónia; Kim e Kraemer, 2007)
Wakame ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	5 °C (Endo et al., 2017)	25 °C (Endo et al., 2017)	12°C - 13 °C (Saito et al., 1975); 15 °C (Endo et al., 2017)	Crescimento elevado: 15,45 µmol/L (Wu et al., 2004)	-

(- não foram encontrados dados para o parâmetro)

### 3.4 Integração da informação para selecção das zonas mais adequadas para aquacultura offshore

Através da análise dos dados das campanhas de 2018 e 2019 e dos artigos bibliográficos, foi possível elaborar as tabelas XXII, XXIII e XXIV sobre o potencial da implementação de aquacultura offshore. Os parâmetros de amónia, nitrito, oxigénio dissolvido e pH encontram-se dentro dos limites para produzir os 3 grupos de espécie, dessa forma, não foram considerados na discussão. Cada grupo de espécies tem parâmetros ótimos específicos que podem ser limitantes, no caso do grupo dos peixes é a temperatura; no grupo das macroalgas são a temperatura, fósforo e azoto (amónia, nitrito e nitrato) e o grupo de bivalves são a temperatura e fitoplâncton. Os parâmetros ótimos das espécies são relacionados com os resultados das campanhas de 2018 e 2019, sendo que, os valores médios anuais obtidos no projeto projecto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*, nível 4) da NASA são complementados

no capítulo 4. Assim, as tabelas seguintes comparam os dados obtidos nas duas campanhas com os parâmetros ótimos de cada espécie referenciados nos artigos bibliográficos.

**Tabela XXII.** Comparação da temperatura ótima dos peixes com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Peixes	Parâmetros ideais	Parâmetros das campanhas (Outubro de 2018 / Abril de 2019)	
	Temperatura	Área Ideal	Temperatura (Média)
Salmão-do-atlântico ( <i>Salmo salar</i> )	<b>12 - 18 °C</b> (Elliott e Elliott, 2010; Olsvik et al., 2013; Jørgensen et al., 2014; Hevrøy et al., 2015)	Superfície: A, B e C > 7 metros: A, B e C (Outubro 2018 e Abril 2019)	<b>Máximo:</b> 16,14 °C; 17,08 °C; 17,69 °C; respectivamente. (Superfície; Outubro 2018) <b>Mínimo:</b> 14,63 °C; 15,24 °C; 15,58 °C; respectivamente. (Superfície; Abril 2019)
Dourada ( <i>Sparus aurata</i> )	<b>22 - 26 °C</b> (Ravagnan, 1984; Barnabe, 1991; Shields, 2001; Guinot et al., 2012; Seginer, 2016)	Superfície: E (Só em Outubro 2018)	22,54 °C; (Superfície; Outubro 2018).
Corvina ( <i>Argyrosomus regius</i> )	<b>20 - 26 °C</b> (Duncan et al., 2013; Antonopoulou et al., 2020; )	Superfície: E (Só em Outubro 2018)	22,54 °C; (Superfície; Outubro 2018).
Robalo ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	<b>20 - 25 °C</b> (Claridge e Potter, 1983; Barnabe, 1991; Dulger et al., 2012)	Superfície: E (Só em Outubro 2018)	22,54 °C; (Superfície; Outubro 2018)
Bacalhau-do-atlântico ( <i>Gadus morhua</i> )	<b>7 - 15,4 °C</b> (Petersen e Steffensen, 2002; Björnsson et al., 2007; Kristjánsson, 2012)	Superfície: A e B (Só em Abril 2019) > 7 metros: A e B (Outubro 2018 e Abril 2019)	14,63 °C; 15,24 °C; respectivamente. (Superfície; Abril 2019)

**Tabela XXIII.** Comparação dos parâmetros ótimos dos bivalves com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Bivalves	Parâmetros ideais		Parâmetros superficiais das campanhas (Outubro de 2018 / Abril de 2019)		
	Temperatura	Filtração	Área Ideal	Temperatura (Média)	Clorofila a (Média)
Mexilhão ( <i>Mytilus edulis</i> )	<b>10 - 20 °C</b> (Bayne et al., 1976; Almada-Villela et al., 1982; Kittner et al., 2005)	<b>&gt; 6,30 ug/L</b> (Riisgaard et al., 2006, Clorofila a; Pascoe et al., 2009)	Superfície: A, B, C e D (Outubro 2018 e Abril 2019)	<b>Máximo:</b> 16,14 °C; 17,08 °C; 17,69 °C; 18,60 °C, respectivamente. (Superfície; Outubro 2018) <b>Mínimo:</b> 14,63 °C; 15,24 °C; 15,58 °C; 15,71 °C respectivamente. (Superfície; Abril 2019)	<b>Máximo:</b> 4,62 ug/L; 1,33 ug/L; 0,71 ug/L; 1,36 ug/L, respectivamente. (Superfície; Outubro 2018) <b>Mínimo:</b> 2,03 ug/L; 0,94 ug/L; 0,85ug/L; 0,62 ug/L, respectivamente. (Superfície; Abril 2019)
Vieira ( <i>Pecten maximus</i> )	<b>10 - 17 °C</b> (Laing et al., 2000; Hawkings et al., 2005)	<b>300 ug/L</b> ( <i>Rhodomonas baltica</i> ; Bergvik et al., 2019)	Superfície: A (Só em Outubro 2018)	16,14 °C; (Superfície; Outubro 2018)	4,62 ug/L; (Superfície; Outubro 2018)
Ostra ( <i>Crassostrea gigas</i> )	<b>18 - 20 °C</b> (Portela, 2016)	<b>25 células/hora</b> (Qiu et al., 2015)	Superfície: D (Só em Outubro 2018)	18,60 °C; (Superfície; Outubro 2018)	0,62 ug/L; (Superfície; Outubro 2018)
Ameijôa-boa ( <i>Ruditapes decussatus</i> )	<b>20 - 22 °C</b> (Matias et al., 2009)	<b>70.000 células /mL</b> ( <i>Isochrysis galbana</i> , <i>Pavlova lutheri</i> e <i>Chaetoceros muelleri</i> ; Aranda-Burgos et al., 2014)	Superfície: E (Só em Outubro 2018)	22,54 °C; (Superfície; Outubro 2018)	0,30 ug/L; (Superfície; Outubro 2018)

**Tabela XXIV.** Comparação dos parâmetros ótimos das macroalgas com os dados das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019.

Macroalgas	Parâmetros ideais			Parâmetros superficiais das campanhas (Outubro de 2018 / Abril de 2019)			
	Temperatura	Fósforo	Azoto	Área Ideal	Temperatura (Média)	Fósforo (Média)	Azoto (Média)
Gracilaria ( <i>Gracilaria gracilis</i> )	<b>18 - 25 °C</b> (Rebello et al., 1996; Raikar, 2001)	<b>0,02 µmol/L</b> (Rebello et al., 1996)	<b>0,12 µmol/L</b> (Rebello et al., 1996)	Superfície: D e E (Só em Outubro 2018)	18,60 °C; 22,54 °C, respectivamente. (Superfície; Outubro 2018)	0,20µmol/L; 0,12 umol/L, respectivamente. (Superfície; Outubro 2018)	1,15 umol/L; 1,47 umol/L, respectivamente. (Superfície; Outubro 2018)
Nori ( <i>Porphyra umbilicalis</i> )	<b>10 - 15 °C</b> (Kim e Kraemer, 2007; Green et al., 2015)	<b>19,50 µmol/L</b> (Hafting, 1999)	<b>35,00 µmol/L</b> (Kim e Kraemer, 2007)	Superfície: A (Só em Abril de 2019)	14,63 °C; (Superfície; Outubro 2018)	-	2,21 umol/L; (Superfície; Abril 2019)
Wakame ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	<b>12 - 15 °C</b> (Saito et al., 1975; Endo et al., 2017)	<b>15,45 µmol/L</b> (Wu et al., 2004)	(sem literatura bibliográfica)	Superfície: A (Só em Abril de 2019)	14,63 °C; (Superfície; Abril 2019)	-	2,21 umol/L; (Superfície; Abril 2019)

## 4. Discussão de resultados

Para implementar uma aquacultura *offshore* ou zona costeira em Portugal, é crucial compreender todos os parâmetros que influenciam o crescimento e sobrevivência das espécies. Ao relacionar os parâmetros físicos, químicos e biológicos da costa portuguesa com os parâmetros ótimos de crescimento das espécies com maior potencial para aquacultura em Portugal, permitirá promover novas perspectivas à aquacultura nacional. De referir que no âmbito desta dissertação, embora relevantes, não foram analisadas as condições oceanográficas como as correntes e a agitação marítima. Este trabalho focou-se na análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos de 5 áreas da zona costeira de Portugal, comparando esses valores com os parâmetros ótimos de crescimento das espécies selecionadas.

### 4.1 Potencial da aquacultura de peixes em Portugal

As duas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 permitem constatar que a concentração de amónia e nitritos estão muito abaixo do limite tóxico para qualquer espécie de peixe. Tal como estes parâmetros, o oxigénio dissolvido, salinidade ou pH estão dentro do intervalo ótimo para desenvolver o cultivo de peixes marinhos. No entanto, o parâmetro essencial que mais sofre alterações ao longo das 5 áreas de estudo e que influencia fortemente o metabolismo dos animais é a temperatura. Uma vez que os parâmetros anteriores não apresentam valores limitantes para o cultivo das espécies selecionadas, apenas os valores de temperatura foram discutidos e comparados com os resultados obtidos das campanhas.

#### 4.1.1. Potencial da aquacultura de dourada (*Sparus aurata*)

Nas duas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, nenhuma das 5 áreas de estudo apresentou temperaturas inferiores a 13 °C até 7 metros de profundidade, onde diversos autores sugerem que, a partir dessa temperatura, a *Sparus aurata* deixa de alimentar (Ibarz et al., 2003; Ibarz et al., 2010). Organismos euritérmicos, como a *Sparus aurata*, conseguem suportar diversos valores de temperatura, contudo, variações na temperatura ótima induzem alterações na osmorregulação e diminuição do crescimento (Vargas-Chacoff, 2009). Alguns autores referem que a temperatura ideal da *Sparus aurata* seja entre 22 - 26 °C (Barnabe, 1991; Guinot et al., 2012; Seguiner, 2016). A área E em outubro de 2018, apresentou valores ótimos de temperatura para o crescimento de *Sparus aurata* com 22,54 °C (média), todavia, na campanha de abril de 2019, a temperatura da área E até 7 metros de profundidade foi de 15,79 °C (média). A produção *offshore* de *Sparus aurata* está sujeita às variações sazonais e com temperaturas frias

podem desenvolver uma doença chamada “Síndrome de inverno”, provocando mortalidade, supressão da actividade imunológica e redução da osmorregulação (Tort et al., 1998; Gallardo et al., 2003; Sala-Rabanal et al., 2003; Ibarz et al., 2007). Nesse contexto, a temperatura média anual do projecto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) indica que as áreas A, B e C apresentam temperaturas inferiores a 13 °C em 2018 no mês de fevereiro, apontando as dificuldades que as douradas poder sofrer se permanecerem o ano inteiro nestas áreas. As áreas D (onde já produzem *Sparus aurata* em jaulas em Sines) e E não apresentaram temperaturas inferiores a 13 °C em 2018, nem em 2019, no entanto, a área mais próxima dos valores ótimos para a produção de *Sparus aurata* foi a área E. Através da análise dos dados em ODV da área E nas tabelas XVII e XVIII as temperaturas nunca foram inferiores a 13°C até 100 metros de profundidade nas duas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, revelando que, se necessário, em condições de elevada agitação marítima, as jaulas têm uma margem elevada para poderem submergir sem provocar constringimentos aos peixes, associados á temperatura. Actualmente, esta espécie já é produzida no Algarve, como por exemplo, na ria do alvor.

#### **4.1.2. Potencial da aquacultura de robalo (*Dicentrarchus labrax*)**

Nas duas campanhas de outubro 2018 e abril 2019, nenhum valor de temperatura ultrapassa os limites suportável pelo *Dicentrarchus labrax*, indicando que é possível realizar aquaculturas *offshore* até 7 metros de profundidade em toda a costa portuguesa, onde os autores Claridge et al. (1983), Barnabe et al. (1991), Kousoulaki et al. (2015), Islam et al. (2020), indicam que a temperatura mínima do *Dicentrarchus labrax* seja entre 2 - 8 °C e máxima de 28 – 32 °C. Contudo, para um crescimento ideal, apenas a área E na campanha de outubro de 2018, apresenta as temperaturas ótimas (20 – 25 °C) referida pelos autores Claridge et al. (1983), Barnabe et al. (1991), Dulger et al. (2012), Zhang et al. (2021). Observando os dados adquiridos no projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*), nenhum mês em 2018 e 2019 atingiu os limites máximos ou mínimos de temperatura para o desenvolvimento de *Dicentrarchus labrax* nas 5 áreas de estudo. Contudo, a área E, em 2018 nos meses de agosto, setembro e outubro possibilitava possivelmente um acréscimo no crescimento, uma vez que as temperaturas estavam mais próximas do ótimo para a espécie: 20,91 °C, 22,16 °C e 22,04 °C (média), respectivamente. De igual forma, em 2019 na área E as temperaturas nos meses de agosto, setembro e outubro eram 20,20 °C, 22,25 °C e 21,71 °C (média), respectivamente. Os dados em ODV (nas tabelas XVII e XVIII) destacam que em todas as áreas até 100 metros de profundidade, as temperaturas nunca atingiam valores inferiores a 8 °C, possibilitando o crescimento de *Dicentrarchus labrax* até essa

profundidade. Comparativamente às restantes áreas, a área E apresenta os melhores parâmetros de temperatura para desenvolver novos cultivos de *Dicentrarchus labrax*, onde já é produzida simultaneamente com a *Sparus aurata*.

#### **4.1.3. Potencial da aquacultura de corvina (*Argyrosomus regius*)**

A corvina (*Argyrosomus regius*) possui uma tolerância elevada a diversos valores de temperatura e salinidade. Esta característica permite à corvina desenvolver em diversos habitats, incluindo o mediterrâneo, mar negro e a costa oeste da Europa e África (Shabana et al., 2012). Tal versatilidade permite à corvina crescer em todas áreas da costa portuguesa de acordo os valores de temperatura determinados nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, uma vez que nenhum valor de temperatura atingiu os valores mínimos de 13 °C e os valores máximos de 28 °C (Duncan et al., 2013) à superfície. Porém, a única área que apresenta as melhores condições para produzir *Argyrosomus regius* é a área E, uma vez que a temperatura ótima desta espécie é entre 20 – 26 °C (Duncan et al., 2013; Antonopoulou et al., 2020) e é a única área que apresentou temperaturas superiores a 20 °C. Atráves da análise do projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*), os únicos meses que a temperatura foi superior a 20 °C na área E foram em agosto, setembro e outubro e as temperaturas mínimas nesta área atingiram valores próximos de 15 °C em fevereiro, em ambos os anos. Apesar de 15 °C não ser a temperatura ideal para produzir *Argyrosomus regius*, não deverá ser suficiente para provocar mortalidade, onde no meio natural, esta espécie consegue suportar estas diminuições da temperatura e até podem emigrar para regiões estuarinas (Morales-Nin et al., 2012). Nas áreas A, B e C, onde a temperatura pode atingir valores inferiores a 13 °C, é desaconselhado a implementação de aquaculturas *offshore* ou em zonas costeiras, na medida em que o crescimento desta espécie será reduzido. Os dados das tabelas XVII e XVIII na área E indica que, em outubro de 2018 e abril de 2019, as temperaturas nunca foram inferiores a 13 °C até 100 metros de profundidade, destacando-se como a área mais adequada para produzir corvina. Em Portugal, ainda não foram implementadas aquaculturas de *Argyrosomus regius*, no entanto, já foram realizados vários estudos e ensaios que indicam o potencial desta espécie em aquacultura.

#### **4.1.4. Potencial da aquacultura de salmão-do-atlântico (*Salmo salar*)**

O salmão-do-atlântico requer temperaturas baixas para crescer de forma otimizada, verificando-se essas condições nas regiões costeiras do norte e centro do país. As campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 destacam que as únicas áreas que é possível realizar produção desta espécie são as áreas A, B e C. Nas áreas D e E, as temperaturas superficiais na campanha de outubro de 2018 ultrapassam os limites da temperatura máxima (18 °C), referidos pelos autores Oppedal et al. (2001) e Johansson et al. (2009). Na campanha de abril de 2019, não existe nenhuma área que ultrapasse o limite máximo de 18 °C na superfície e todas estão compreendidas no intervalo ótimo de temperatura entre 12 – 18 °C (Elliott e Elliott, 2010; Olsvik et al., 2013; Jørgensen et al., 2014; Hevrøy et al., 2015), no entanto, para uma produção anual constante, é necessário observar os dados no projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*). No ano de 2018, a área que destaca-se com temperaturas ótimas para o crescimento de salmão é a área A, onde apenas no mês de julho, as temperaturas atingiram os 18,04 °C (média), limite máximo tolerado por esta espécie. Os restantes 11 meses estão no intervalo de 12 – 18 °C. No ano seguinte, as áreas A, B e C nunca excederam os limites mínimos e máximos das temperaturas suportadas pelo salmão-do-atlântico. Comparando os dados das tabelas XVII e XVIII das áreas A, B e C, pode-se constatar que a temperatura não ultrapassa o limite mínimo de 12 °C até aos 100 metros, onde, se for necessário submergir as jaulas num mês mais quente, não deverá ocorrer mortalidade associada à temperatura. No entanto, de salientar que os autores Fosseidengen et al. (1982), Ablett et al. (1989) e Dempster et al. (2008), referem que o salmão-do-atlântico tem dificuldades em ajustar a bexiga nadatória e que não devem permanecer muito tempo em profundidades elevadas. Em Portugal, ainda não há nenhum sistema de produção desta espécie, no entanto, já existe um teste piloto em Aveiro para implementar uma aquacultura *offshore* de *Salmo salar*.

#### **4.1.5. Potencial da aquacultura de bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*)**

A única forma de instalar uma aquacultura *offshore* de bacalhau-do-atlântico, *Gadus morhua*, é através da sua implementação na região norte do país e com jaulas permanentemente submergíveis, o que pode levar a problemas relacionados com a alimentação dos indivíduos e com a manutenção das jaulas. Nenhuma área na campanha de outubro de 2018 apresenta as temperaturas ótimas de 7 – 15,4 °C, assinalado pelos autores Petersen e Steffensen (2002), Jordaan e Kling (2003), Björnsson et al. (2007), Kristjánsson et al. (2013). Apesar da campanha de abril de 2019 apresentar em todas as áreas à superfície valores de temperatura ótima, os dados do

projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) demonstra que, ao longo do ano, não seria possível realizar á superfície ou na zona costeira a produção de bacalhau-do-atlântico. Nos anos de 2018 e 2019, a área A apresentou 5 meses onde a temperatura foi superior a 15,4°C (junho, julho, agosto, setembro e outubro). As outras áreas como a área E, apresenta 10 meses no ano de 2018 com temperaturas superiores a 15,4°C (janeiro, abril, Maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro), provocando constrangimentos no metabolismo dos indivíduos e, potencialmente, altas taxas de mortalidade. Porém, os dados das tabelas XVII e XVIII na campanha de outubro de 2018 indicam que, apesar da temperatura superficial ser 22,54 °C (média), a partir dos 50 metros, a temperatura decresce para os 17°C. Esta temperatura é ideal para desenvolver juvenis do bacalhau-do-atlântico (Kristjánsson, 2013), porém, os autores Pedersen et al. (1989) e Björnsson et al. (2001) afirmam que, após a fase juvenil, a temperatura ideal continua a decrescer até aos 14°C e, na área E, seria necessário profundidades superiores a 50 metros, o que inviabiliza a produção. A área que poderia fornecer as melhores condições para desenvolver uma aquacultura *offshore* de bacalhau-do-atlântico seria a área A, ainda assim, a temperatura não é a ótima para a espécie. Actualmente, ainda não foram implementadas aquaculturas desta espécie em Portugal, uma vez que as temperaturas à superfície não são adequadas para o seu desenvolvimento.

#### **4.2 Potencial da aquacultura de bivalves em Portugal**

As campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 destacaram os locais mais promissores para produzir bivalves na costa portuguesa. Os parâmetros essenciais que mais sofrem alteração nas 5 áreas de estudo são a temperatura, clorofila *a* e a sílica. Este último parâmetro não está diretamente relacionado com a concentração de diatomáceas (possuem uma frústula de sílica e são filtrados pelos bivalves) na água, no entanto, permite indicar as áreas que apresentam as maiores concentrações de sílica (e possivelmente de diatomáceas) (Weir et al., 2020), que poderá ser benéfico à produção de bivalves (Pernet et al., 2012). O oxigénio dissolvido, salinidade e pH estão compreendidos nos intervalos ótimos para desenvolver bivalves e a concentração dos parâmetros tóxicos como a amónia e nitrito, estão abaixo dos limites tóxicos.

#### 4.2.1 Potencial da aquacultura de mexilhão (*Mytilus edulis*)

O único período que poderá limitar o crescimento do mexilhão é a área E em outubro de 2018, uma vez que o mexilhão possui um intervalo de temperaturas ótimas de 10 – 20 °C (Bayne et al., 1976; Almada-Villela et al., 1982; Kittner et al., 2005) e essa área apresentou uma temperatura de 22,54 °C (média). A campanha de abril de 2019 exhibe temperaturas ótimas e o projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) salienta que existem condições benéficas em todas as áreas de estudo, excepto em 3 meses (agosto, setembro e outubro) na área E em ambos os anos de 2018 e 2019, onde as temperaturas registaram acima dos 20°C. Observando os dados de clorofila *a*, a seleção do local deverá corresponder com as necessidades fisiológicas para o mexilhão atingir o tamanho comercial no menor período possível. A área que se aproxima da concentração ideal de 6,3 µg L<sup>-1</sup> referenciado pelo autor Riisgard et al. (2006) foi a área A, com concentrações superficiais de 2,03 µg L<sup>-1</sup> (média) na campanha de outubro de 2018 e concentrações de 5,12 µg L<sup>-1</sup> (média) na campanha de abril de 2019. Relativamente aos dados de sílica, a área que apresentou as maiores concentrações de sílica foi a área C com 3,04 µmol L<sup>-1</sup> (média) e 2,17 µmol L<sup>-1</sup> (média) nas campanhas de outubro de 2018 e abril 2019, respectivamente. As tabelas XVII e XVIII mostram que, em todas as áreas de estudo, a concentração de clorofila *a* decresce com a profundidade e a concentração de sílica aumenta com a profundidade e, uma vez que a clorofila *a* é indispensável para o desenvolvimento do mexilhão, a área mais adequada seria à superfície na área A. Apesar da área A demonstrar as melhores condições para produzir *Mytilus edulis*, existem diversas produções *offshore* na costa algarvia em longlines e estruturas flutuantes na lagoa de albufeira, possivelmente devido às condições hidrodinâmicas mais propícias à instalação de cultivos *offshore*.

#### 4.2.2 Potencial da aquacultura de vieira (*Pecten maximus*)

Todas as áreas da campanha de abril de 2019 apresentam condições ideais para implementar a *Pecten maximus*, no entanto, apenas a área A apresenta valores de temperatura ótimos (10 – 17° C) na campanha de outubro de 2018, segundo a temperatura de referência dos autores Brynjelsen et al. (1986) e Laing et al. (2000). Os limites de temperatura mínima da vieira foram registados em 4 °C pelo autor Brynjelsen et al. (1986) e temperatura máxima em 22,9 °C pelo autor Laing et al. (2000), o que coincide com todos os valores de temperatura recolhidos nas duas campanhas, indicando a possibilidade de implementar aquaculturas em toda a costa portuguesa, onde o projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) reforça que, apenas nos meses de julho de 2018 e agosto de 2019, a temperatura ultrapassava

os 17 °C. A área E apresenta 7 meses com temperatura acima dos 17°C em 2018 e 2019 (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro), onde embora possa não provocar mortalidade, o crescimento seria reduzido. A concentração de clorofila *a* está directamente relacionada com a concentração de microalgas presentes na água e o autor Bergvik et al. (2019) indica que a vieira alcançou um crescimento mais rápido com uma concentração de microalgas de 300 µg L<sup>-1</sup> (*Rhodomonas baltica*) em ensaios experimentais. De salientar que a área A apresentou uma concentração de clorofila *a* de 2,03 µg L<sup>-1</sup> (média) na campanha de outubro de 2018 e 5,12 µg L<sup>-1</sup> (média) na campanha de abril de 2019. Em termos de concentração de sílica, a área A exhibe concentrações de 3,04 µmol L<sup>-1</sup> (média) em outubro de 2018 e 2,17 µmol L<sup>-1</sup> (média) em abril de 2019, sendo que esta é a segunda área com as maiores concentrações de sílica atrás da área C. As tabelas XVII e XVIII mostram que a superfície corresponde à zona onde as microalgas são mais abundantes, por isso, o local mais adequado para implementar uma aquacultura de vieiras seria à superfície na área A, no entanto, esta espécie apenas é produzida em pequena escala em Portugal, apesar de existirem estudos suficientes para intensificar a produção na costa portuguesa.

#### **4.2.3 Potencial da aquacultura de ostra (*Crassostrea gigas*)**

A *Crassostrea angulata* está adaptada para crescer em águas mais quentes do que a *Crassostrea gigas* (Huvet et al., 2002), no entanto, ambas as espécies são resilientes a variações de salinidade e temperatura (Zanette et al., 2011; Cross et al., 2014; Moreira et al., 2016). O facto do autor Portela et al. (2016) referir que a temperatura ótima para desenvolver *Crassostrea angulata* é entre 18 - 20 °C, permite servir de comparação para o desenvolvimento de *Crassostrea gigas*, uma vez que as duas já são produzidas em conjunto no estuário do Sado (Moreira et al., 2018). A campanha de outubro 2018 apresenta 1 área onde esse intervalo de temperatura é verificado, nomeadamente a área D (18,60 °C; média). Na campanha de abril de 2019, não existe nenhuma que área que apresente as temperaturas ótimas da *Crassostrea gigas*, mas com limites mínimos de 8 – 10 °C (Fabioux et al., 2005) e máximos de 28 °C (Moreira et al., 2018), é possível implementar aquaculturas de Ostra em toda a costa Portuguesa. Além disso, já existem stocks selvagens de *Crassostrea gigas* desde a Noruega até sul de Portugal (Miossec et al., 2009). O projecto GHRST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) assinala que, no ano de 2018, a área com maior número de meses com temperaturas ideais para desenvolver *Crassostrea gigas* é a área B, nos meses julho, agosto e setembro, com temperaturas de 18,92 °C, 18,01 °C e 18,25 °C (média), respectivamente. Em 2019, a área com o maior número de meses com a temperatura ótima foi a área E, nos meses julho e novembro, com temperaturas de

18,40 °C e 18,37 °C (média), respectivamente. Analisando os dados de concentração de clorofila *a* entre as áreas B, D e E, pode-se constatar que a área com as maiores concentrações de clorofila *a* na campanha de outubro de 2018 é a área B, com 0,94 µg L<sup>-1</sup> (média) e, na campanha de abril de 2019, a área com a maior concentração de clorofila *a* foi a área E, com 2,34 µg L<sup>-1</sup> (média). Entre as áreas B, D e E, a área com a maior concentração de sílica na campanha de outubro de 2018 foi a área E, com 2,35 µmol L<sup>-1</sup> (média) e na campanha de abril de 2019 foi a área D com 1,50 µmol L<sup>-1</sup> (média). Cada uma das 3 áreas (B, D e E) apresenta condições benéficas para desenvolver uma aquacultura de *Crassostrea gigas*, mas no geral, nenhuma se destaca de forma evidente. Todavia, devido ao amplo intervalo de tolerância aos fatores abióticos, a implementação de uma aquacultura *offshore* de *Crassostrea gigas* nas áreas B e D podem ser promissoras. A principal região de produção desta espécie é na região de Setúbal, no entanto, já é produzida em regimes *offshore*, em tanques em terra e em rias no Algarve.

#### **4.2.4 Potencial da aquacultura da amêijoa-boia (*Ruditapes decussatus*)**

A amêijoa-boia possui um intervalo de temperaturas ótimas consoante a sua origem geográfica (Matias et al., 2009). As populações de amêijoa-boia exibem temperaturas ótimas de 20 ± 1 °C no norte da península ibérica e 22 ± 1 °C no sul da península ibérica (Matias et al., 2016). Habitualmente as amêijoas são produzidas em viveiros em terra e enterram-se no sedimento, contudo tem sido avançado a sua produção em cultivos *offshore* e recentemente surgiu uma maternidade em Portugal que pretende realizar o crescimento desta espécie na costa sul do Algarve em mar aberto. A campanha de outubro de 2018 indica que, a temperatura ideal para o cultivo de amêijoa-boia apenas é verificada na área E, onde a temperatura alcançou os 22,54 °C (média). Na campanha de abril de 2019, nenhuma área apresentou condições ótimas para implementar uma aquacultura *offshore* de amêijoa-boia. Porém, com limites mínimos de temperatura nos 8 °C e máximos de 28°C (Albentosa et al., 1996), todas as áreas das duas campanhas estão compreendidas nestes valores. Os dados recolhidos no projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) mostram que, a única área que apresenta o maior número de meses com temperaturas ideais é a área E, nos meses de agosto, setembro e outubro em 2018 e 2019. A concentração de clorofila *a* e de sílica (diatomáceas) são fundamentais para melhorar as taxas de fecundidade, aumentar o índice gonadossomático e as taxas de sobrevivência na amêijoa-boia (González-Araya et al., 2011), pelo que tem que existir qualidade e quantidade na concentração de fitoplâncton (Matias et al., 2016). A concentração de clorofila *a* na área E foi bastante

reduzida quando comparada com as restantes áreas na campanha de outubro de 2018. No entanto, na campanha de abril de 2019, a área E foi a segunda área com as concentrações de clorofila *a* mais altas (2,34  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; média). A área E foi a terceira área com a maior concentração de sílica na campanha de outubro de 2018 (2,35  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ; média) e a quarta área na campanha de abril de 2019. As tabelas XVII e XVIII indicam que as melhores condições para implementar uma aquacultura *offshore* é na área E à superfície, onde a temperatura e a concentração de clorofila *a* são superiores. Actualmente, a amêijoia-boia é produzida em diversas regiões do país, desde a ria de Aveiro até ao Algave.

### **4.3 Potencial da aquacultura de macroalgas em Portugal**

As áreas com maior potencial para implementar uma aquacultura na zona costeira de macroalgas foram estudadas nas campanhas de 2018 e 2019. Os parâmetros essenciais como a concentração de nitrato e a concentração de fósforo apresentam diferenças na costa portuguesa e ao longo da profundidade. Estes dois parâmetros são amplamente estudados e utilizados para o crescimento de macroalgas (Rezvani et al., 2017). As concentrações de nitrato e fósforo aumentam à medida que a profundidade aumenta, no entanto, diversos estudos indicam que espécies fotossintéticas possuem maiores taxas de crescimento com uma maior exposição luminosa (Jacob-Lopes et al., 2009; Krzeminska et al., 2013). Nesse contexto, a implementação de estruturas em profundidades elevadas irá reduzir a exposição solar e diminuir o crescimento de macroalgas, pelo que a região mais apropriada para implementar as mesmas será nos primeiros metros da coluna de água. A concentração de amónia e de nitritos estão abaixo do limite de quantificação, porém, em concentrações elevadas, seriam considerados essenciais no crescimento de macroalgas. Da mesma forma, os parâmetros de oxigénio dissolvido e pH não foram considerados como fatores limitantes, uma vez que se encontram dentro dos limites para a implementação das macroalgas e, por isso, apenas os valores de fósforo, nitrato e temperatura foram discutidos e comparados com os resultados obtidos das campanhas. Em Portugal, a produção de macroalgas é quase inexistente mas diversos estudos realizados por uma empresa na zona de Aveiro, apontam para o potencial que as macroalgas poderão ter na remoção de azoto da água, proveniente da piscicultura e na criação de novos empregos.

#### **4.3.1 Potencial da aquacultura da Gracilaria (*Gracilaria gracilis*)**

Apenas nas áreas D e E são observadas as temperaturas ótimas para o cultivo da *Gracilaria* de 18 – 23°C (Engledow e Bolton, 1992; Rebello et al., 1996; Raikar et al., 2001; Capillo et al., 2017). Contudo, com limites de temperatura máxima de 28 °C e mínimo de 10 °C (Rebello et al., 1996), esta espécie pode ser encontrada por toda a costa portuguesa. Tal como as campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 indicam, nenhuma área ultrassou os limites máximos e mínimos de temperatura toleráveis pela *Gracilaria*. Juntamente com a temperatura, é necessário potenciar o crescimento com uma concentração elevada de nutrientes, onde a áreas A e E destacam-se na concentração de nitrato e fósforo. O autor Rebello et al. (1996) refere que as concentrações de azoto (amónia, nitrito e nitrato) e de fósforo que promovem o maior crescimento na *Gracilaria gracilis* é de 0,12  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e de 0,02  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente. Todas as áreas ultrapassam este valor de azoto, sendo que a área com a maior concentração de nitrato foi a área E na campanha de abril de 2019 com 1,81  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média) e a área com a maior concentração de fósforo foi a área A com 0,23  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média). Além da área E possuir as maiores concentrações de nitrato, o projeto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) reforça que esta área apresenta 5 meses do ano com temperaturas ótimas (18 – 23°C) entre os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro em 2018 e 2019. Nas tabelas XVII e XVIII, as concentrações de fósforo e nitrato aumentam com a profundidade, no entanto, como já foi referido, aumentar a profundidade limita a exposição solar e reduz o crescimento, sendo que a área E à superfície é a região mais indicada para realizar uma aquacultura de *Gracilaria*. Além disso, as macroalgas necessitam de zonas abrigadas das possíveis condições marítimas adversas, de maneira a não se libertarem das estruturas onde estão fixas. Dessa forma, seria aconselhado produzir em zonas costeiras e protegidas das condições marítimas.

#### **4.3.2 Potencial da aquacultura de Nori (*Porphyra umbilicalis*)**

O Nori é uma das macroalgas economicamente mais rentáveis e vantajosas de produzir. Além de atingirem o tamanho comercial em 45 dias, os talos haplóides com carpósporos podem ser congelados até 12 meses e semeados novamente (Green et al., 2015). Essa técnica permite evitar a recolha de indivíduos no meio selvagem e reduzir as despesas associadas. As temperaturas ótimas de 10 – 15 °C (Kramer et al., 2007; Green et al., 2015) obrigam à implementação de aquaculturas no norte e centro do país. Nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, a única área que se aproxima dos valores de temperatura ótima à superfície é a área A com 16,14 °C (média) em outubro

de 2018 e 14,63 °C (média) em abril de 2019. As restantes áreas ultrapassam os 15 °C em ambas as campanhas, contudo, com limites mínimos de 8 °C (Green et al., 2015) e máximos de 20 °C (Kraemer et al., 1999), apenas as áreas D e E seriam para a implementação da sua produção. Os dados do projecto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) indicam que a área A apresenta o maior número de meses com temperaturas ótimas à superfície de 10 – 15 °C, onde apenas nos meses de verão (junho, julho e agosto) e outono (setembro e outubro), as temperaturas excediam os 15 °C em ambos os anos 2018 e 2019. Em termos de nutrientes, a área A apresentou a maior concentração de nitrato e a segunda maior concentração de fósforo na campanha de outubro de 2018 com 1,27  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média) e 0,21  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média), respectivamente. Na campanha de abril de 2019, a área A foi a área com a maior concentração de nitrato com 1,80  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média), mas a concentração média de fósforo estava abaixo do limite de quantificação ( $< 0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Considerando os perfis apresentados, devido à necessidade de exposição solar, a localização mais adequada para o Nori seria à superfície e próximo da costa na área A.

#### **4.3.3 Potencial da aquacultura de Wakame (*Undaria pinnatifida*)**

As referências bibliográficas indicam que a temperatura ótima da Wakame é específica para intervalos de temperatura entre 12 – 15 °C (Saito et al., 1975; Endo et al., 2017). A temperatura na maioria das áreas não está compreendida no intervalo ótimo de temperaturas, sendo que a única área que apresenta valores entre 12 – 15 °C é a área A na campanha de abril de 2019 com temperaturas de 14,63 °C (média). No entanto, esta macroalga pode ser encontrada em toda a costa portuguesa, uma vez que apresenta limites de temperatura bastante dispersos, capaz de suportar temperaturas inferiores a 25 °C e superiores a 5 °C (Endo et al., 2017). Esta macroalga possui uma elevada capacidade de adaptação à temperatura dependendo da sua origem geográfica, onde alguns autores como Fairhead et al. (2004), e Gao et al. (2012), salientam que a curto prazo as macroalgas toleram as variações de temperatura mas que, a longo prazo, a seleção natural reduz a população das macroalgas menos resistentes. Por isso, a longo prazo, é necessário não distanciar muito da temperatura ótima, onde os dados do projecto GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*) indicam que a área que apresenta o maior número de meses com temperaturas ótimas é a área A entre os meses de novembro a maio, em ambos os anos de 2018 e 2019. Nas campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019, a área A obteve as concentrações mais elevadas de nitrato com 1,27  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média) e 1,80  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (média), respectivamente. Estas concentrações de nitrato encontram-se

bastante acima do valor ideal de azoto referenciado por Rebello et al. (1996) de  $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ . A concentração de fósforo na área A foi de  $0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$  (média) na campanha de outubro de 2018, onde a concentração ideal de fósforo de  $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$  pelo autor Rebello et al. (1996) é amplamente ultrassada na área A. Estas concentrações elevadas de nitrato e fósforo podem indicar que o cultivo de *Undaria pinnatifida* beneficia de um acréscimo de nutrientes, resultando numa taxa de crescimento mais elevada. Nas tabelas XVII e XVIII, as concentrações de nitrato e fósforo aumentam com a profundidade, no entanto, à superfície a macroalga poderá beneficiar da exposição solar e obter maiores taxas de crescimento, onde a área costeira mais indicada para a produção de Wakame seria próximo da área A. De salientar que não foram determinados as concentrações destes parâmetros em zonas próximas da costa, sendo necessário averiguar se as concentrações obtidas nestas campanhas podem ser aplicadas na zona costeira para utilização da água do mar em cultivos em terra.

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram a possibilidade de implementar mais aquaculturas *offshore* na costa portuguesa para além das já existentes. Durante as campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019 foram efetuadas colheitas de amostras para análise de diferentes parâmetros que permitiram identificar as principais áreas para produzir peixes, bivalves *offshore* e macroalgas nas zonas costeiras adjacentes. Para o cultivo de peixes, a temperatura é o principal parâmetro a influenciar o crescimento dos organismos, uma vez que as concentrações de amónia e nitrito foram reduzidas e todas as espécies selecionadas toleram as variações de oxigénio dissolvido, salinidade e pH observadas nas duas campanhas. Para espécies que necessitam de temperaturas mais frias, como o bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*) e o salmão-do-atlântico (*Salmo salar*) as áreas mais apropriadas seriam localizadas no norte do país, nomeadamente, ainda que com bastantes restrições, a área A para o bacalhau-do-atlântico e as áreas A, B e C para o salmão-do-atlântico. No caso do bacalhau-do-atlântico (*Gadus morhua*), a área A pode não ser suficientemente fria à superfície, sendo potencialmente necessário jaulas submersíveis durante o verão o que traria constrangimentos difíceis de ultrapassar como a alimentação e a manutenção das jaulas. As espécies que crescem melhor com temperaturas mais elevadas como a dourada (*Sparus aurata*), a corvina (*Argyrosomus regius*) e o robalo (*Dicentrarchus labrax*) seriam implementados possivelmente com mais sucesso na área E, onde as temperaturas são ótimas à superfície (até 7 metros de profundidade) e conseguem suportar as temperaturas dentro dos limites toleráveis até, pelo menos, 50 metros de profundidade. Nos bivalves, para além da temperatura, os parâmetros como a concentração de sílica e clorofila *a* exibiram os locais mais promissores para implementar aquaculturas *offshore* em Portugal. O mexilhão (*Mytilus edulis*), sendo uma espécie perfeitamente adaptada a diversas gamas de temperatura, seria implementada na região que apresenta as maiores concentrações de clorofila *a*, designadamente na área A à superfície. A ostra (*Crassostrea gigas*) necessita de um intervalo de temperaturas mais específico, onde nenhuma área se destacava nos parâmetros essenciais. No entanto, as áreas B, C e D apresentam concentrações de sílica e clorofila *a* aparentemente apropriadas à superfície, juntamente com temperaturas que são toleráveis pela ostra durante o ano inteiro. A amêijoia-boia (*Ruditapes decussatus*) necessita de temperaturas ótimas mais elevadas, limitando a sua implementação na área E à superfície (até 7 metros de profundidade), porém, esta espécie apresenta limites máximos e mínimos que permitiriam o cultivo em toda a costa portuguesa. As macroalgas necessitam de compostos azotados e fosfatados para crescerem e as campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019

destacam as principais áreas ricas em nitratos e fósforo. A Gracilaria (*Gracilaria gracilis*) e o Nori (*Porphyra umbilicalis*) precisam de temperaturas frias para crescer e a região norte de Portugal, rica em nitrato e fósforo à superfície, apresenta as condições ideais para implementar aquaculturas destas espécies, designadamente na área A. O Wakame (*Undaria pinnatifida*) necessita de temperaturas ótimas mais elevadas, pelo que a sua produção teria que ser localizada nas zonas costeiras junto à área E, onde em ambas as campanhas foi a segunda área com as maiores concentrações de nitrato.

De modo a enriquecer e validar os resultados do estudo efectuado, devem ser analisados os dados das restantes campanhas do projeto Aquimar, onde esta dissertação se insere. Estudos futuros devem ser complementados com os dados oceanográficos do projeto Aquimar, de modo a compreender as condições à superfície e em profundidade em todas as áreas. As condições marítimas adversas podem danificar as estruturas de cultivo e provocar perdas de *stock* e rendimento; adquirir mais dados sobre a identificação das populações de fitoplâncton, uma vez que a concentração de clorofila a não indica a que espécie pertencem; realizar estudos piloto nos locais seleccionados com a espécie que se queira cultivar; observar casos práticos que tenham obtido sucesso ou mesmo insucesso e intregar todos os dados obtidos, de modo a que sejam considerados todos os parâmetros na seleção do local, para ter o máximo de garantia e segurança antes de implementar uma aquacultura *offshore* ou na zona costeira com captação de água do mar.

## Referências

- Ablett, R. F., Marr, C. R., Roberts, J. D. (1989). Influence of chronic subsurface retention on swimming activity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in cold temperature conditions. *Aquacult. Eng.* vol. 8, pp. 1–13.
- AFSPAN. (2015). *Aquaculture for Food Security, Poverty Alleviation and Nutrition. Final Report Summary.*
- Albentosa, M., Camacho, A. P., Beiras, R. (1996). The effect of food concentration on the scope for growth and growth performance of *Ruditapes decussatus* (L.) seed reared in an open-flow system. *Aquacul Nutr.*, vol. 2(4), pp. 213–220.
- Alkanani, T., Parrish, C. C., Thompson, R. J., McKenzie, C. H. (2007). Role of fatty acids in cultured mussels, *Mytilus edulis*, grown in Notre Dame Bay, Newfoundland. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 348(1-2), pp. 33–45.
- Almada-Villela, P. C., Davenport, J., Gruffydd, L. L. D. (1982). The effects of temperature on the shell growth of young *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 59, pp. 275-288.
- Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., Chu, J. (2017). *Aquaculture: Its Role in the Future of Food.* *World Agricultural Resources and Food Security*, pp. 159–173.
- Ansell, A.D., Dao, J., Mason, J. (1991). Three European scallops: *Pecten maximus* and *Chlamys opercularis*. In *Scallops: biology, ecology and aquaculture*, pp. 715-751.
- Antonopoulou, E., Chatzigiannidou, I., Feidantsis, K., Kounna, C., Chatzifotis, S. (2020). Effect of water temperature on cellular stress responses in meagre (*Argyrosomus regius*). *Fish Physiol. Biochem.*
- Aranda-Burgos, J. A., da Costa, F., Nóvoa, S., Ojea, J., Martínez-Patiño, D. (2014). Effects of microalgal diet on growth, survival, biochemical and fatty acid composition of *Ruditapes decussatus* larvae. *Aquacul.*, vol. 420-421, pp. 38–48.
- Ashley, P. (2007). Fish welfare: current issues in aquaculture. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, vol. 104 (3–4), pp. 199-235.
- Badiola, M., Albaum, B., Curtin, R., Gartzia, I., Mendiola, D. (2017). Land based on-growing of Atlantic cod (*Gadus morhua*) using Recirculating Aquaculture Systems. A case study from the Basque region (Northern Spain). *Aquacul.*, vol. 468, pp. 428–441.
- Barbosa, A. (2010). Seasonal and interannual variability of planktonic microbes in a mesotidal coastal lagoon (Ria Formosa, SE Portugal): Impact of climatic changes and local-human influences. *Mar. Sci. Ser.*, Boca Raton, pp. 335-366.

- Barnabé, G. (1991). Rearing bass and gilthead bream. *Aquacul.*, pp. 647-686.
- Barnabe, G., Boulineau-Coatanea, F., Rene, F. (1976). Chronologie de la morphogenese chez le loup ou bar *Dicentrarchus labrax* (Pisces, Serranidae) obtenu par reproduction artificielle. *Stud. Rev. Gen. Fish Count. Mediterr.*, vol. 55, pp. 63-116.
- Bayne, B. L., Bayne, C.J., Carefoot, T.C., Thompson, R.J. (1976). The physiological ecology of *Mytilus californianus* Conrad. Metabolism and energy balance. *Oceon.* vol. 22, pp. 211–228.
- Bell, E. C., Gosline, J. M. (1997). Strategies for life in flow: Tenacity, morphometry, and probability of dislodgment of two *Mytilus* species. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 159, pp. 197 – 208.
- Bergvik, M., Stensås, L., Handå, A., Reitan, K. I., Strand, Ø., Olsen, Y. (2019). Incorporation of Feed and Fecal Waste From Salmon Aquaculture in Great Scallops (*Pecten maximus*) Co-fed by Different Algal Concentrations. *Adv. Mar. Sci.*, vol. 5.
- Björnsson, B., Steinarsson, A., Árnason, T. (2007). Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate. Marine Research Institute, Reykjavík, Iceland. *Aquacul*, 271(1-4), pp. 216–226.
- Bleakley, S., Hayes, S. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production *Foods.*, vol. 6 (5), pp. 33.
- Bostock, J., Lane, A., Hough, C., Yamamoto, K. (2016). An assessment of the economic contribution of EU aquaculture production and the influence of policies for its sustainable development. *Aquacult. Int.*, vol. 24(3), pp. 699–733.
- Bovo, G., Borghesan, F., Comuzzi, M., Ceschias, G., Giorgetti, G. (1995). “Winter disease” in orati di allevamento: osservazioni preliminary. *Boll. Soc. Ital. Pato. Ittica.*, vol. 17, pp. 2–11.
- Brynjelsen, E., Strand, O. (1996). Test production of king scallop in intermediate culture 1995–1996. *Fisken Havet Havforskningsinstituttet.* vol. 18, pp. 34.
- Capillo G., Sanfilippo, M., Aliko, V., Spano, N., Spinelli, A., Manganaro, A. (2017). *Gracilaria gracilis*, Source of Agar: A Short Review. *Curr. Org. Chem.*, vol. 21, pp. 380-386.
- Carmona, R., Kraemer, P., Yarish, C. (2006). Exploring Northeast American and Asian species of *Porphyra* for use in an integrated finfish–algal aquaculture system. *Aquacul.*, vol. 252(1), pp. 54–65.
- Carrington, E. (2002). Seasonal variation in the attachment strength of blue mussels: causes and consequences. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 47, pp. 1723–1733.
- Castric-Fey, A., Beaupoilard, C., Bouchain, J., Pradier, E., L’Hardy-Halos, M. (1999). The introduced alga *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Alariaceae) in the rocky shore ecosystem of the St Malo area: Morphology and growth of the sporophyte. *Bot. Mar.*, vol. 42, pp. 71–82.

- Chatzifotis, S., Panagiotidou, M., Papaioannou, N., Pavlidis, M., Nengas, I., Mylonas, C.C. (2010). Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and 13 serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles. *Aquacult.*, vol. 307, pp. 65–70.
- Cheney, D., Langan, R., Heasman, K., Friedman, B., Davis, J. (2010). Shellfish culture in the open ocean: lessons learned for *offshore* expansion. *Mar. Technol. Soc. J.*, vol. 44 (3), pp. 55–67.
- Cherifi, H., Chebil Ajjabi, L., Sadok, S. (2018). Nutritional value of the Tunisian mussel *Mytilus galloprovincialis* with a special emphasis on lipid quality. *Food Chem.*, vol. 268, pp. 307–314.
- Choi, H. G., Kim, Y. S., Lee, S. L., Park, E. J., Nam, K. W. (2005). Effects of daylength, irradiance and settlement density on the growth and reproduction of *Undaria pinnatifida* gametophytes. *J. Appl. Phycol.*, vol. 17, pp. 423-430.
- Claridge, P. N., Potter, I. C. (1983). Movements, abundance, age composition and growth of bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Severn Estuary and Inner Bristol Channel. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*. vol. 63, pp. 871–879.
- Coelho, H. S., Neves, R., White, M., Leitao, P., Santos, A. (2002). A model for ocean circulation on the Iberian coast, *J. Marine Syst.* pp. 153-179.
- Colt, J., Armstrong D. (1981). Nitrogen toxicity to crustaceans, fish, molluscs. *Bioengineering Symposium for Fish Culture. Publication*, vol. 1, pp. 34-47.
- Cravo, A. (2010). An upwelling filament off southwest Iberia: Effect on the chlorophyll a and nutrient export. *Cont. Shelf Res.*, vol. 30, pp. 1601 -1613.
- Cross, I., Merlo, M. A., Rodríguez, M. E., Portela-Bens, S., Rebordinos, L. (2014). Adaptation to abiotic stress in the oyster *Crassostrea angulata* relays on genetic polymorphisms. *Fish Shellfish Immu.*, vol. 41, pp. 618–624.
- Dame, R.F. (1996). *Ecology of Marine Bivalves: an Ecosystem Approach*. CRC Press, New York.
- Davenport, J., Gruffydd, D., Beaumont, A. R. (1975). An apparatus to supply water of fluctuating salinity and its use in a study of the salinity tolerance of larvae of the scallop *Pecten maximus* L. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* vol. 55, pp. 391-409.
- Dean, P. R., Hurd, C. L. (2007). Seasonal growth, erosion rates, and nitrogen and photosynthetic ecophysiology of *Undaria pinnatifida* (Heterokontophyta) in southern New Zealand. *J. Phycol.*, vol. 43(6), pp. 1138–1148.
- Debnath, D., Pal, A.K., Sahu, N.P., Baruah, K., Yengkokpam, S., Das, T., Manush, S.M. (2006). Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish *Pangasius pangasius* (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. *Aquacul.*, vol. 258(1-4), pp. 606–610.

- Dempster, T., Juell, J. E., Fosseidengen, J. E., Fredheim, A., Lader, P. (2008). Behaviour and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) subjected to short-term submergence in commercial scale sea-cages. *Aquacul.*, vol. 276, pp. 103–111.
- Dong, S., You, X., Hu, F. (2020). Effects of wave forces on knotless polyethylene and chain-link wire netting panels for marine aquaculture cages. *Ocean. Engineering.*, vol. 207, 107368.
- Dosdat A., Person-Le Ruyet, J., Coves D., Dutto G., Gasset E., Roux, A., Lemarie, G. (2003). Effect of chronic exposure to ammonia on growth, food utilization and metabolism of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquat. Living Resour.*, vol. 16, pp. 509–520.
- Duarte, P., Fernandex-Reiriz, M. J., Labarta, U. (2012). Modelling mussel growth in ecosystems with low suspended matter loads using a Dynamic Energy Budget approach. *J. Sea Res.*, vol. 67, pp. 44–57.
- Dulger, N., Kumlu, M., Türkmen, S., Ölçülü, A., Eroldoğan, O., Yılmaz, H., Öçal, N. (2012). Thermal tolerance of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles acclimated to three temperature levels. *J. Therm. Biol.*, vol. 37(1), pp. 79–82.
- Duncan, J., Estévez, A., Fernández-Palacios, H., Gairin, I., Hernández-Cruz, M., Roo, J., Schuchardt, D., Vallés, R. (2013). Aquaculture production of meagre (*Argyrosomus regius*): Hatchery techniques, ongrowing and market. *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*. Cambridge UK: Woodhead Publishing, pp. 519–41.
- Elliott, J. M., Elliott, J. A. (2010). Temperature requirements of atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and arctic charr *Salvelinus alpinus*: Predicting the effects of climate change. *J.Fish Biol.*, vol. 77 (8), pp. 1793-1817.
- Endo, H., Okumura, Y., Sato, Y., Agatsuma, Y. (2016). Interactive effects of nutrient availability, temperature, and irradiance on photosynthetic pigments and color of the brown alga *Undaria pinnatifida*. *J.Appl. Phycol.*, vol. 29(3), pp. 1683–1693.
- Engledow, H. R., Bolton, J. J. (1992). Environmental tolerances in culture and agar content of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss (Rhodophyta, Gigartinales) from Saldanha Bay. *S. Afr. J. Bot.*, vol. 58, pp. 263–267.
- Esmark, M., Jensen, N. (2004). The Barents Sea Cod - The Last of the Large Cod *Stocks*. A. Tveteraas. WWF, Norway, pp. 43.
- Fabioux, C., Huvet, A., Lapègue, S., Heurtebise, S., Boudry, P. (2002). Past and present geographical distribution of populations of Portuguese (*Crassostrea angulata*) and Pacific (*C. gigas*) oysters along the European and north African Atlantic coasts. *Atlantic coasts. Haliotis* vol. 31, pp. 33–44.

- Fabioux, C., Huvet, A., Le Souchu, P., Le Pennec, M., Pouvreau, S. (2005). Temperature and photoperiod drive *Crassostrea gigas* reproductive internal clock. *Aquacul.*, vol. 250(1-2), pp. 458–470.
- Fairhead, V. A, Cheshire, A. C. (2004). Seasonal and depth related variation in the photosynthesis-irradiance response of *Ecklonia radiata* (Phaeophyta, Laminariales) at West Island, South Australia. *Mar. Biol.*, vol. 145, pp. 415–426.
- FAO. (2016a). Fisheries and Aquaculture - The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2016c). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Gadus morhua*).
- FAO. (2016f). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Ruditapes decussatus*).
- FAO. (2018). State of world fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2016b). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Argyrosomus regius*).
- FAO. (2016d). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Salmo salar*).
- FAO. (2016e). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Mytilus edulis*).
- FAO. (2016g). Cultured Aquatic Species Information Programme (*Porphyra sp.*).
- FAO (2016h). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016 (SOFIA).
- FEAP. (2016). European Aquaculture Production Report 2007–2015. Federation of European Aquaculture Producers (Prepared by the FEAP Secretariat).
- Ferreira da Costa, O., Santos Ferreira, D., Mendonac, F., Fernandes, M. (2004). Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. *Aquacult.*, vol. 232, pp. 627-636.
- Ferreira, J. G. (2009). Analysis of coastal and *offshore* aquaculture: application of the FARM model to multiple systems and shellfish species. *Aquacult.*, vol. 289, pp. 32–41.
- Finstad, A. G., Naesje, T. F., Forseth, T. (2004). Seasonal variation in the thermal performance of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Freshwater Biol.*, vol. 49, pp. 1459–1467.
- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J., Dempster, T., Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. *Biosyst. Eng.*, vol. 173, pp. 176–193.
- Foss, A., Siikavuopio, S. I., Sæther, B., Evensen, T. H. (2004). Effect of chronic ammonia exposure on growth in juvenile Atlantic cod. *Aquacult.*, vol. 237, pp. 179–189.

- Fosseidengen, J. K., Boge, E., Huse, I. (1982). A survey with rainbow trout and salmon in submersible cages. *Norsk Fiskeoppdrett*. Vol. 10, pp. 24–25.
- Friedland K. D., Hansen L. P., Dunkley D. A., MacLean, J.C. (2000). Linkage between ocean climate, post-smolt growth and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the North Sea area. *ICES. J. Mar. Sci.*, vol. 57, pp. 419–429.
- Fulton, E. A., Plaganyi, E., Cheung, W., Blanchard, J., Watson, R. (2018). *Marine systems, food security and future earth*. Cambridge University Press, UK, pp. 296–311.
- Gallardo, M.A., Sala-Rabanal, M., Ibarz, A., Padrós, F., Blasco, J., Fernandez-Borràs, J., Sánchez, J. (2003). Functional alterations associated with “winter syndrome” in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquacult.*, vol. 223, pp. 15–27.
- Gamito, R., Pita, C., Teixeira, C., Costa, M. J., Cabral, H. N. (2016). Trends in landings and vulnerability to climate change in different fleet components in the Portuguese coast. *Fish. Res.*, vol. 181, pp. 93–101.
- Gao, X., Endo, H., Taniguchi, K., Agatsuma, Y. (2012). Genetic differentiation of high-temperature tolerance in the kelp *Undaria pinnatifida* sporophytes from geographically separated populations along the Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.*, vol. 25(2), pp. 567–574.
- Gao, X., Endo, H., Taniguchi, K., Agatsuma Y. (2013). Genetic differentiation of high-temperature tolerance in the kelp *Undaria pinnatifida* sporophytes from geographically separated populations along the Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.*, vol. 25, pp. 567-574.
- Gao, X., Endo, H., Nagaki, M., Agatsuma, Y. (2017). Interactive effects of nutrient availability and temperature on growth and survival of different size classes of *Saccharina japonica* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol.*, vol. 56, pp. 253-260.
- Gaspar, R., Pereira, L., Sousa-Pinto, I. (2019). The seaweed resources of Portugal. *Botanica Marina*, 0(0).
- Gentry, R. R., Froehlich, H. E., Grimm, D., Kareiva, P., Parke, M., Rust, M., Halpern, B. S. (2017). Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1(9), pp. 1317–1324.
- gigas*) oysters along the European and north African Atlantic coasts. *Société Française de Malacologie. Haliotis*, pp. 33-34.
- González-Araya, R., Quéau, I., Quéré, C., Moal, J., Robert, R. (2011). A physiological and biochemical approach to selecting the ideal diet for *Ostrea edulis* (L.) broodstock conditioning (part A). *Aquacult. Res.*, vol. 42, pp. 710–726.
- Grande, M., Andersen, S. (1991). Critical thermal maxima for young salmonids. *J. Freshwater Ecol* 5, pp. 275–279

- Green, L. A., Neefus, C. D. (2015). Effects of temperature, light level, and photoperiod on the physiology of *Porphyra umbilicalis* Kützinger from the Northwest Atlantic, a candidate for aquaculture. *J. Appl. Phycol.*, vol. 28(3), pp. 1815–1826.
- Grienke, U., Silke, J., Tasdemir, D. (2014). Bioactive compounds from marine mussels and their effects on human health. *Food Chem.*, vol. 142, pp. 48–60.
- Grigorakis, K., Fountoulaki, E., Vasilaki, A., Mittakos, I., Nathanailides, C. (2011). Lipid quality and filleting yield of reared meagre (*Argyrosomus regius*). *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 46, pp. 711–716.
- Gui, Y., Zamora, L., Dunphy, B. J., Jeffs, A. G. (2016). Evaluation of the formulated diet MySpat for feeding hatchery-reared spat of the green-lipped mussel, *Perna canaliculus* (Gmelin, 1791). *Aquacult. Res.*, vol. 47, pp. 3907–3912.
- Guinot, D., Ureña, R., Pastor, A., Varó, I., Ramo, J., Torreblanca, A. (2012). Long-term effect of temperature on bioaccumulation of dietary metals and metallothionein induction in *Sparus aurata*. *Chemosphere*, vol. 87(11), pp. 1215–1221.
- Gutiérrez, A., Kolarevic, J., Takle, H., Baeverfjord, G., Ytteborg, E., Fyhn, B. (2019). Effects of chronic sub-lethal nitrite exposure at high water chloride concentration on Atlantic salmon (*Salmo salar*, Linnaeus 1758) parr. vol. n/a–n/a.
- Hafting, J. T. (1999). Effect of tissue nitrogen and phosphorus quota on growth of *Porphyra yezoensis* blades in suspension cultures. Sixteenth International Seaweed Symposium, 305–314.
- Handy, R., Poxton, M. (1993). Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish.* pp. 205-241.
- Harrison, P.J., Hurd, C.L. (2001). Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cah. Biol. Mar.*, vol. 41, pp. 71 – 82.
- Hawkins, L. E., Hutchinson, S., Laing, I. (2005). The effects of temperature and food ration on metabolite concentrations in newly settled king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquacult.*, vol. 250(3-4), pp. 841–848.
- Henderson, A., Gamito, S., Karakassis, I., Pederson, P., Smaal, A. (2001). Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 17, pp. 163–172.
- Hevrøy, E., Tipsmark, C., Remø, S., Hansen, T., Fukuda, M., Torgersen, T., Vikeså, V., Olsvik, P., Waagbø, R., Shimizu, M. (2015). Role of the GH-IGF-1 system in Atlantic salmon and 37 rainbow trout postsmolts at elevated water temperature. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology.*, vol. 188, pp.127-138.

- Hofherr, J., Natale, F., Fiore, G., (2012). An Approach towards European Aquaculture Performance Indicators Indicators for Sustainable Aquaculture in the European Union. Publications Office, Luxembourg.
- Hofherr, J., Natale, F., Trujillo, P. (2015). *Is lack of space a limiting factor for the development of aquaculture in EU coastal areas?* Ocean & Coastal Management. vol. 116, pp. 27–36.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in *offshore* waters: perspectives, concerns and research needs. Aquac. Environ. Interact., vol. 1, pp. 57–70.
- Hurd, C.L. (2017). Shaken and stirred: the fundamental role of water motion in resource acquisition and seaweed productivity. Perspective in Phycol., vol. 4, pp. 73–81.
- Huthnance, J. M., Van Aken, H., White, M., Barton, E., LeCann, E.F., Cuelho, E. A., Miller, F., Vitorino, J. (2002). Ocean margin exchange-water flux estimates, J.Marine Syst. pp. 107-137.
- Huvet, A. (2002). *Is fertility of hybrids enough to conclude that the two oysters Crassostrea gigas and Crassostrea angulata are the same species?* Aquat. Living Resour., vol. 15(1), pp. 45–52.
- Ibarz, A., Fernández-Borràs, J., Blasco, J., Gallardo, M. A., Sánchez, J. (2003). Oxygen consumption and feeding rates of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) reveal lack of acclimation to cold. Fish Physiol.Biochem., vol. 29, pp. 313–321.
- Ibarz, A., Fernández-Borràs, J., Gallardo, M. A, Sánchez, J., Blasco, J. (2007). Alterations in lipid metabolism and use of energy depots of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at low temperature. Aquacult., vol. 262, pp. 470–480.
- Ibarz, A., Padròs, F., Gallardo, M. A., Fernàndez-Borràs, J., Blasco, J., Tort, L. (2010). Low-temperature challenge to gilthead sea bream culture: review of cold-induced alteration and “Winter Syndrome”. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2.
- Instituto Nacional de Estatística. (2020). Estatísticas da Pesca: 2019. Lisboa.
- Islam, M. J., Kunzmann, A., Bögner, M., Meyer, A., Thiele, R., James Slater, M. (2020). Metabolic and molecular stress responses of European seabass, *Dicentrarchus labrax* at low and high temperature extremes. Ecological Indicators, pp. 112.
- Jacob-Lopes, E., Scoparo, C. H. G., Lacerda, L. M. C. F., Franco, T. T. (2009). Effect of light cycles (night/day) on CO<sub>2</sub> fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. vol. 48(1), pp. 306–310.
- Jacquet, J., Sebo, J., Elder, M., (2017). Seafood in the future: bivalves are better. Solutions 8, pp. 27–32.
- Jansen, P.A., Grøntvedt, R., Tarpai, A., Helgesen, K.O., Horsberg, E. (2016). Surveillance of the Sensitivity towards Antiparasitic Bath-Treatments in the Salmon Louse (*Lepeophtheirus salmonis*). PLoS ONE 11(2): e0149006.

- Jeney, G., Nemesok, J., Jeney, Z., Olah, J. (1992). Acute effect of sub lethal ammonia concentrations on common carp (*Cyprinus carpio*): Effect of ammonia on blood plasma transaminases GOT, GPT, GIDH enzyme activity and ATP value. *Aquacult.*, vol. 104, pp. 149–156.
- Jensen, F. (2003). Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comp. Biochem. Physiol., A*, pp. 9-24.
- Jiang, W., Gibbs, M. T. (2005). Predicting the carrying capacity of bivalve shellfish culture using a steady, linear food web model. *Aquacult.*, vol. 244, pp. 171–185.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Juell, J., Oppedal, F. (2009). Swimming depth and thermal history of individual Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages under different ambient temperature conditions. *Aquacult.*, vol. 290(3-4), pp. 296-303.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, A., Oppedal, F., Stiansen, J., Kelly, M., Juell, J. (2006). Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquacult.*, vol. 254(1-4), pp. 594-605.
- Jonsson, B., Jonsson, N. (2004). Factors affecting marine production of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 61, pp. 2369 – 2383.
- Jordaan, A., Kling, L. (2003). Determining the optimal temperature range for Atlantic cod (*Gadus morhua*) during early life. *The institute of Marine Research*, pp. 46–62.
- Jørgensen et al. (2014). Cardiac responses to elevated seawater temperature in Atlantic salmon. *BMC Physiol.*, pp. 11- 42.
- Kapetsky, J. M., Aguilar-Manjarrez, J., Jenness, J. (2013). A Global Assessment of Offshore Mariculture Potential from a Spatial Perspective. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Kelley, D. (1988). The importance of estuaries for sea-bass, *Dicentrarchus labrax*. *Fish Biol.*, vol. 33, pp. 25-33.
- Kerrison, P. D., Stanley, M. S., Edwards, M. D., Black, K. D., Hughes, A. D. (2015) The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection, *Biomass Bioenerg.*, vol. 80, pp. 229–242.
- Kim, J. K., Kraemer, G. P., Neefus, C. D., Chung, I. K., & Yarish, C. (2007). Effects of temperature and ammonium on growth, pigment production and nitrogen uptake by four species of Porphyra (Bangiales, Rhodophyta) native to the New England coast. *J. Appl. Phycol.*, vol. 19(5), pp. 431–440.
- Kir, M., & Sunar, M. C. (2017). Acute Toxicity of Ammonia and Nitrite to Sea Bream, *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758), in Relation to Salinity. *J. World Aquacult Soc.*, vol. 49(3), pp. 516–522.

- Kir, M., Topuz, H., Sunar, M. C., & Topuz, M. (2015b). Effect of Temperature on Acute Toxicity of Nitrite to Meagre, (*Argyrosomus regius* Asso, 1801). *J. World Aquacult Soc.*, vol. 46(5), pp. 564–568.
- Kir, M., Topuz, M., Sunar, M. C., & Topuz, H. (2015a). Acute toxicity of ammonia in Meagre (*Argyrosomus regius* Asso, 1801) at different temperatures. *Aquacult Res.*, vol. 47(11), pp. 3593–3598.
- Kittner, C., Risgaard, H. (2005). Effect of temperature on filtration rate in the mussel *Mytilus edulis*: no evidence for temperature compensation. *Marine Ecology Progress Series*. vol. 305, pp.147–152.
- Klinger, D., Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 37, pp. 247 – 276.
- Knoph, M. B. (1992). Acute toxicity of ammonia to Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Com. Pharm.*, vol. 101(2), pp. 275–282.
- Kolarevic, J., Selset, R., Felip, O., Good, C., Snekvik, K., Takle, H., Terjesen, B. F. (2012). Influence of long term ammonia exposure on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and welfare. *Aquacult. Res.* n/a–n/a.
- Kousoulaki, K., Sæther, B. S., Albrektsen, S., Noble, C. (2015). Review on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) nutrition and feed management: a practical guide for optimizing feed formulation and farming protocols. *Aquac. Nutr.*, vol. 21, pp. 129– 151.
- Kraemer, G., Yarish, C. (1999). A preliminary comparison of the mariculture potential of *Porphyra purpurea* and *Porphyra umbilicalis*. *J. Appl. Phycol.*, vol. 11, pp. 473.
- Kramer, G., Kim, J., Neefus, C., Chung, I. (2006). Effects of temperature and ammonium on growth, pigment production and nitrogen uptake by four species of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) native to the New England coast. *J. Appl. Phycol.*, vol. 19(5), pp. 431–440.
- Kristjánson, T. (2013). Comparison of growth in Atlantic cod (*Gadus morhua*) originating from the northern and southern coast of Iceland reared under common conditions. *Hafnarfjörður, Iceland. Fisheries Res.*, vol. 139, pp. 105–109.
- Krzemińska, I., Pawlik-Skowrońska, B., Trzcińska, M., Tys, J. (2013). Influence of photoperiods on the growth rate and biomass productivity of green microalgae. *Bioproc. Biosyst. Eng.*, vol. 37(4), pp. 735–741.
- Kurlansky, M. (1997). *Cod: a biography of the fish that changed the world*. Walker and Co, New York, NY.

- Laing, D. N., Lees, D.J., Henshilwood K. (2004). Research on shellfish cultivation - A synopsis of research funded by the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) between 1990 and 2003.
- Laing, I. (2000). Effect of temperature and ration on growth and condition of king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquacult.* 183(3-4), pp. 325–334.
- Laing, I. (2004). Filtration of king scallops (*Pecten maximus*). *Aquacult.* 240(1-4), 369–384.
- Lemarie, G., Dosdat, A., Coves, D., Dutto, G., Gasset, E., Person-Le Ruyet, J. (2004). Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquacult.*, vol. 229, pp. 471–491.
- Lewis, W., Morris, D. (1986). Toxicity of nitrite to fish: a review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, vol. 115, pp. 183-195.
- lipid peroxidation responses in the *Crassostrea gigas* oyster exposed to diesel oil. *Sci. Total Environt.*, vol. 409, pp. 1976–1983.
- Lobban, C. S., Harrison, P. J. (1994). *Seaweed Ecology and Physiology*. Press Syndicate of the University of Cambridge, pp. 366.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanog.*, 12:343.
- Loureiro, S., Newton, A., Icely, J. (2005). Microplankton composition, production and upwelling dynamics in Sagres (SW Portugal) during the summer of 2001. *Sci. Mar.*, vol. (3), pp. 323–341.
- Magnesen, T., Christophersen, G. (2007). Large-scale raceway nursery for improved scallop (*Pecten maximus*) spat production. *Aquacult. Eng.*, vol. 36(2), 149–158.
- Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review *Animal Feed Science and Technology*, vol. 212, pp. 1-17.
- Mare, D. (2014). Study on deepening understanding of potential blue growth in the EU member states on Europe's Atlantic arc 2014 Rotterdam/Brussels.
- Martinez, B., Souza, M. (2002). Acute effects of nitrite on ion regulation in to neotropical fish species. *J. Comp. Physiol., A Sens. Neural Behav. Physiol.*, vol. 133, pp. 151-160.
- Martins, C. S., Hamann, A.F.G. (2002). Surface circulation in the eastern North Atlantic from drifters and altimetry, *J. Geophys. Res.* pp. 32.
- Masser, M., Rakocy, J., Losordo, T. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems - management of recirculating systems. *SRAC Publ.*, pp. 452.

- Matias, D., Joaquim, S., Leitão, A., Massapina, C. (2009). Effect of geographic origin, temperature and timing of broodstock collection on conditioning, spawning success and larval viability of *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758). *Aquaculture International*. vol. 17, pp. 257–271.
- Matias, D., Joaquim, S., Matias, A. M., Leitão, A. (2016). Reproductive effort of the European clam *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758): influence of different diets and temperatures. *Invertebrate Reproduction & Development*, vol. 60(1), pp. 49–58.
- McHugh, D.J. (2003). A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper 441, pp. 52-72.
- McKindsey, C. W., Thetmeyer, H., Landry, T., Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquacult.*, vol. 261(2), pp. 451–462.
- Miossec, L., Le Deuff, R. M., Gouletquer, P. (2009). Alien species alert: *Crassostrea gigas* (Pacific oyster). ICES Cooperative Research Report. vol. 299, pp. 42.
- Moeser, G.M., Leba, H., Carrington, E. (2006). Seasonal influence of wave action on thread production in *Mytilus edulis*. *J. Exp. Biol.* vol. 209, pp. 881 – 890.
- Montoya, J. P., Carpenter, E. J., Capone, D. G. (2002). Nitrogen fixation and nitrogen isotope abundances in zooplankton of the oligotrophic North Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* vol. 47(6), pp. 1617–1628.
- Morales-Nin, B., Geffen, A. J., Pérez-Mayol, S., Palmer, M., González-Quirós, R., Grau, A. (2012). Seasonal and ontogenic migrations of meagre (*Argyrosomus regius*) determined by otolith geochemical signatures. *Fish. Res.* pp. 154–165.
- Moreira, A., Figueira, E., Libralato, G., Soares, A. M. V. M., Guida, M., Freitas, R. (2018). Comparative sensitivity of *Crassostrea angulata* and *Crassostrea gigas* embryo-larval development to As under varying salinity and temperature. *Mar. Environ. Res.* n/a–n/a.
- Moreira, A., Figueira, E., Soares, A. M. V. M., Freitas, R. (2016). The effects of arsenic and seawater acidification on antioxidant and biomineralization responses in two closely related *Crassostrea* species. *Sci. Total Environ.* pp. 569–581.
- Muller-Feuga, A. (1990). Modilisation dela croissance des poissons en levage. *Rapports Scientifiques et Techniques de l'Ifremer*, pp. 21.
- Naval Oceanographic Office, GHTSST Level 4, 2008. GHRSSST Level 4 K10\_SST Global 1 meter Sea Surface Temperature Analysis. Ver. 1.0. PO.DAAC, CA, USA.
- Navarro, G., Ruiz, J. (2006). Spatial and temporal variability of phytoplankton in the Gulf of Cádiz through remote sensing images. *Deep-Sea Res. II.* pp. 1241-1260.

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, D., Fonseca, L., Grimsditch, G. (2009). Blue Carbon A Rapid Response Assess, pp. 90.

Neori, A., Troell, M., Chopin, T., Yarish, C., Critchley, A., Buschmann, A. H. (2007) The need for a balanced ecosystem approach: Blue revolution aquaculture. *Environ.*, vol. 49, pp. 36-43.

Niwa, K., Kobiyama, A. (2019). Development of a new cultivar with high yield and high-temperature tolerance by crossbreeding of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta). Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan.

Ojea J., Pazos, A. P., Martínez, D., Novoa, S., García-Martínez, P., Sánchez, J. L., Abad, M. (2008). Effects of temperature regime on broodstock conditioning of *Ruditapes decussatus*. *J. Shellfish Res.*, vol. 27(5), pp.1093-1100.

Oliveira, J., Castilho, F., Cunha, A., Pereira, M. J. (2013). Bivalve Harvesting and Production in Portugal: An Overview. *J. Shellfish Res.*, vol. 32(3), pp. 911–924.

Olsvik, P., Vikeså, V., Lie, K., Hevrøy, E. (2013). Transcriptional responses to temperature and low oxygen stress in Atlantic salmon studied with next-generation sequencing technology. *BMC Genomics*, vol. 14(1), pp. 817.

Oppedal, F., Juell, J., Tarranger, G., Hansen, T. (2001). Artificial light and season affects vertical distribution and swimming behaviour of post-smolt Atlantic salmon in sea cages. *J. Fish Biol.*, vol. 58(6), pp.1570-1584.

Osland, H., Sandvik, J. I., Holm, J., Heuch, P. A., Bakke, S., (2001). Studie av lakseluspåslag og tilvekst hos Atlantisk laks (*Salmo salar*) i nedsenkede merder. HSF-report (Em norueguês).

Oyinlola, M.A., Reygondeau, G., Wabnitz, C.C.C., Troell, M., Cheung, W.W.L. (2018). Global estimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species. *PLoS One*. vol. 13(1).

Oyugi, D.O., Cucherousset, J., Ntiba, M.J., Kisia, S.M., Harper, D.M., Britton, J.R. (2011). Life history traits of an equatorial common carp *Cyprinus carpio* population in relation to thermal influences on invasive populations. *Fish. Res.*, vol. 110, pp. 92–97.

Pacheco, B. (2014). A dimensão dos espaços marítimos de Portugal. *Anais do Clube Militar Naval*, Vol. CXLIV, pp. 105-121.

Pascoe, P. L., Parrym, H. E., Hawkins, A. J. S. (2009). Observations on the measurement and interpretation of clearance rate variations in suspension-feeding bivalve shellfish. *Aquat. Biol.*, vol. 6, pp.181.

Pavlidis, M., Mylonas, C. (2011). Biology and Aquaculture of Gilthead Sea Bream and Other Species. *Aquacult. Int.*, vol. 19, pp. 809 –810.

- PCP. (2016). Facts and Figures on the Common Fisheries Policy. Basic Statistical Data. 2016 Edition. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Pedersen, T., Jobling, M. (1989). Growth rates of large sexually mature cod, *Gadus morhua*, in relation to condition and temperature during an annual cycle. *Aquacult.*, vol. 81, pp. 161–168.
- Peinado, I., Girón, J., Koutsidis, G., Ames, J. M. (2014). Chemical composition, antioxidant activity and sensory evaluation of five different species of brown edible seaweeds. *Food Research International*, pp. 36-44.
- Peliz, A., Dubert, J., Santos, M. P., Oliveira, P. B., Le Cann, B. (2005). Winter upper ocean circulation in the Western Iberian Basin-Fronts. Eddies and Poleward Flows: An overview. *Deep-Sea Res. I.*, vol. 52, pp. 621–646.
- Pereira, E., Lillebø, I., Pato, P., Válega, M., Coelho, P., Lopes, B., Rodrigues, S., Cachada, A., Otero, M., Pardal, A., Duarte, C. (2009). Mercury pollution in Ria de Aveiro (Portugal): a review of the system assessment. *Environ. Monit. Assess.* vol. 155, pp. 39.
- Pereira, R., Yarish, C., Sousa-Pinto, I. (2006). The influence of *stocking* density, light and temperature on the growth, production and nutrient removal capacity of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta). *Aquacult.*, vol. 252, pp. 66–78.
- Perez, F., Castro, X. A., Alvarez-Salgado, A. F. (2001). Coupling between the Iberian basin-scale circulation and the Portugal boundary current system: a chemical study, *Deep-Sea Res.* pp. 1519-1533.
- Perez, M., Telfer, C., Ross, G. (2003). On the calculation of wave climate for *offshore* cage culture site selection: a case study in Tenerife (Canary Islands). *Aquacult. Eng.*, vol. 29, pp. 1–21.
- Pernet, F., Malet, N., Pastoureaud, A., Vaquer, A., Quéré, C., Dubroca, L. (2012). Marine diatoms sustain growth of bivalves in a Mediterranean lagoon. *Journal of Sea Research*, vol. 68, pp. 20–32.
- Person-Le Ruyet, J., Buchet, V., Vincent, B., Le Delliou, H., Quémener, L. (2006). Effects of temperature on the growth of pollack (*Pollachius pollachius*) juveniles. *Aquacult.*, vol. 251, pp. 340–345.
- Person-Le Ruyet, J., Chartois, H., Quemener, L. (1995). Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. *Aquacult.*, vol. 136, pp. 181–194.
- Person-Le Ruyet, J., Mahé, K., Le Bayon, N., Le Delliou, H. (2004). Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquacul.*, vol. 237(1-4), pp. 269–280.

- Peteiro, C., Sánchez, N., & Martínez, B. (2016). Mariculture of the Asian kelp *Undaria pinnatifida* and the native kelp *Saccharina latissima* along the Atlantic coast of Southern Europe: An overview. *Algal Res.*, vol. 15, 9–23.
- Petersen, M., Steffensen, J. (2002). Preferred temperature of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) with different haemoglobin genotypes at normoxia and moderate hypoxia. *J. Exp. Biol.* pp. 359-364.
- Poli, B., Parisi, G., Zampacavallo, G., Iurzan, F., Mecatti, M., Lupi, P., Bonelli, A. (2003). Preliminary results on quality and quality changes in reared meagre (*Argyrosomus regius*): body and fillet traits and freshness. *Aquaculture International*. vol.11(3), pp. 301–311.
- Portela, T. (2016). Distribuição e recrutamento da ostra-portuguesa, *Crassostrea angulata* (Lamarck, 1819), no estuário do Sado. Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências Departamento de Biologia Animal.
- Pousão-Ferreira, P. (2008). Piscicultura em mar aberto (*offshore*). XI Jornadas Técnicas “O Sector Marítimo Português”. APL e IPIMAR, pp.16.
- Primavera, H. (2006). Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean Coast. Manag.*, vol. 49, pp. 531–545.
- Raikar, S., Lima M., Fujita, Y. (2001). Effect of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp. (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) from Japan, Malaysia and India. *Indian J. Sci.*, vol. 30, pp. 98–104.
- Ramalho A., Dinis M. (2011). Portuguese aquaculture: Current status and future perspectives. *J. World Aquac. Soc.*, vol. 42 (1), pp. 26-31
- Ramos-Júdez, S., González, W., Dutto, G., Mylonas, C., Fauvel, C., Duncan, N. (2019). Gamete quality and management for in-vitro fertilisation in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquacult.*, vol. 509, 227–235.
- Ravagnan, G. (1984). *Valliculture du Loup et de la Daurade. L’Aquaculture du Bar et des Sparid&*. INRA Publication, Paris, pp. 361-372.
- Rebello, J., Ohno, M., Critchley, A. T., Sawamura, M. (1996). Growth Rates and Agar Quality of *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) Steentoft from Namibia, Southern Africa. *Botanica Marina*, vol. 39(1-6).
- Relvas, P., Barton, E. (2002). Mesoscale patterns in the Cape São Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *J. Geophys. Res. Oceans*. vol. 107, pp. 3164.
- Rezvani, F., Sarrafzadeh, M. H., Seo, S. H., Oh, H. M. (2017). Phosphorus optimization for simultaneous nitrate-contaminated groundwater treatment and algae biomass production using *Ettlia* sp. *Bioresource Technol.*, vol. 244, pp. 785–792.

- Ribeiro, A., Peliz, A., Santos, A. (2005). A study of the response of chlorophyll-a biomass to a winter upwelling event off Western Iberia using SeaWiFS and in situ data. *J. Mar Syst.* pp. 87–107.
- Riisgard, H. U., Lassen, J., Kittner, C. (2006). Valve-gape response times in mussels (*Mytilus edulis*) Effects of laboratory preceding-feeding conditions and in situ tidally induced variation in phytoplankton biomass. *J. Shellfish Res.*, vol. 25, pp. 90.
- Ross, D., Behrens, W., Brander, K., Methling, C., Mork, J. (2013). Haemoglobin genotypes in cod (*Gadus morhua* L): Their geographic distribution and physiological significance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology.*, vol. 166(1) , 158–168.
- Russo R.C., Thurston R.V. (1991). Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes. *Aquacul and Water Quality. World Aquac. Socie. Baton Rouge, Louisiana*, pp.58–89.
- Ryan, J. (2004). *Farming the deep blue*. Irish Sea Fisheries Board (BIM) and Irish Marine Institute.
- Sahoo, D., Yarish, C. (2005). Mariculture of seaweeds. *Algal Culturing Techniques*, pp. 239–252.
- Saito, Y. (1975). Practical significance of algae in Japan: Undaria. In: *Advance of phycology in Japan*, pp. 304–320.
- Sakamoto, K., Miyazaki, A., Taniguchi, N. (2010). Thermal tolerance traits of redfin velvetfish *Paracentropogon rubripinnis* evaluated using their caudal fin cells. *Aquacult.*, vol. 308, pp. 124–127.
- Sala-Rabanal, M., Sánchez, J., Ibarz, A., Fernández-Bòrras, J., Blasco, J., Gallardo, M. A. (2003). Effects of low temperatures and fasting on hematologic and plasma biochemical profiles of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquacult.*, vol. 29, pp. 105–115.
- Salin, K. R., Ataguba, G. A. (2018). *Aquaculture and the environment: towards sustainability*. *Appl. Environ. Sci. Future*. Springer, Cham, pp. 60.
- Sanchez, R. F., Relvas, P. (2003). Spring–summer climatological circulation in the upper layer in the region of Cape St. Vincent, Southwest Portugal. *ICES J. Mar. Sci.*, vol. 60, pp. 1232–1250.
- Sanchez-Jerez, P., Karakassis, I., Massa, F., Fezzardi, D., Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D., Chapela, R., Avila, P., Macias, J.C., Tomassetti, P., Marino, G., Borg, J.A., Franičević, V., Yucel-Gier, G., Fleming, I.A., Biao, X., Nhhala, H., Hamza, H., Forcada, A., Dempster, T. (2016). Aquaculture's struggle for space: the need for coastal spatial planning and the potential benefits of Allocated Zones for Aquaculture (AZAs) to avoid conflict and promote sustainability. *Aquacult. Environ. Interact.*, vol. 8, pp. 41–54.
- Santos, A., Peliz, A., Ré, P., Dubert, J., Oliveira, P., Angélico, M. (2004). Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine eggs and larvae off western Iberia: A retention mechanism. *Cont. Shelf Res.* pp. 149–165.

- Saroglia, M. G., Scarano, G., Tibaldi, E. (1981). Acute toxicity of nitrite to sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and european eel (*Anguilla anguilla*). J. World Maricult. Soc., vol. 12(2), pp. 121–126.
- Seginer, I. (2016). Growth models of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) for aquaculture: A review. Aquacult. Eng., vol. 70, pp. 15–32.
- Shabana, A., Rahman, S. H., Absawy, M. A., Assem, S. S. (2012). Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. Egyptian J. Aquat. Res., vol.38(2), pp. 147–156.
- Shields, R.J. (2001). Larviculture of marine finfish in Europe. Aquacult., vol.200, pp. 55–88.
- Shumway, S. E., Davis, C., Downey, R., Karney, R., Kraeuter, J, Parsons, J., Rheault, R., Wikfors, G. (2003). Shellfish aquaculture - in praise of sustainable economies and environments. World Aquacult., vol.34, pp. 15 – 17.
- Siikavuopio, I., Sæther, S. (2006). Effects of chronic nitrite exposure on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*. Aquacult., vol. 255(1-4), 351–356.
- Sikveland, M., Zhang, D. (2020). Determinants of capital structure in the Norwegian salmon aquaculture industry. Marine Policy. vol. 119, 104061.
- Silva, C., Ferreira, J.G., Bricker, S.B., DelValls, T.A., Martin-Diaz, M.L., Yanez, E. (2011). Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. Aquacult., vol. 318, pp. 444–457.
- Silva, H. A., Costa, P. e Rodrigues, S. (2008). Morfologia, Biologia e Ecologia dos Moluscos Bivalves in Silva. Produção, Salubridade e Comercialização de Moluscos Bivalves em Portugal. Publicações Avulsas do IPIMAR. Lisboa, pp. 171
- Smit, A.J. (2004). Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: a review. J. Appl. Phycol. 16, pp. 245–262.
- Smyth, J., Miller, M., Groom, S., Lavender, S. (2001). Remote sensing of sea surface temperature and chlorophyll during Lagrangian experiments at the Iberian margin, *Progress in Oceanography*, pp. 269-281.
- Sobral, P., Fernandes, S. (2004). Physiological responses and scope for growth of *Ruditapes decussatus* from Ria Formosa, southern Portugal, exposed to increased ambient ammonia. Sci. Mar., vol. 68, pp. 219–225.
- Stavrakidis-Zachou, O., Papandroulakis, N., Lika, K. (2018). A DEB model for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) Parameterisation and application in aquaculture. Journal of Sea Research. vol. 1.

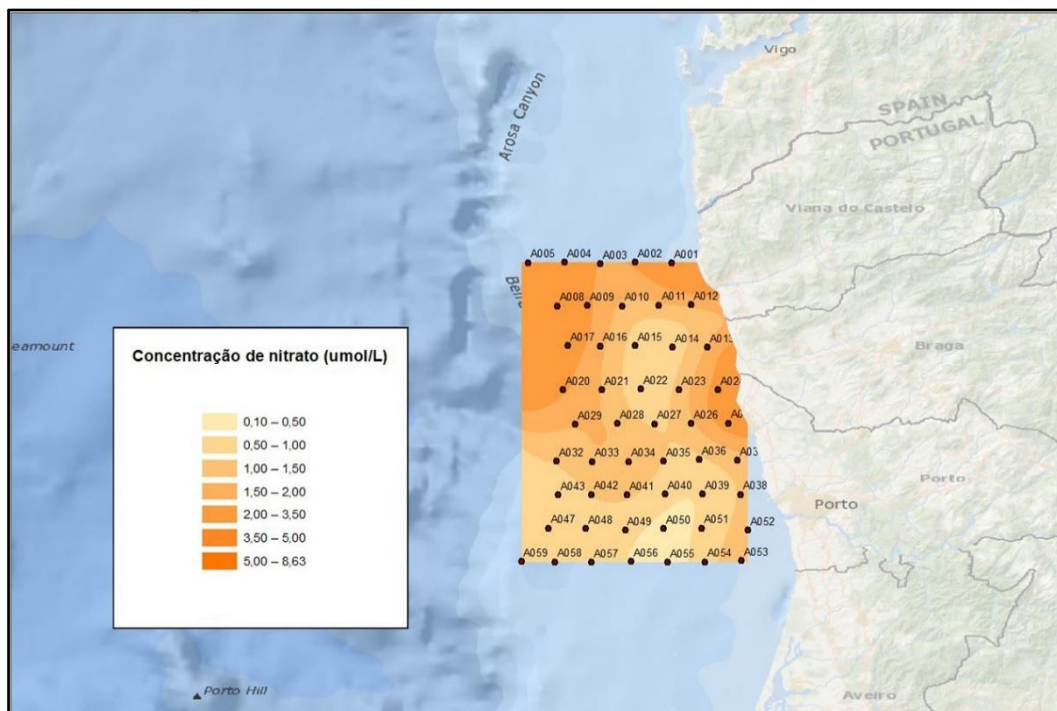
- Stuart, M. D., Hurd, C. L., Brown, M. T. (1999). Effects of seasonal growth rate on morphological variation of *Undaria pinnatifida* (Alariaceae, Phaeophyceae). *Hydrobiologia*, pp. 191–199.
- Taelman, S. E., Champenois, J., Edwards, M. D., De Meester, S., Dewulf, J. (2015). Comparative environmental life cycle assessment of two seaweed cultivation systems in North West Europe with a focus on quantifying sea surface occupation, *Algal Res.* pp. 173–183.
- Thomas, L. R., Clavelle, T., Klinger, D. H., Lester, S. E. (2019). The ecological and economic potential for *offshore* mariculture in the Caribbean. *Nature Sustainability*. vol. 68, pp. 219–225.2(1), pp. 62–70.
- Thorarensen, H., Imsland, A. K. D., Gústavsson, A., Gunnarsson, S., Árnason, J., Steinarsson, A., Björnsdóttir, R. (2018). Potential interactive effects of ammonia and CO<sub>2</sub> on growth performance and feed utilization in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquacult.*, vol. 484, pp. 272–276.
- Tort, L., Rotllant, J., Rovira, L. (1998). Immunological suppression in gilthead sea bream *Sparus aurata* of the North-West Mediterranean at low temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 120(1), pp. 175–179.
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Buschmann, A.H., Chopin, T., Yarish, C., Kautsky, N. (2003). Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquacult.*, vol.226, pp. 69–90.
- Trujillo, P., Piroddi, C., Jacquet, J. (2012). Fish farms at sea: the ground truth from Google Earth. *PLoS One* 7 (2):e30546.
- Tseng, C. K. (2001). Algal biotechnology industries and research activities in China. *J. Appl. Phycol.*, vol. 13, pp. 375–380.
- Twomey, L., Thompson, P. (2001). Nutrient limitation of phytoplankton in a seasonally open bar-built estuary. Western australia. *J. Phycol.*, vol. 37(1), pp. 16–29.
- Van Bussel, C. G. J., Schroeder, J. P., Wuertz, S., Schulz, C. (2012). The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquacult.*, vol. 326-329, pp. 163–167.
- Vargas-Chacoff, L., Arjona, F. J., Polakof, S., del Río, M. P. M., Soengas, J. L., Mancera, J. M. (2009). Interactive effects of environmental salinity and temperature on metabolic responses of gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 154(3), pp. 417–424.
- Vela, J. M., Moreno, O. (2005). Perfil bio-ecológico de la almeja fina (*Ruditapes decussatus* (Linneus, 1758)). In: *Acuicultura, pesca y marisqueo en el Golfo de Cádiz*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 641-662.

- Venugopal, V., Gopakumar, K. (2017). Shellfish: Nutritive Value, Health Benefits, and Consumer Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 16(6), pp. 1219–1242.
- Walton, M.E.M., Vilas, C., Cañate, J.P., Gonzalez-Ortegon, E., Prieto, A., van Bergeijk, S.A., Librero, M., Mazuelos, N., Le Vay, L. (2015). A model for the future: ecosystem services provided by the aquaculture activities of Veta la Palma, Southern Spain. *Aquacult.*, vol. 448, pp. 382–390.
- Wang, W., Wang, A., Zhang, Y., Li, Z., Wang, J., Sun, R. (2004). Effects of nitrite on lethal and immune response of *Macrobrachium nipponense*. *Aquacult.*, vol. 232, pp. 679-686.
- Wang, Y. K., He, H. L., Wang, G. F., Wu, H., Zhou, B. C., Chen, X. L., Zhang, Y. Z. (2010). Oyster (*Crassostrea gigas*) hydrolysates produced on a plant scale have antitumor activity and immunostimulating effects in BALB/c mice. *Mar. Drugs*, vol. 8, pp. 255-268.
- Weir, I., Fawcett, S., Smith, S., Walker, D., Bornman, T., Fietz, S. (2020). Winter biogenic silica and diatom distributions in the Indian sector of the Southern Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 103421.
- Widdows, J. (1978). Combined effects of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis*. *J Mar Biol Assoc UK* 58, pp. 109–124.
- Wooster, W., Bakun, D. A., McLain, D. (1976). The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, vol. 34(2), pp. 131–141.
- Wu, C., Li, D., Liu, H., Peng, G., Liu, J. (2004). Mass culture of *Undaria* gametophyte clones and their use in sporeling culture. *Hydrobiologia*, vol. 512(1-3), 153–156.
- Wu, J., Li, H., Wang, X., Zhang, X., Liu, W., Wang, Y., Zhang, Y., Pan, H., Wang, Q., Han, Y. (2019). Effect of polysaccharide from *Undaria pinnatifida* on proliferation, migration and apoptosis of breast cancer cell MCF7. *Int. J. Biol. Macromol.*
- Yamanaka, R., Akiyama, K. (1993). Cultivation and utilization of *Undaria pinnatifida* (Wakame) as food. *J. Appl. Phycol.*, vol. 5, pp. 249-253.
- Zanette, J., De Almeida, A., Da Silva, Z., Guzinski, J., Ferreira, F., Di Mascio, P., Marques, M. F., Bairy, D. (2011). Salinity influences glutathione transferase activity and lipid peroxidation responses in the *Crassostrea gigas* oyster exposed to diesel oil. *Total Environ.*, vol. 409(10), pp. 1976–1983.
- Zemke-White, W., Ohno, M. (1999). World Seaweed Utilisation: An End-of-Century Summary. *J. Appl. Phycol.*, vol.11, pp. 369-376.
- Zhang, L. N., Cui, C. J., Li, X. J., Zhang, Z. Z., Luo, S. J., Liang, G. J., Liu, Y. L., Yang, G. P. (2013). Effect of temperature on the development of *Saccharina japonica* gametophytes. *J. Appl. Phycol.*, vol. 25, pp. 261 – 267.

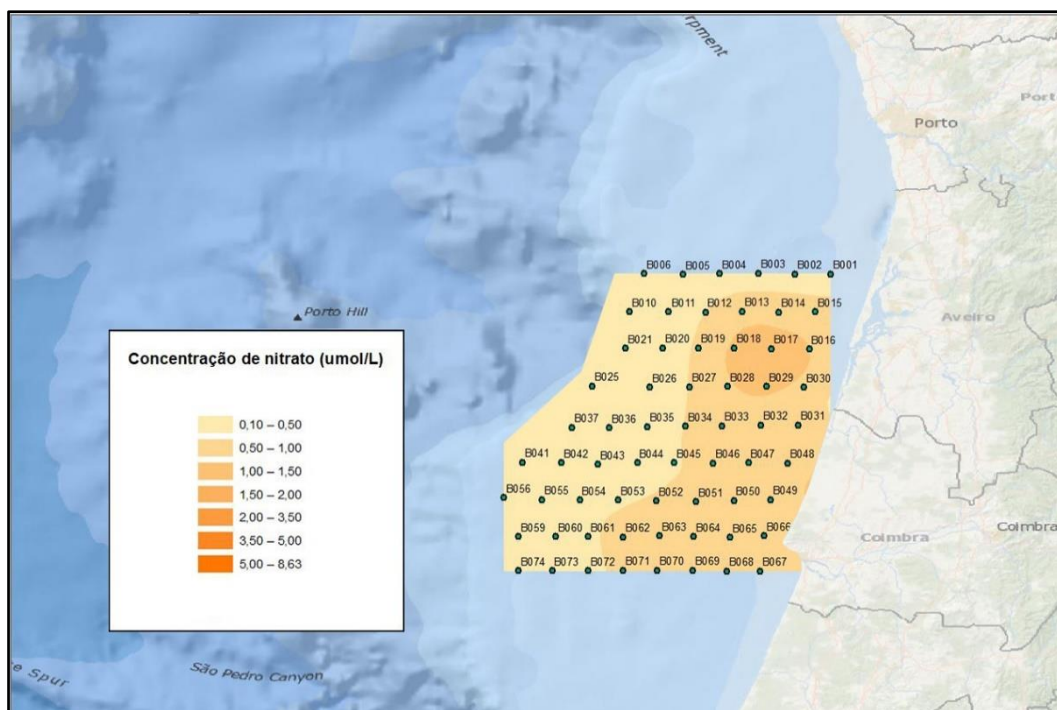
Zhang, Z., Zhou C., Fan, K., Liu, Y., Liu, P. (2021). Metabolomics analysis of the effects of temperature on the growth and development of juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Sci. Total Environ.*, vol. 769, 145155.

Zhao, P., Wang, X., Niu, J., He, L., Gu, W., Xie, X., Wang, G. (2020). Agar extraction and purification of R-phycoerythrin from *Gracilaria tenuistipitata*, and subsequent wastewater treatment by *Ulva prolifera*. *Algal Res.*, vol. 47, 101862.

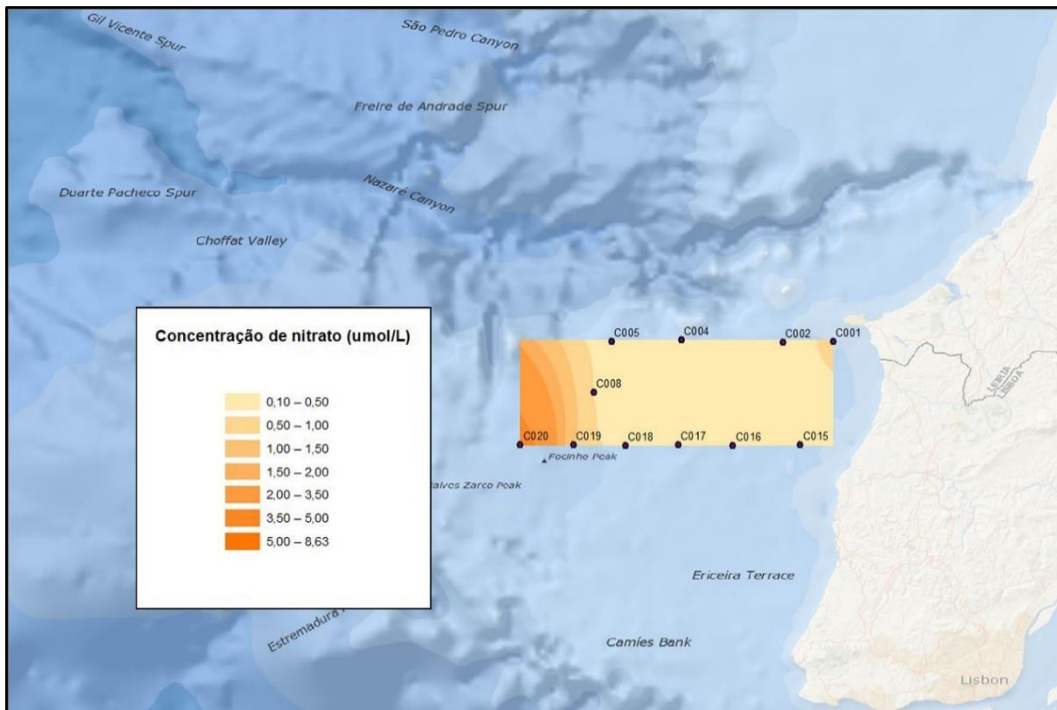
**Anexos A** - Figuras com mapas dos parâmetros determinados nas 5 áreas de estudo das campanhas de outubro de 2018 e abril de 2019



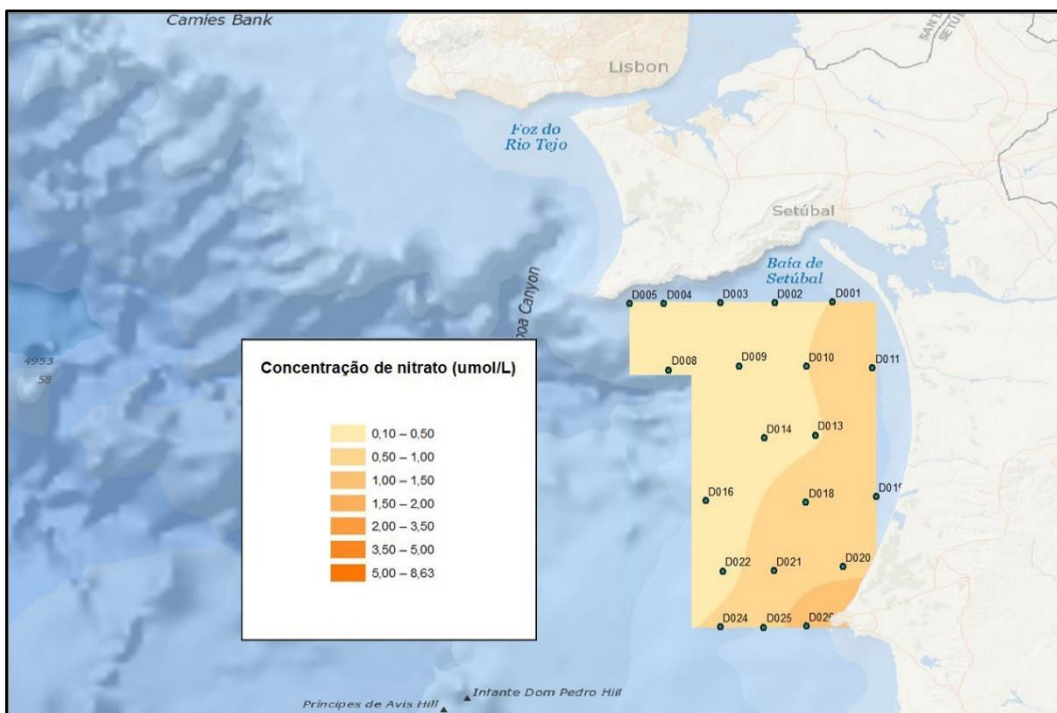
**Figura A1.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



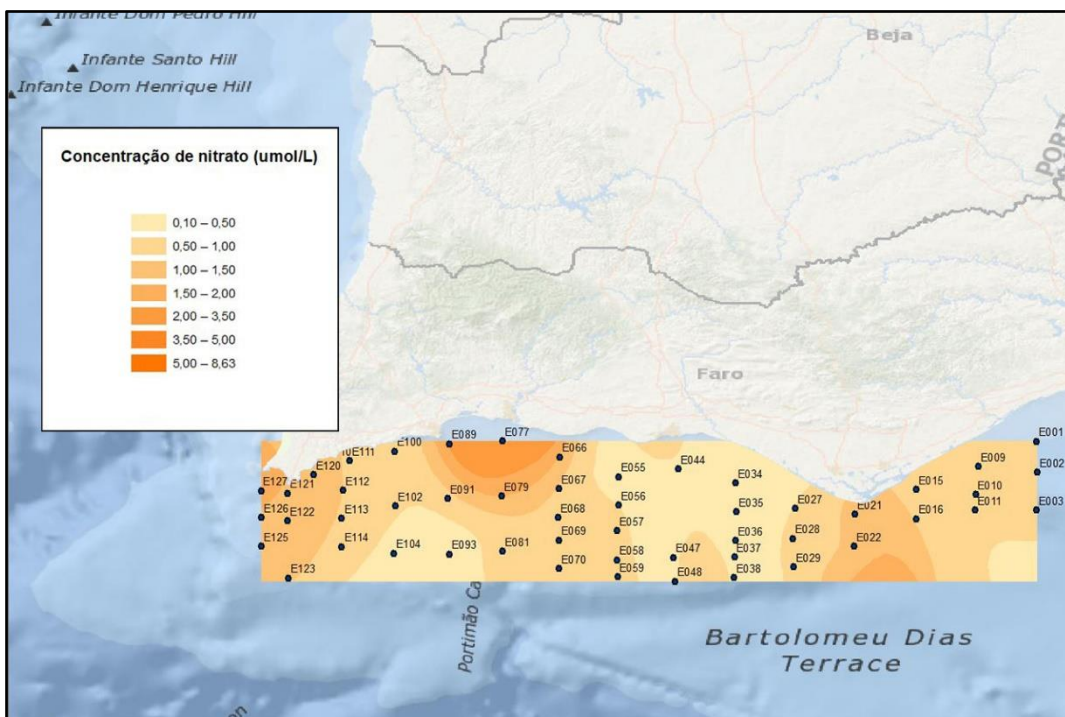
**Figura A2.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



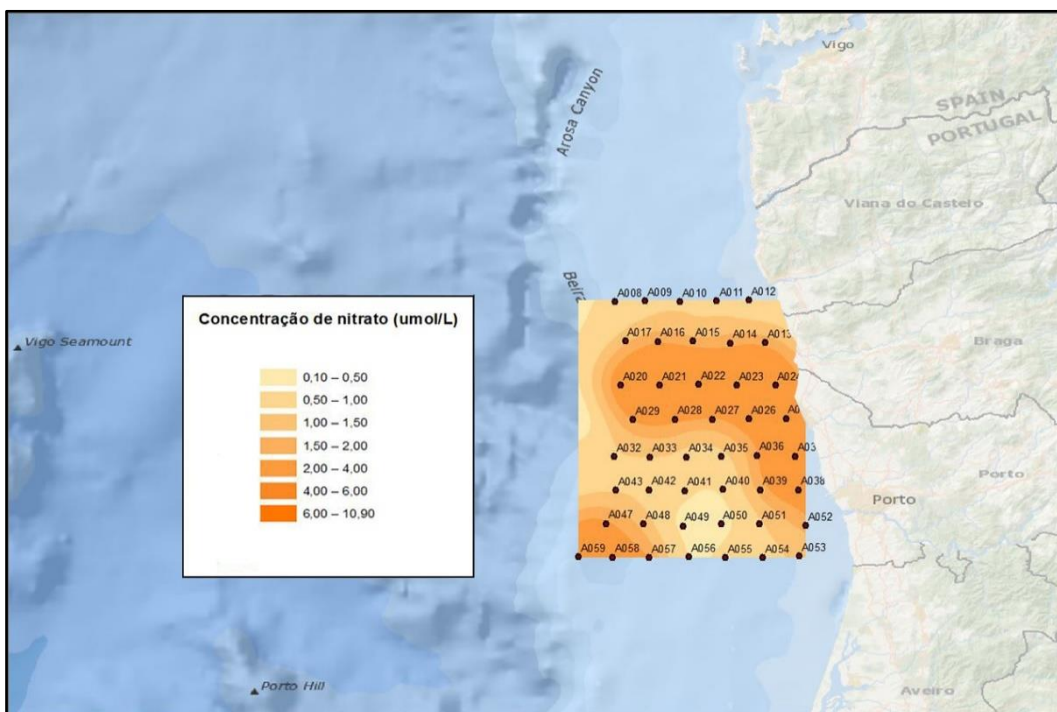
**Figura A3.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



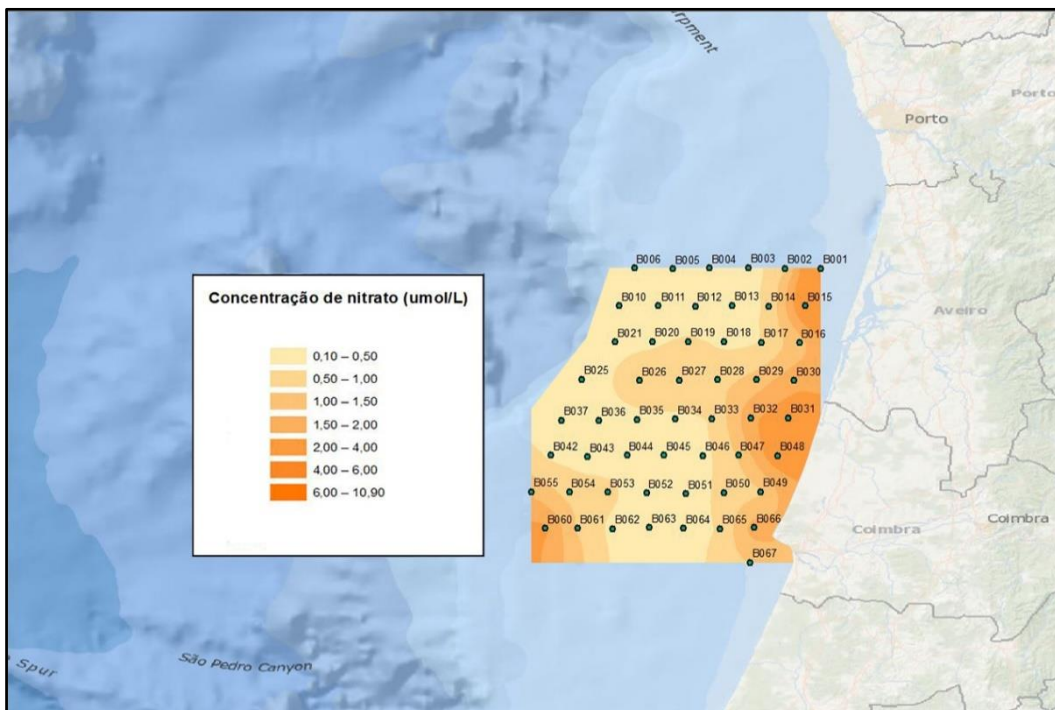
**Figura A4.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



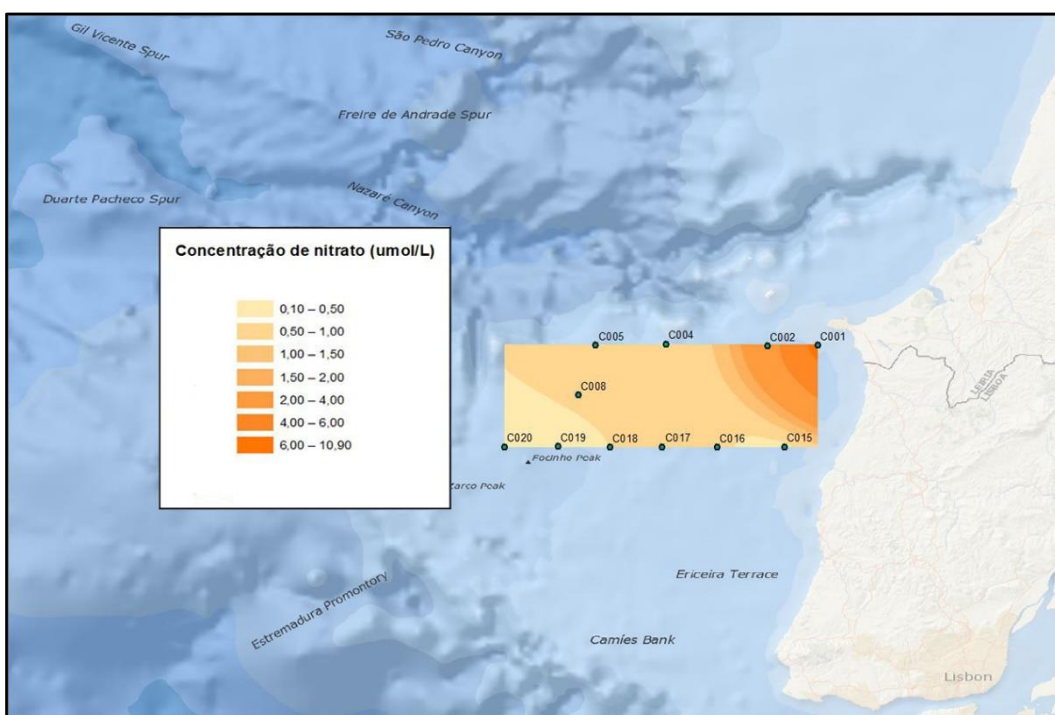
**Figura A5.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



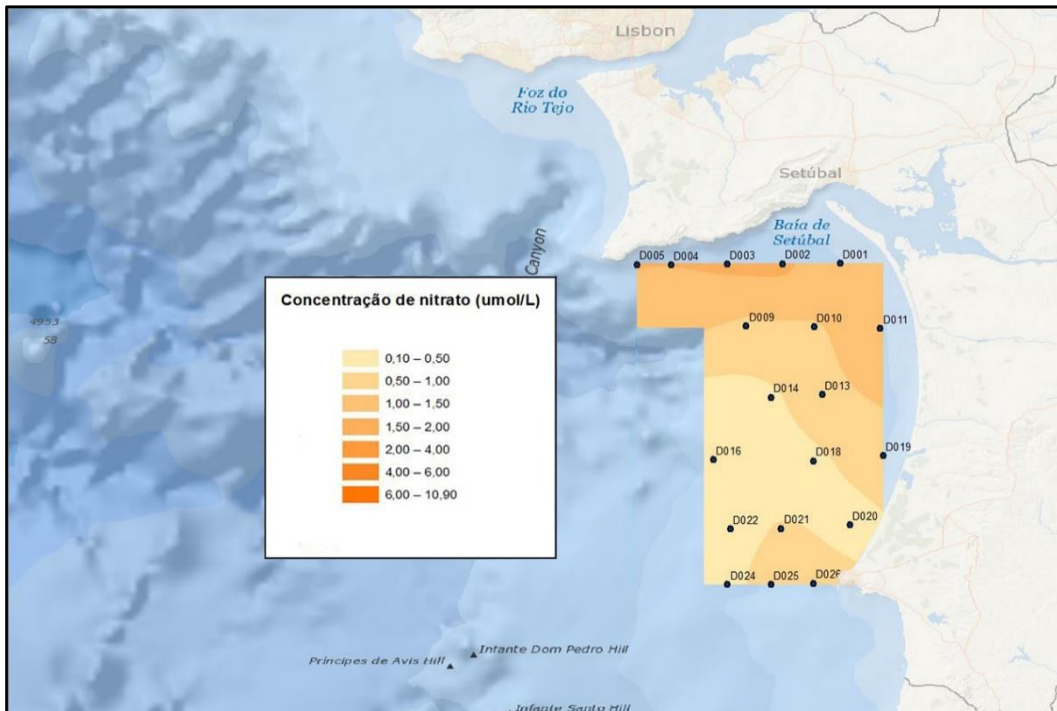
**Figura A6.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



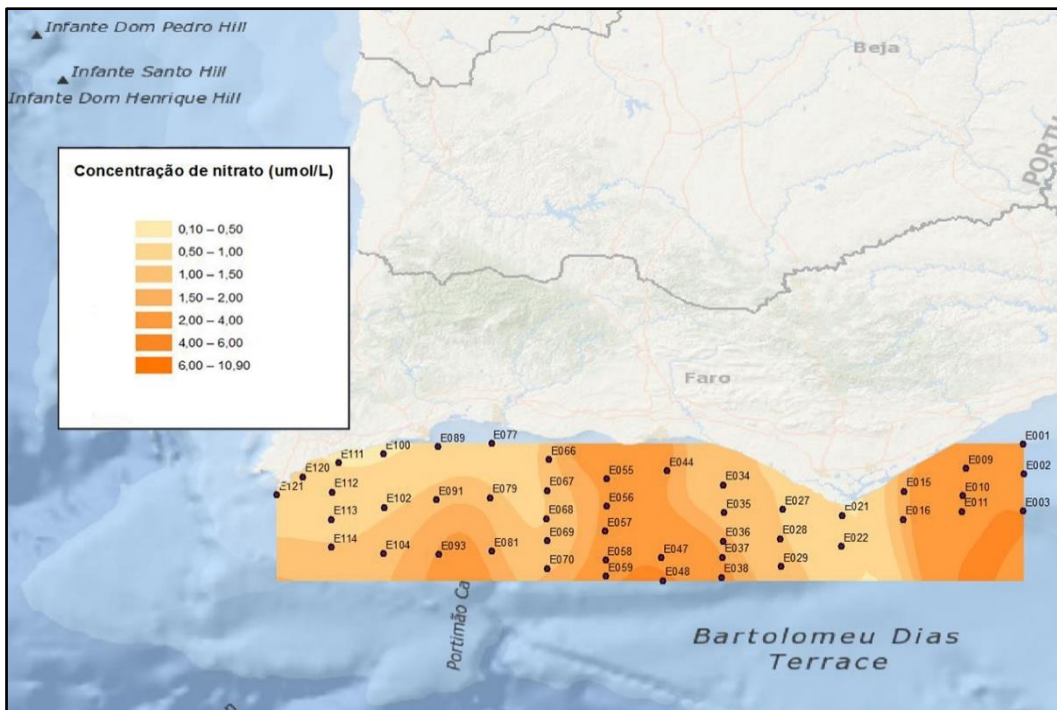
**Figura A7.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



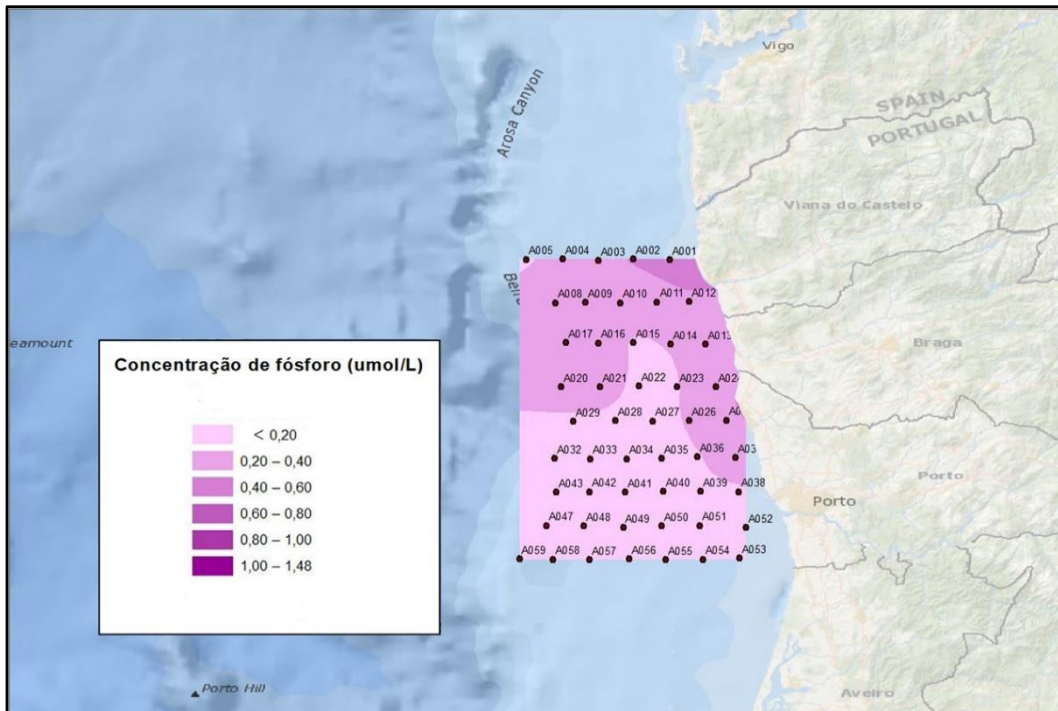
**Figura A8.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



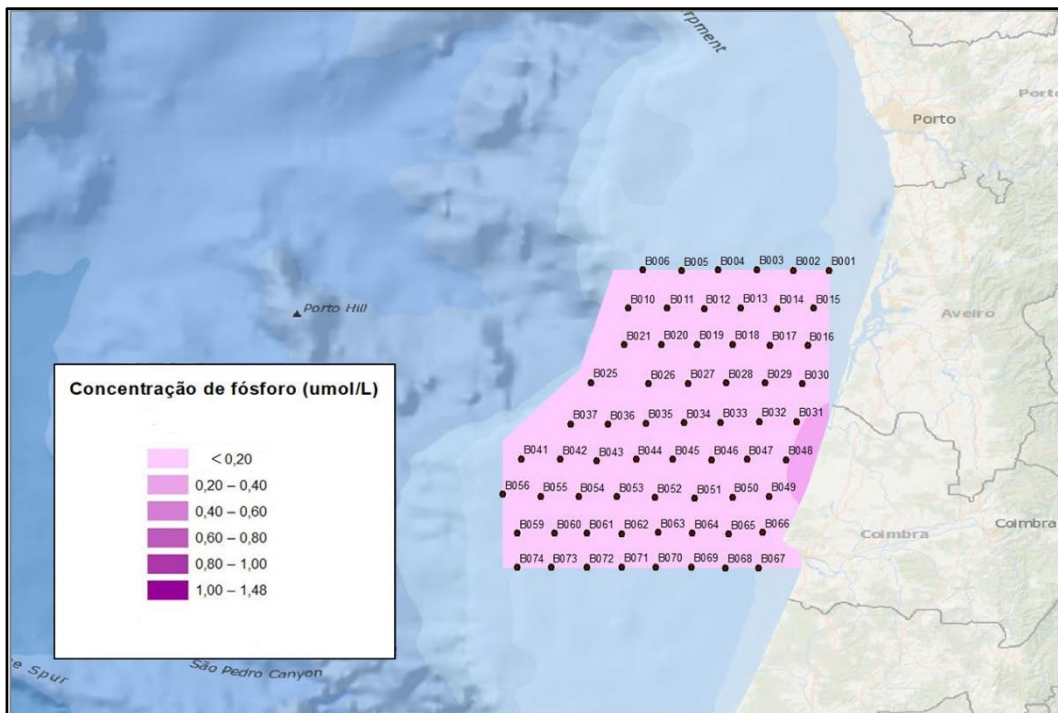
**Figura A9.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



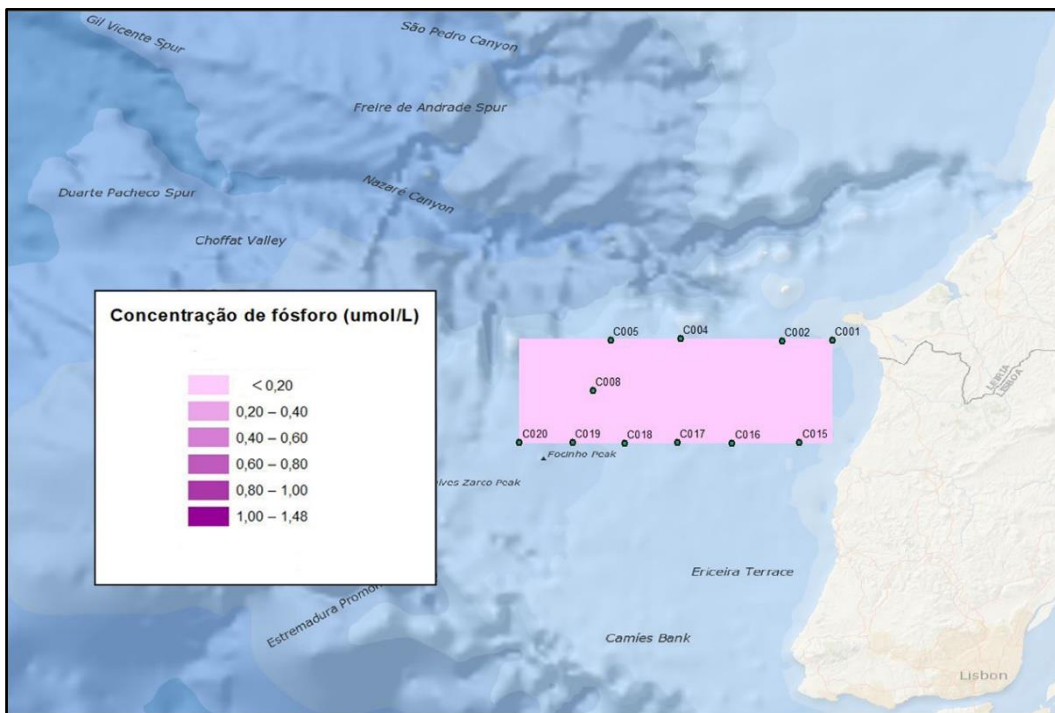
**Figura A10.** Mapa da concentração de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



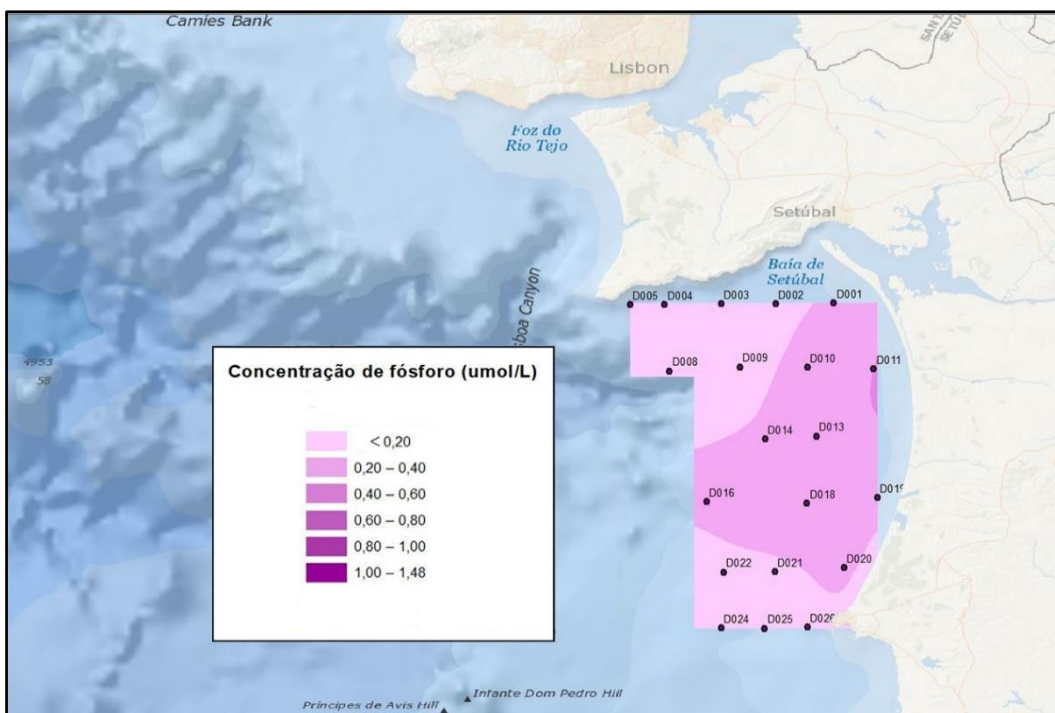
**Figura A11.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



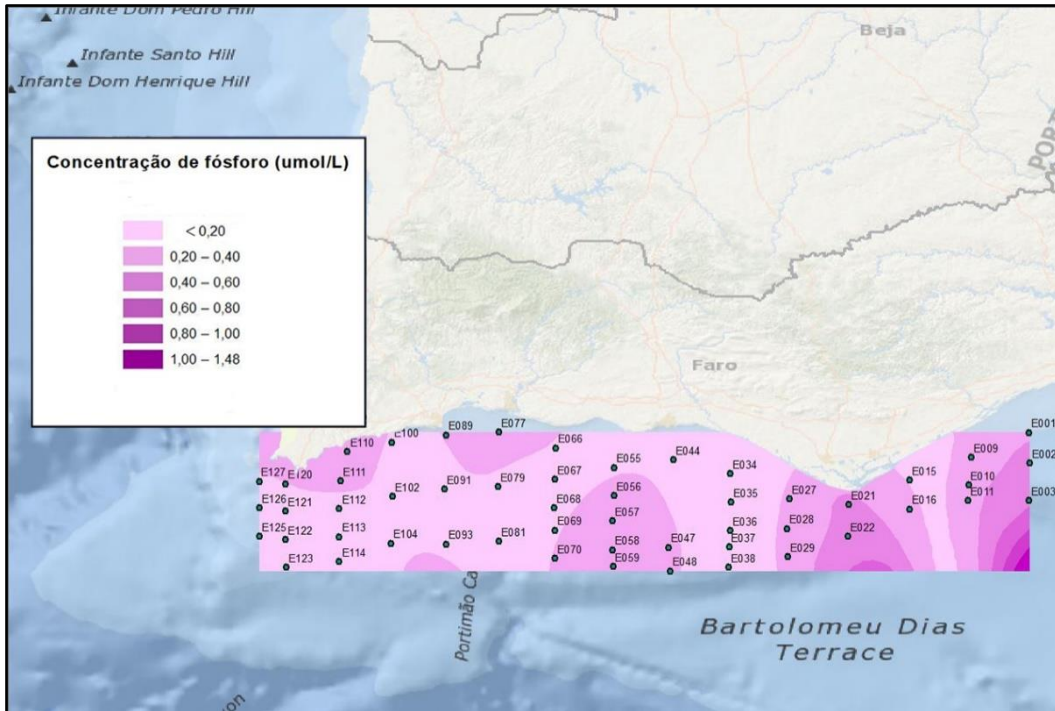
**Figura A12.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



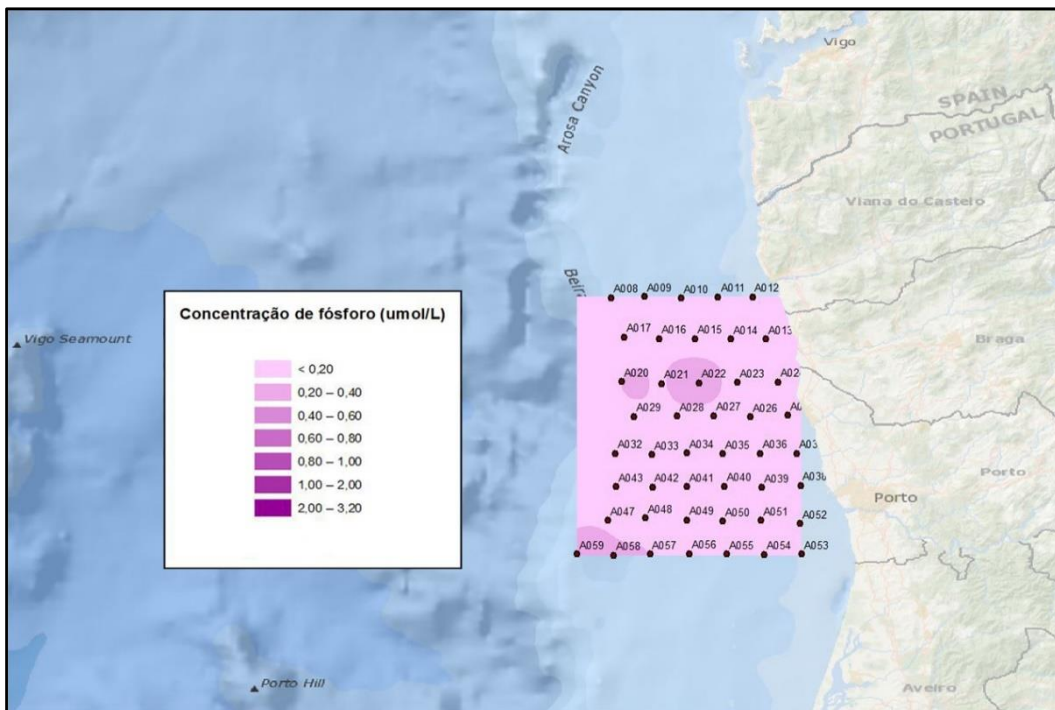
**Figura A13.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



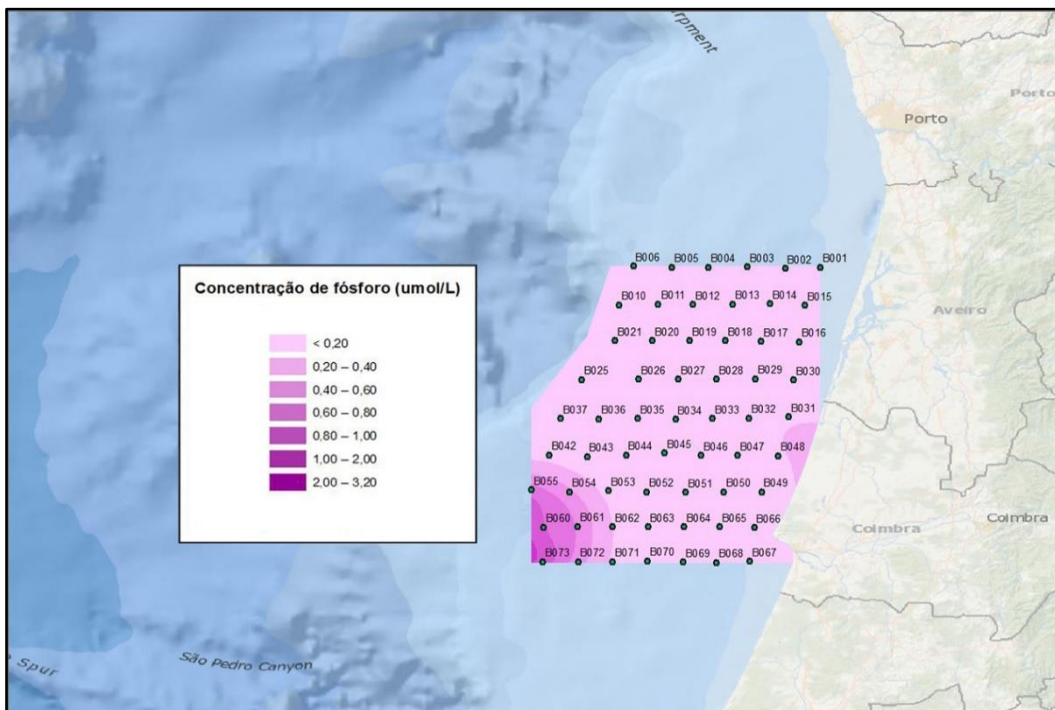
**Figura A14.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



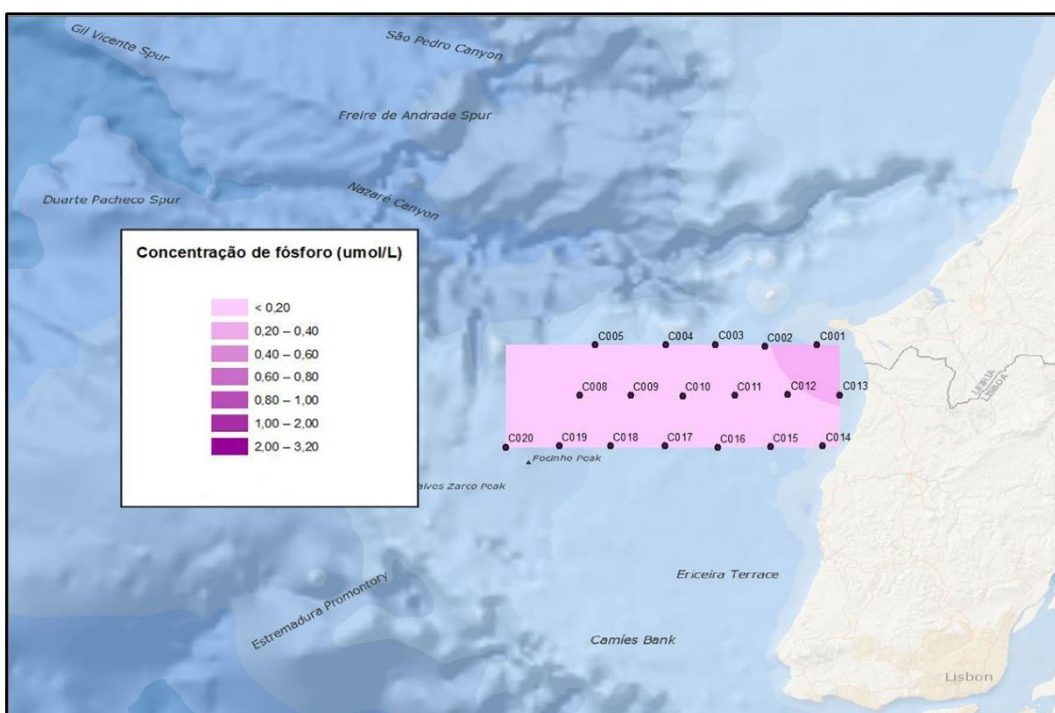
**Figura A15.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



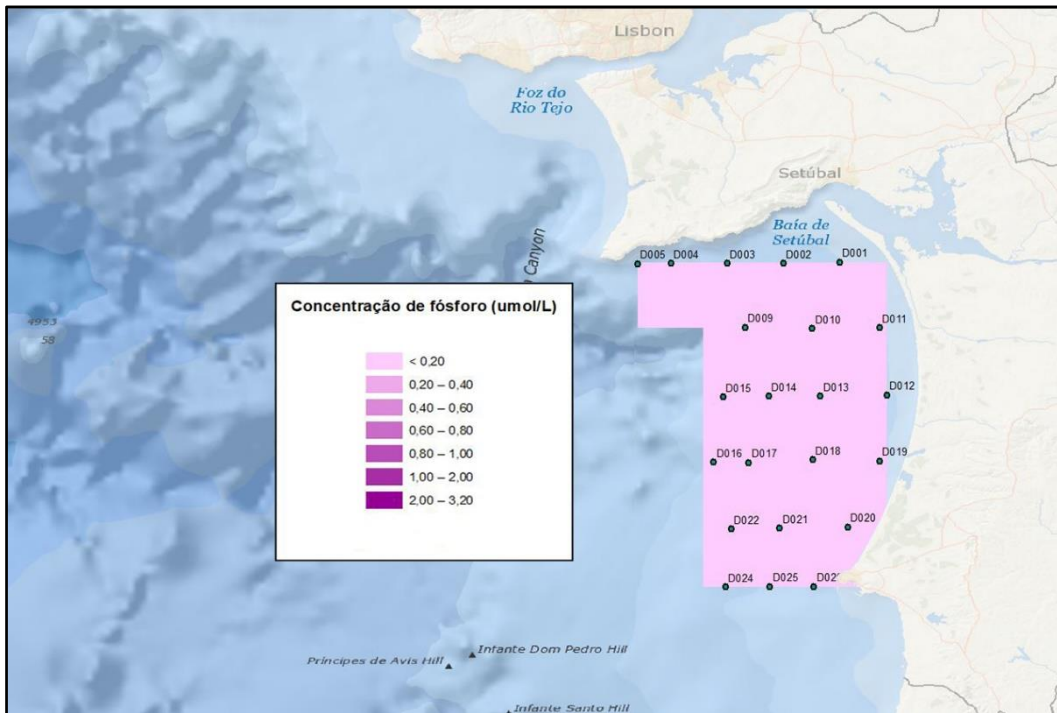
**Figura A16.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



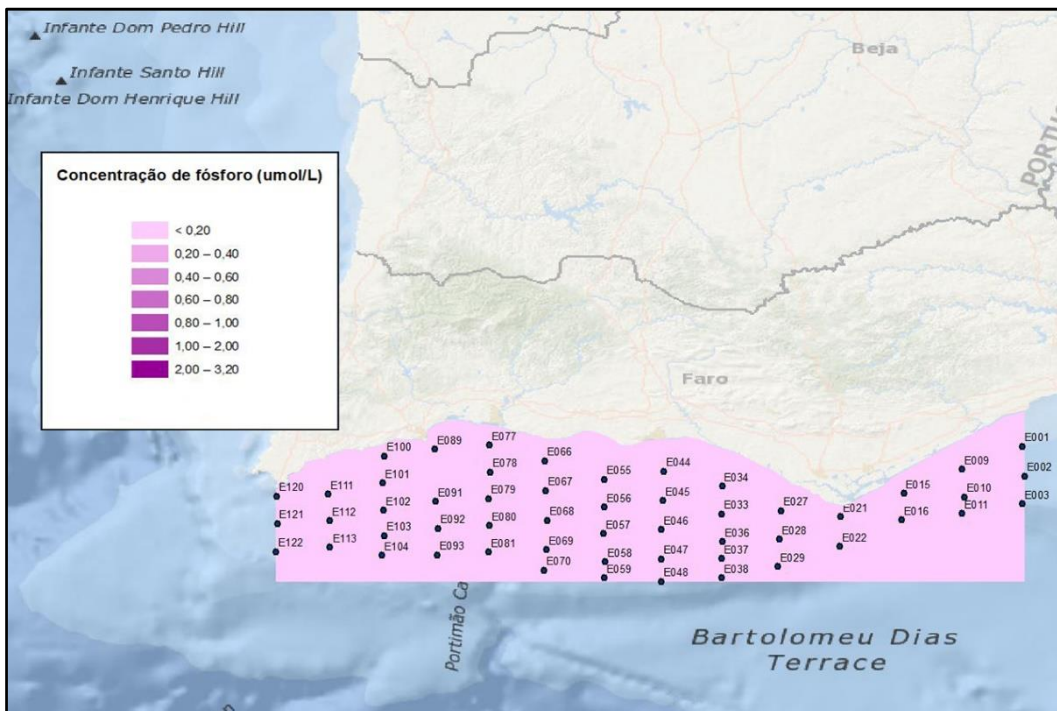
**Figura A17.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



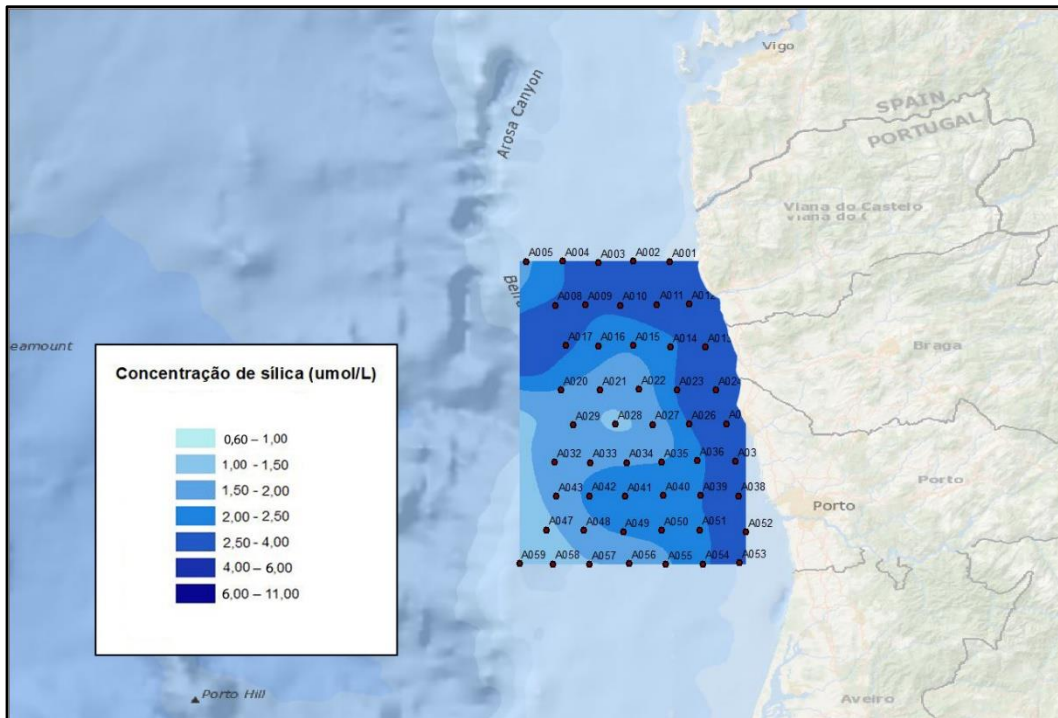
**Figura A18.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



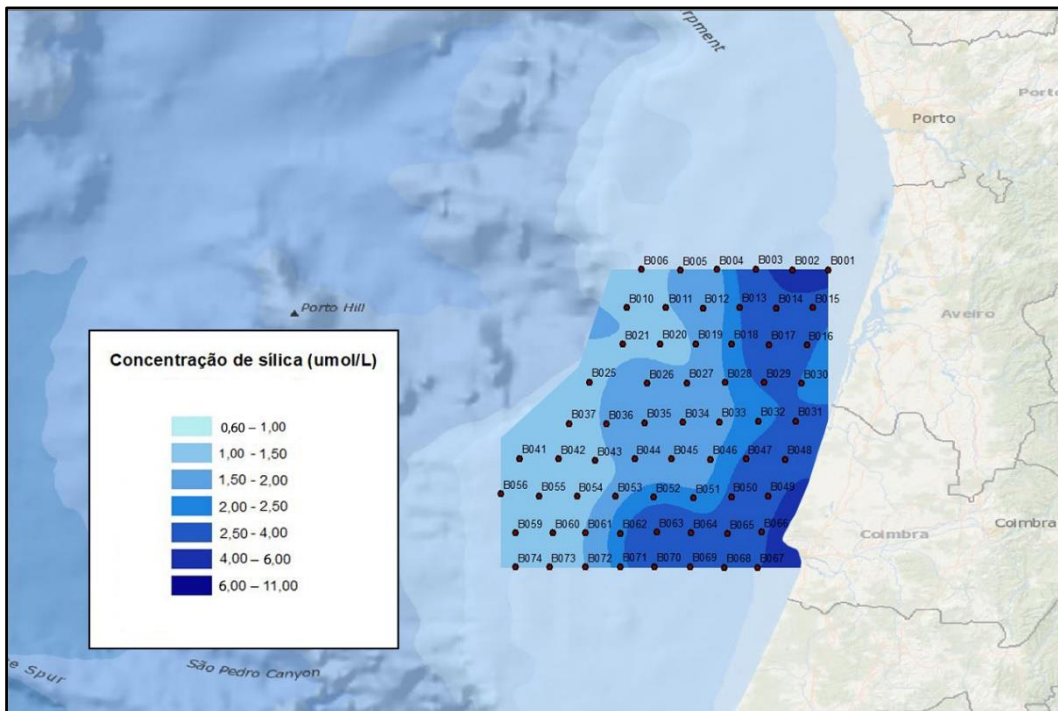
**Figura A19.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



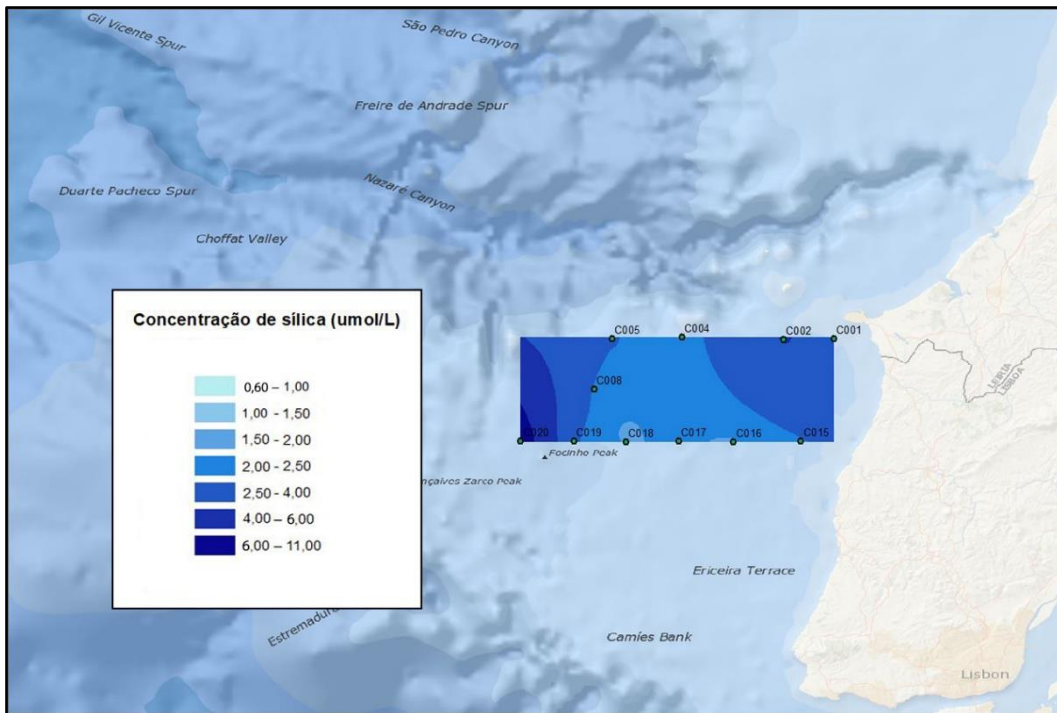
**Figura A20.** Mapa da concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



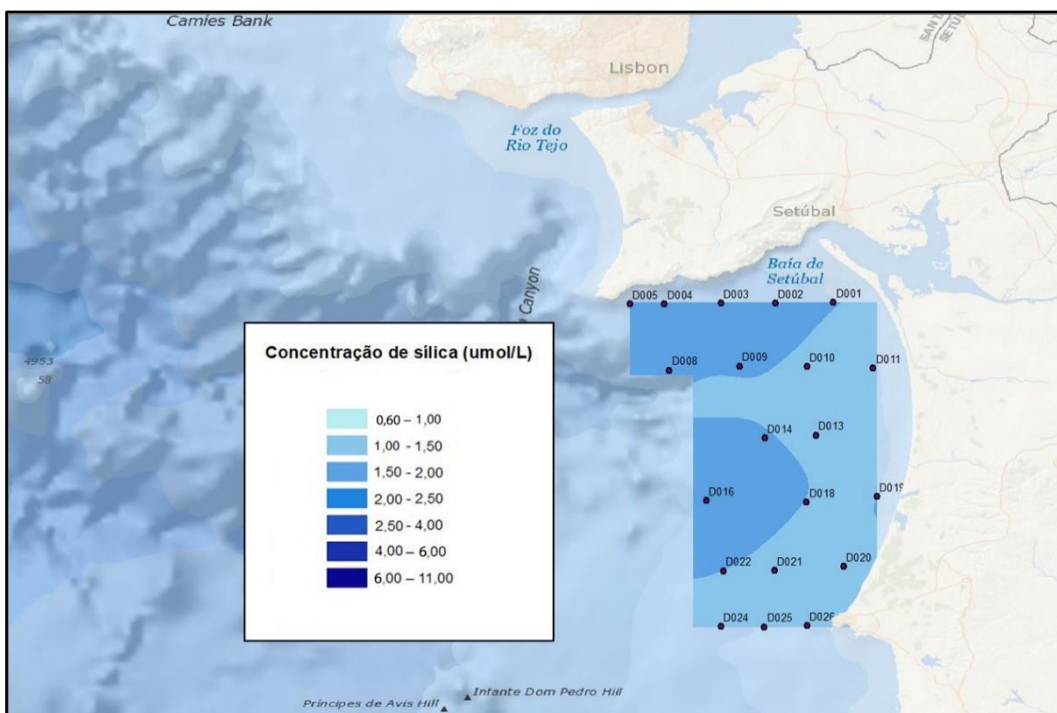
**Figura A21.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



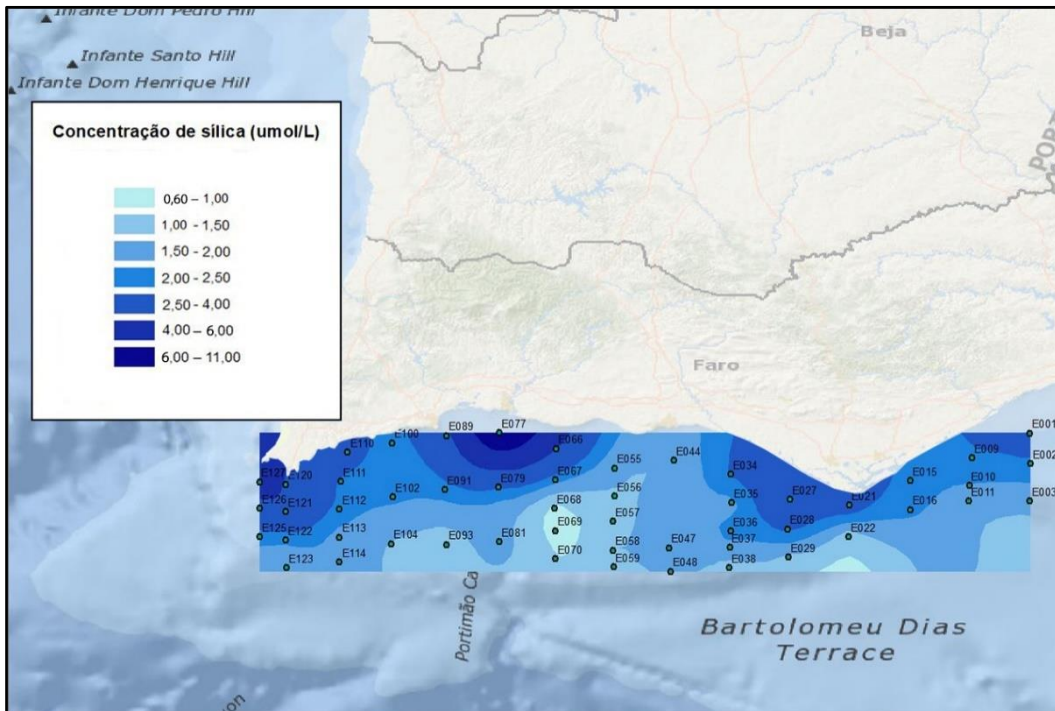
**Figura A22.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



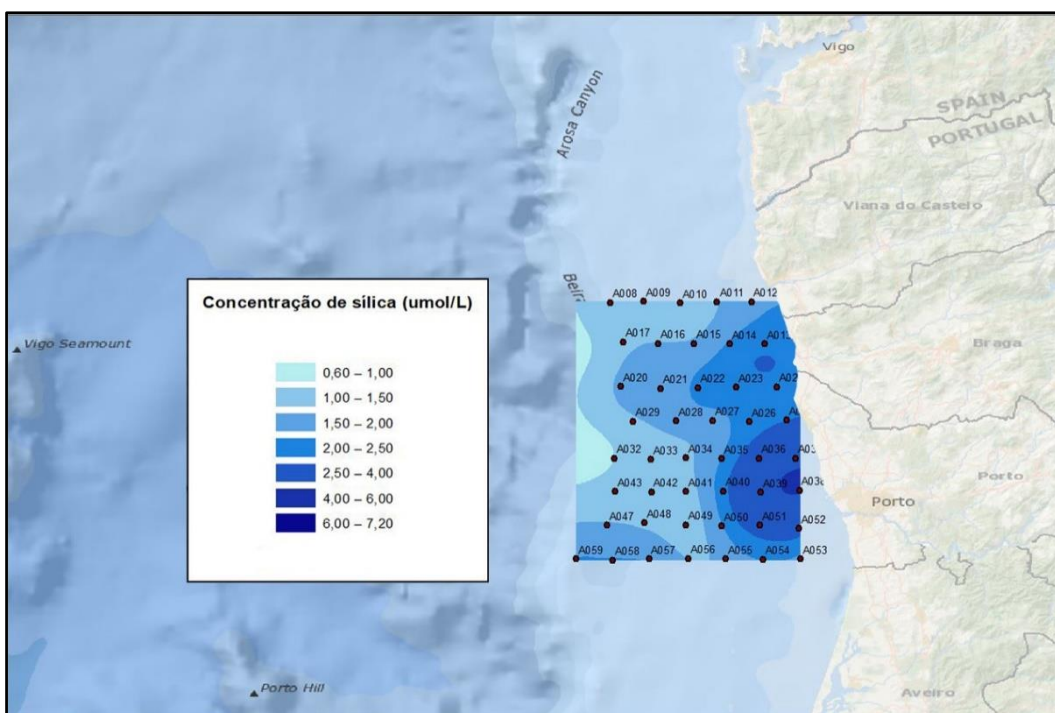
**Figura A23.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



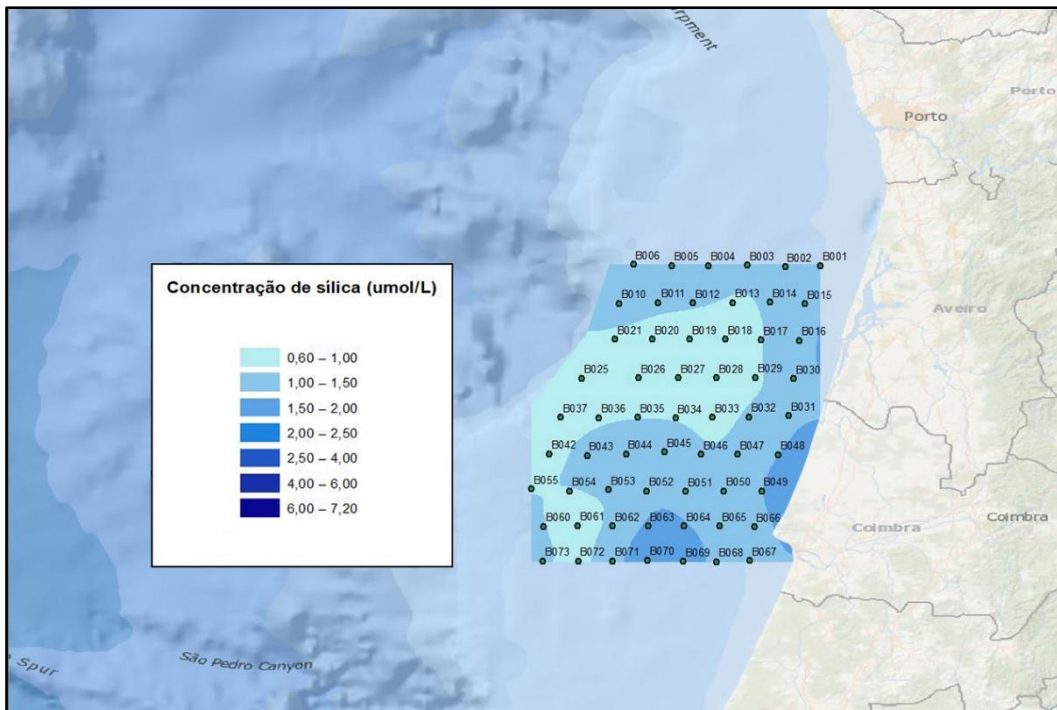
**Figura A24.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



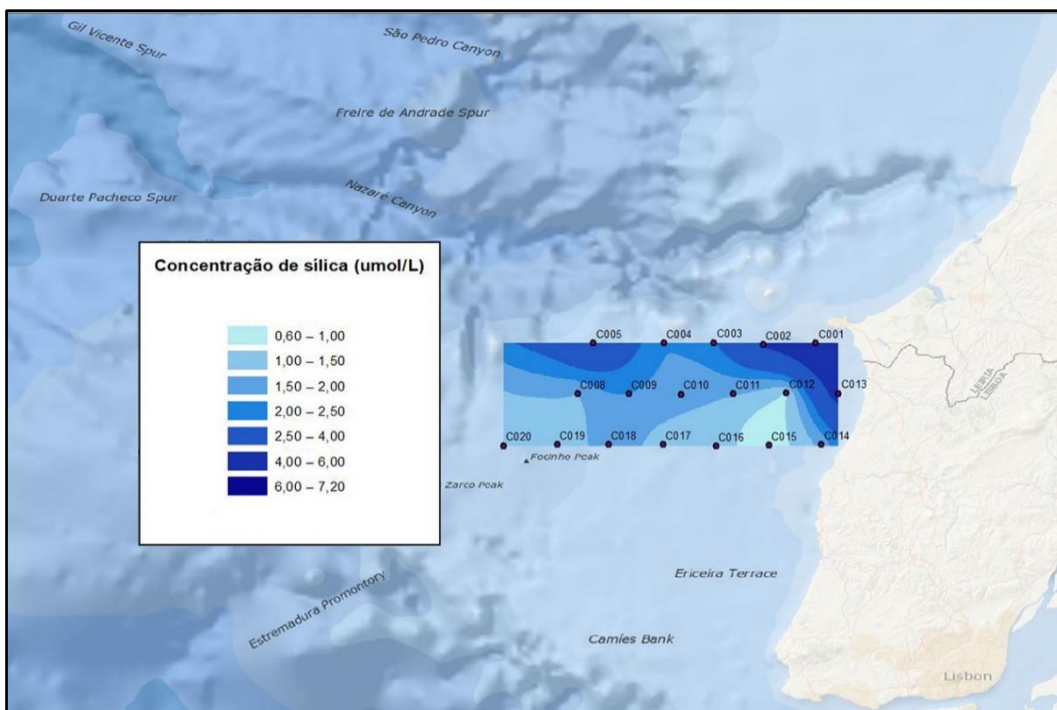
**Figura A25.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



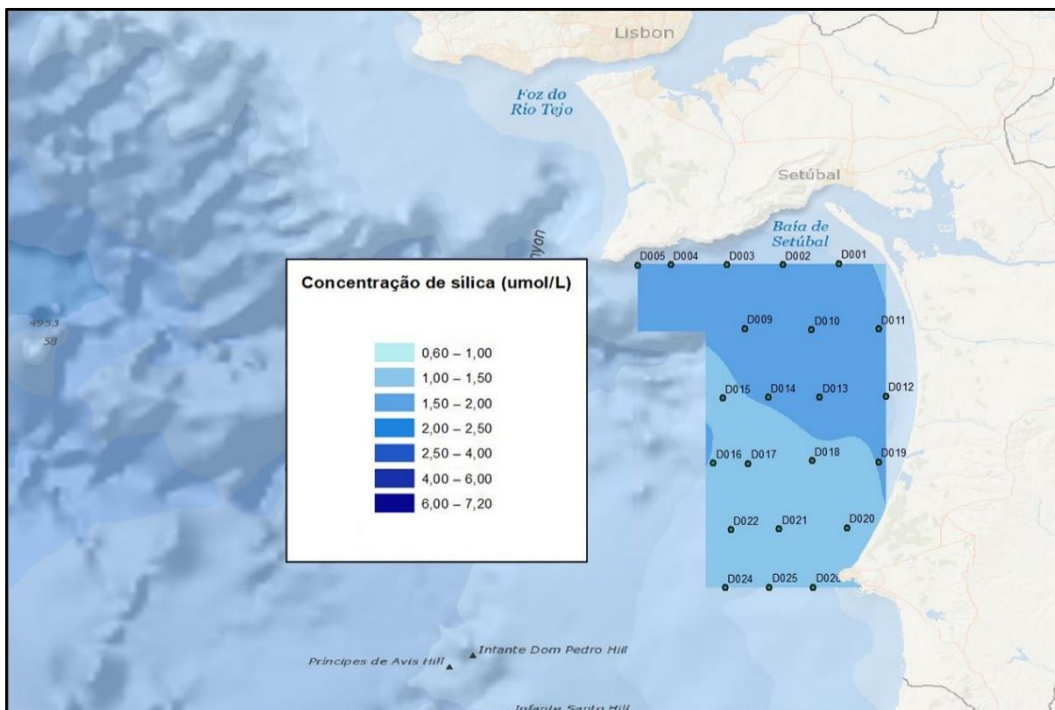
**Figura A26.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



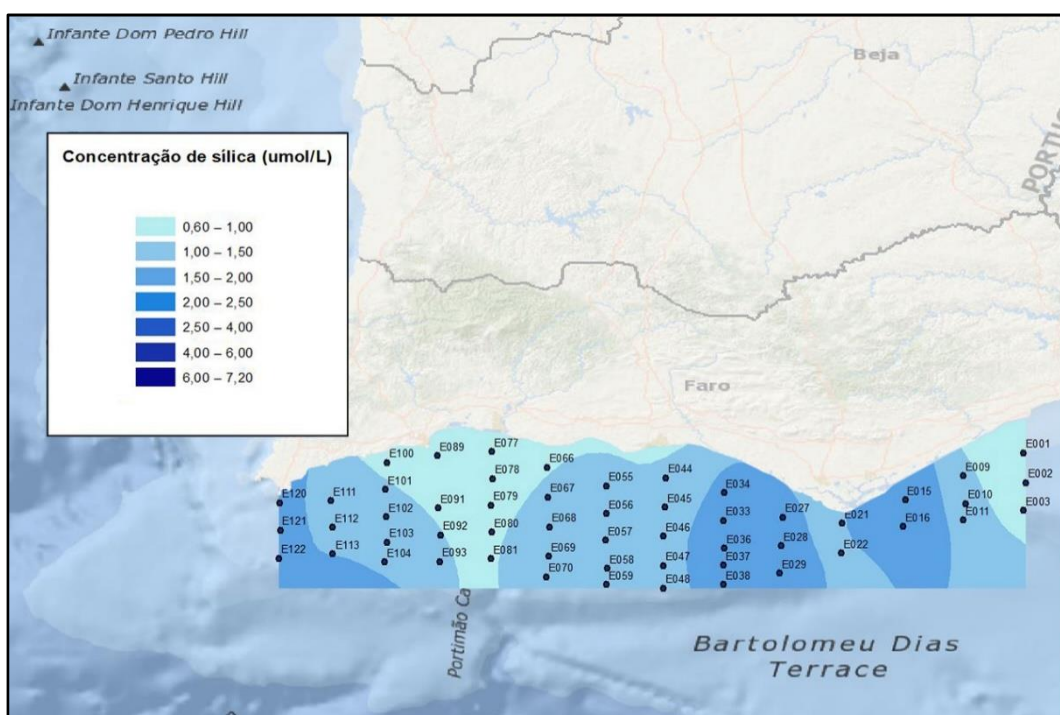
**Figura A27.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



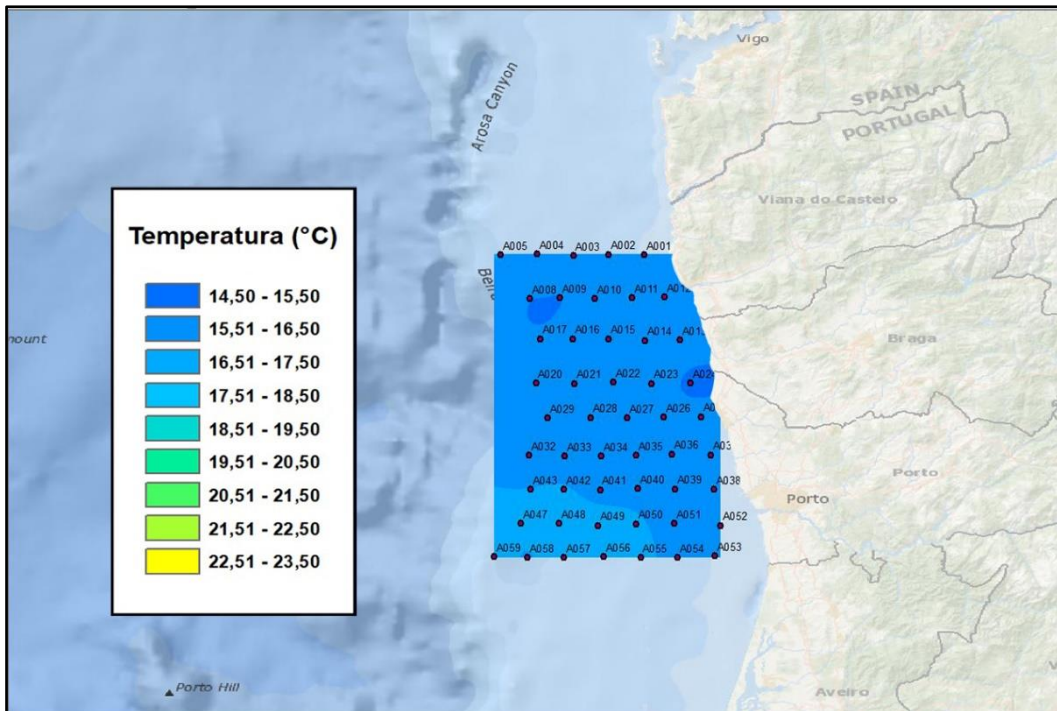
**Figura A28.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



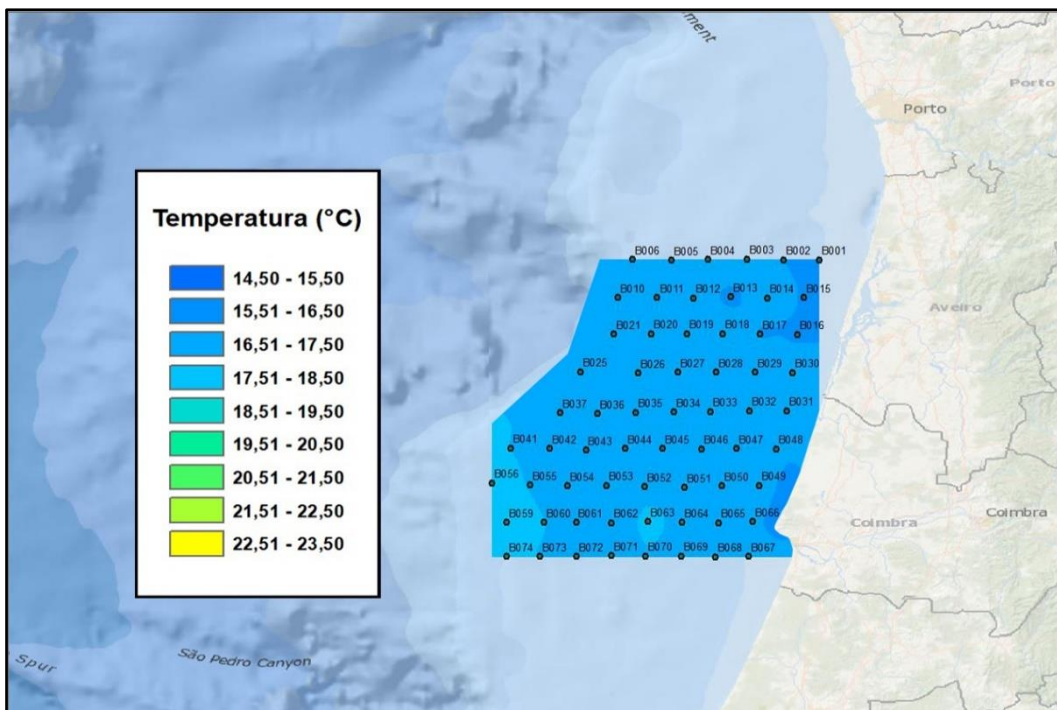
**Figura A29.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



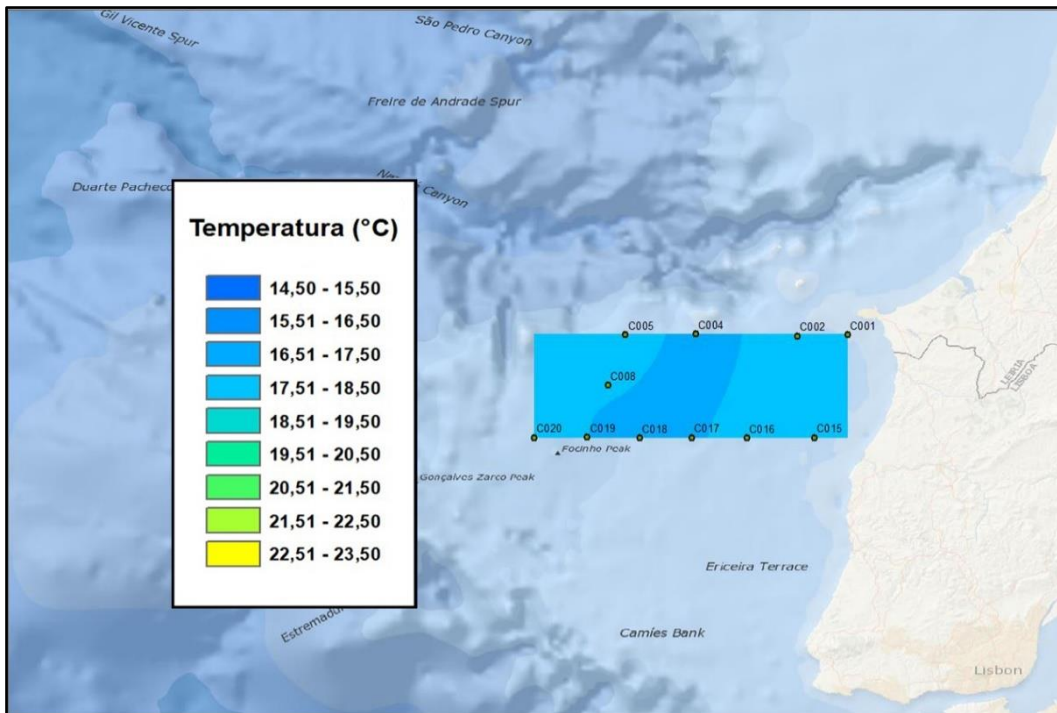
**Figura A30.** Mapa da concentração de sílica ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



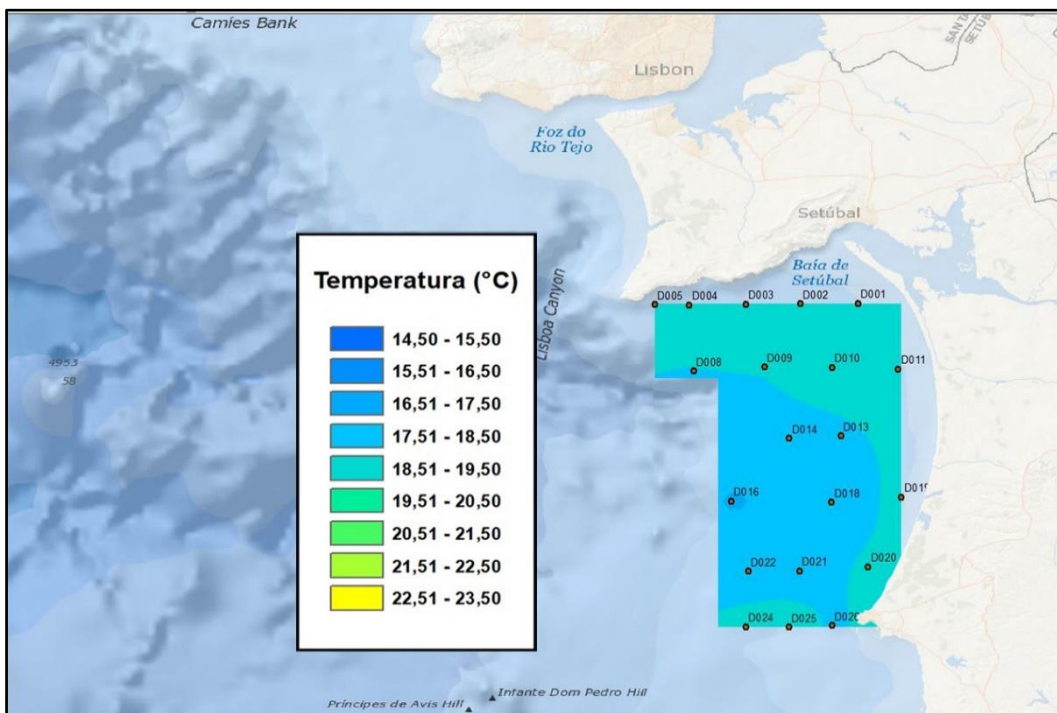
**Figura A31.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área A na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



**Figura A32.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área B na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.

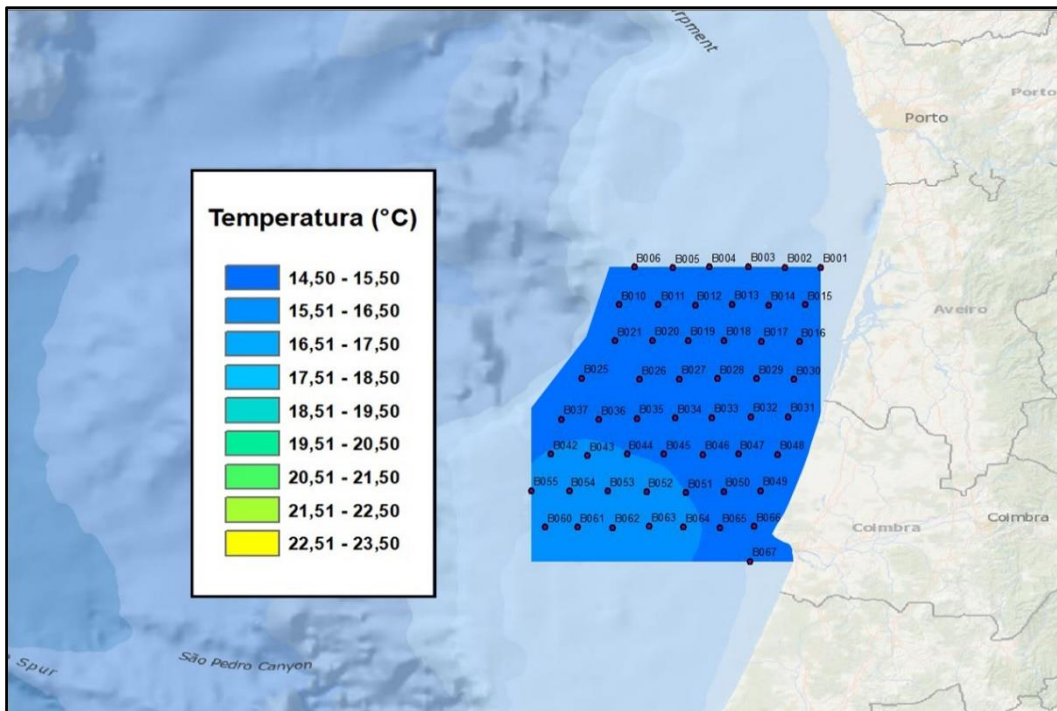


**Figura A33.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área C na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.

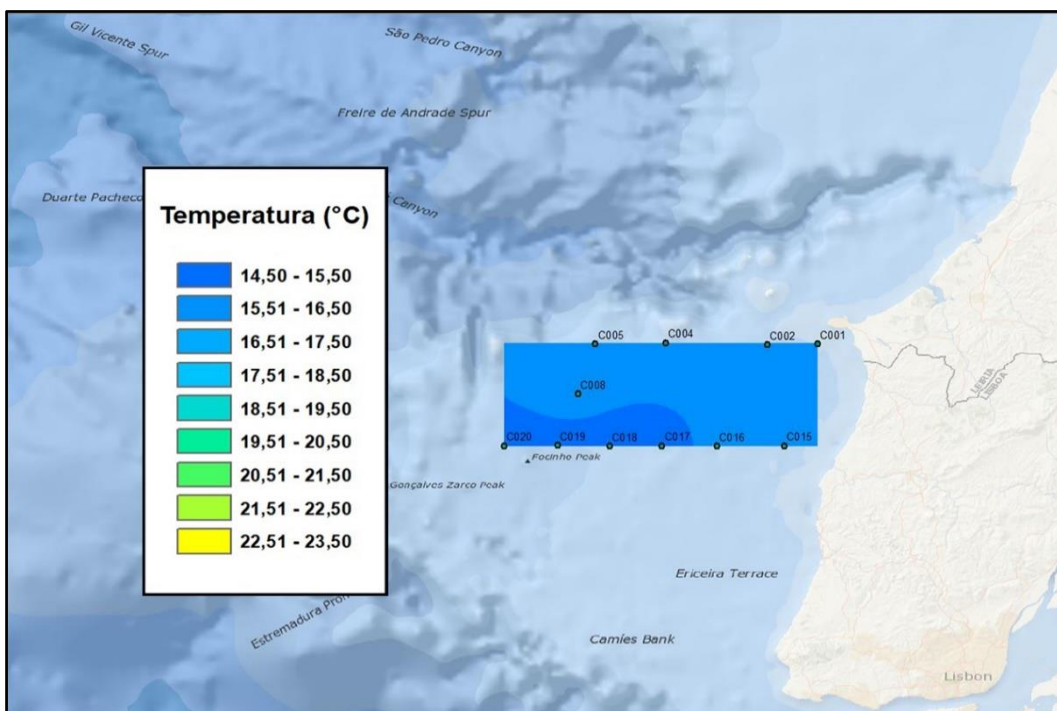


**Figura A34.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área D na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.

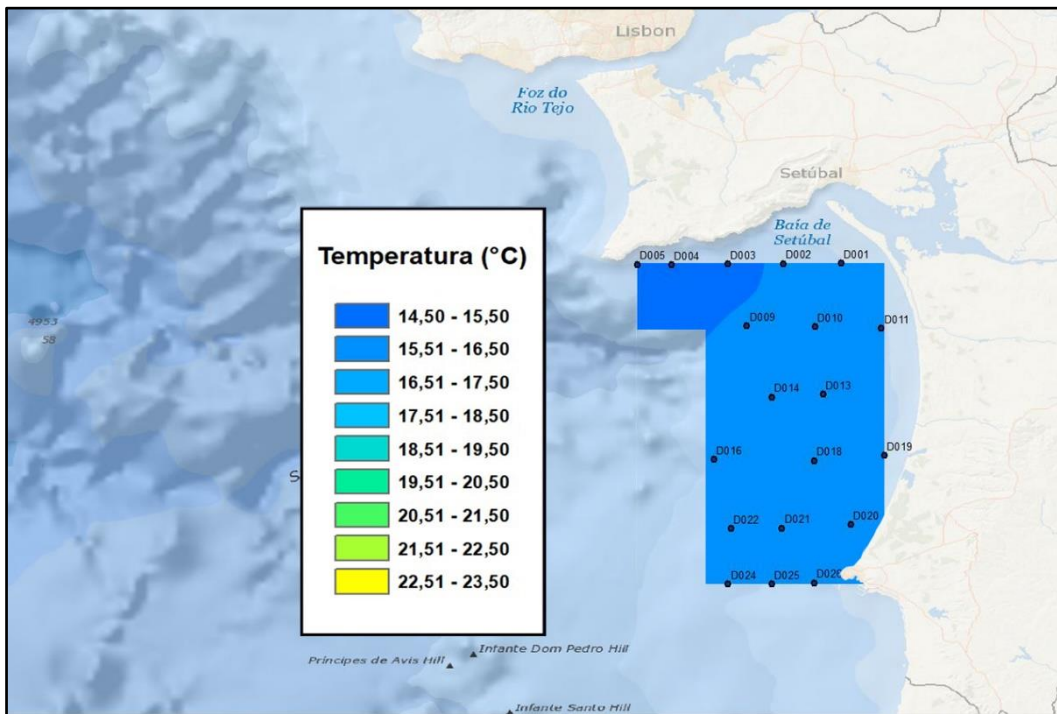




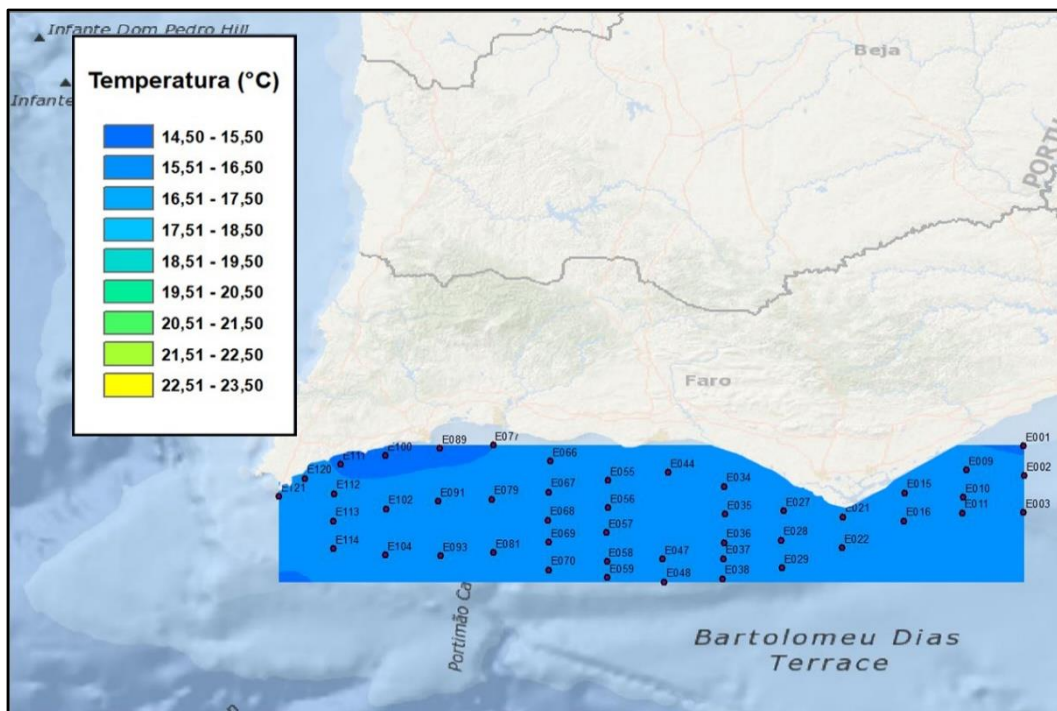
**Figura A37.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área B na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



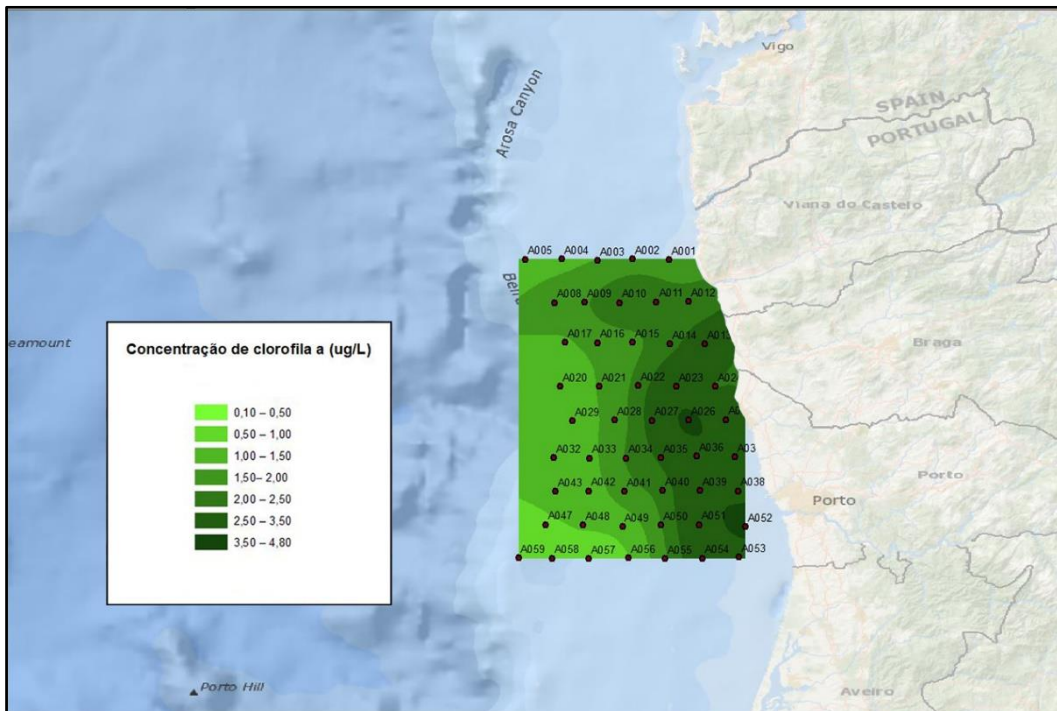
**Figura A38.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área C na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



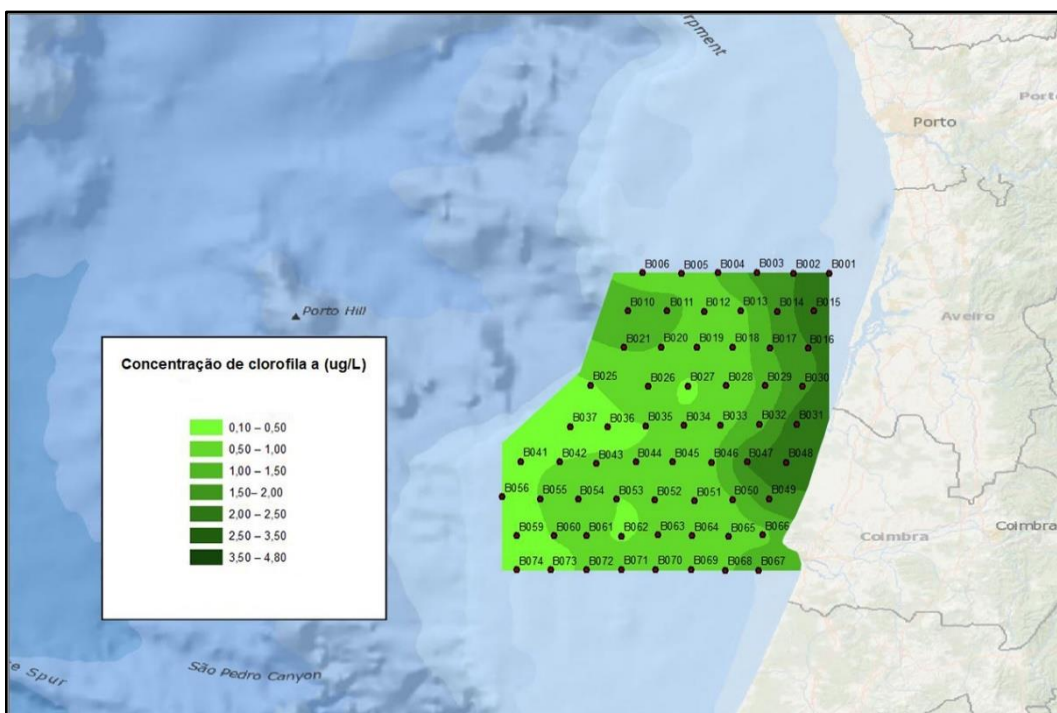
**Figura A39.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área D na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



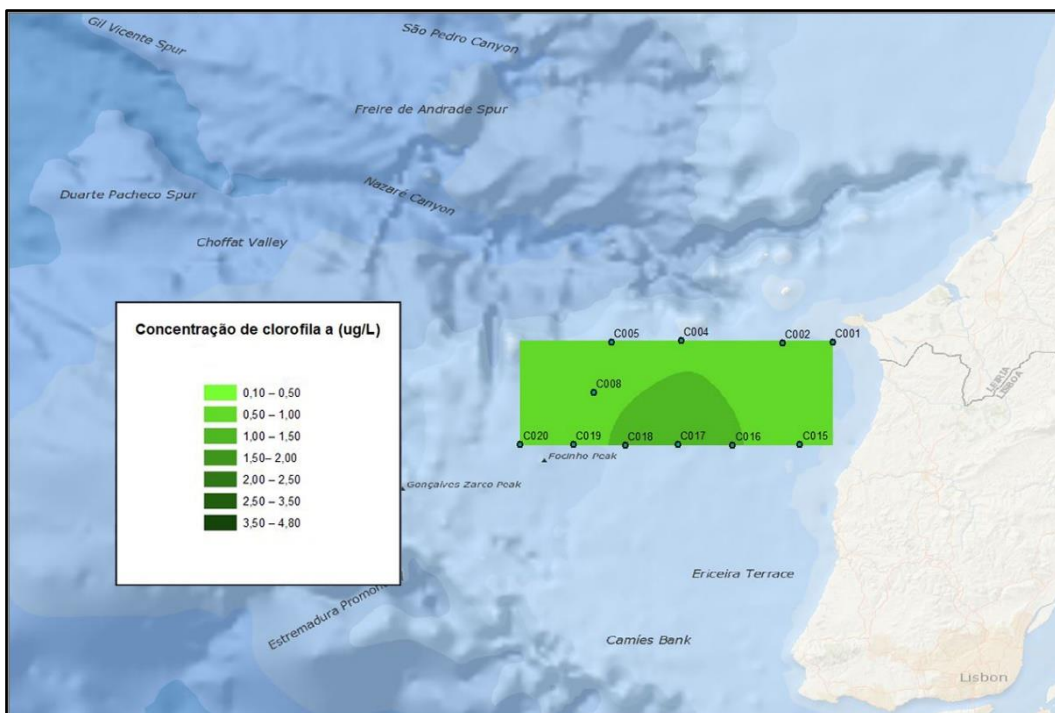
**Figura A40.** Mapa da temperatura (°C) das estações da área E na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



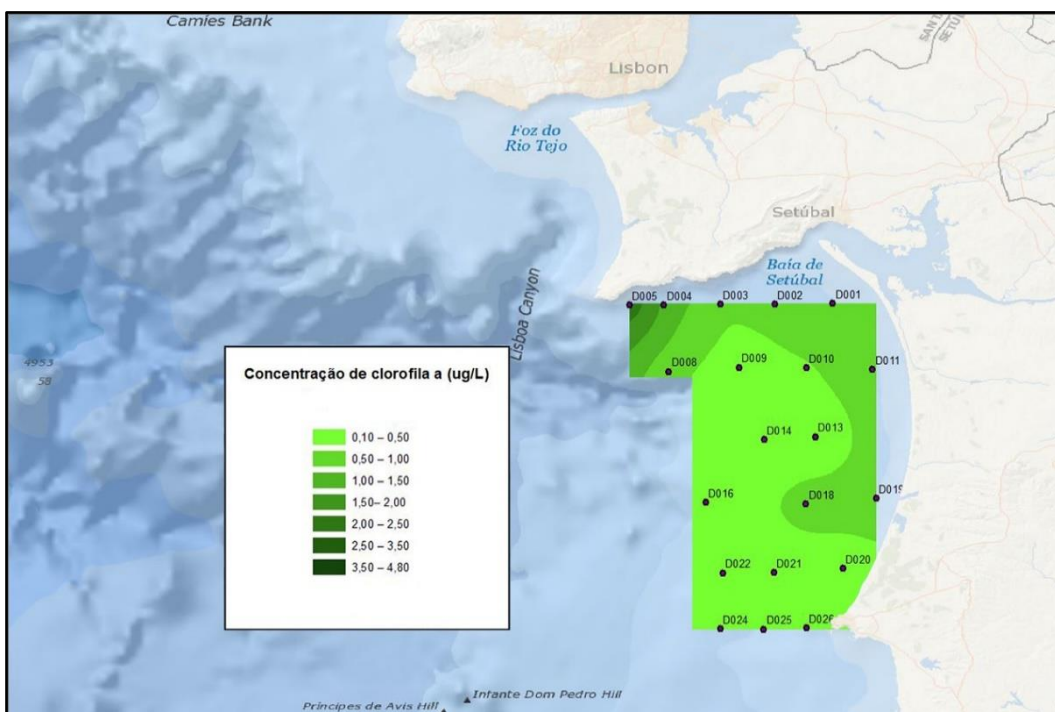
**Figura A41.** Mapa da concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



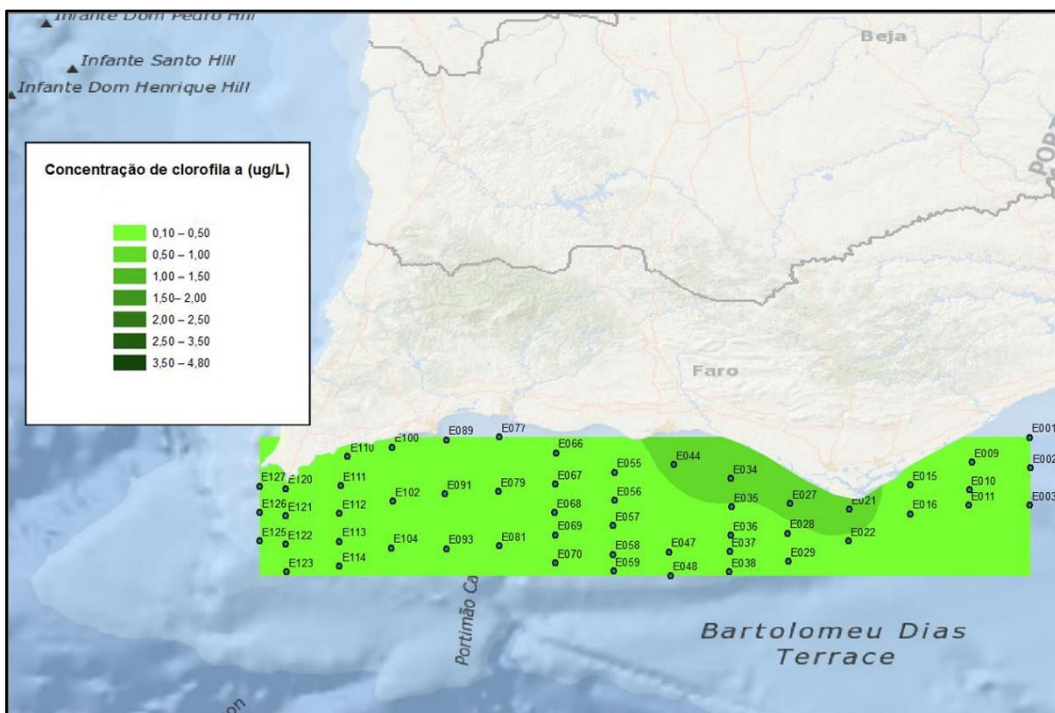
**Figura A42.** Mapa da concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



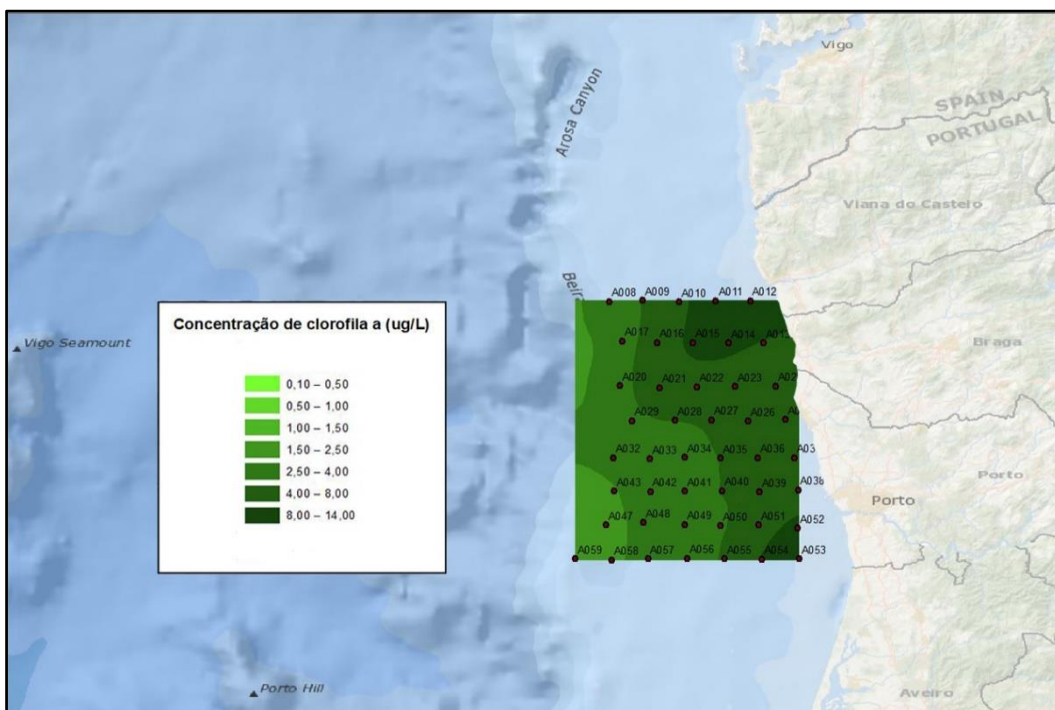
**Figura A43.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



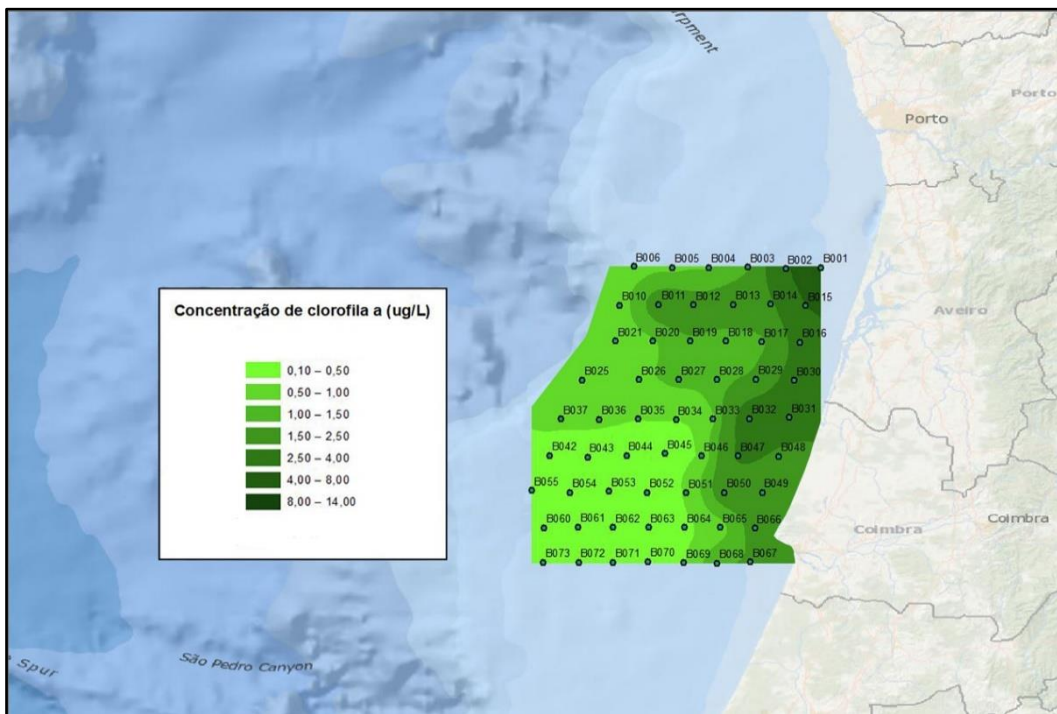
**Figura A44.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



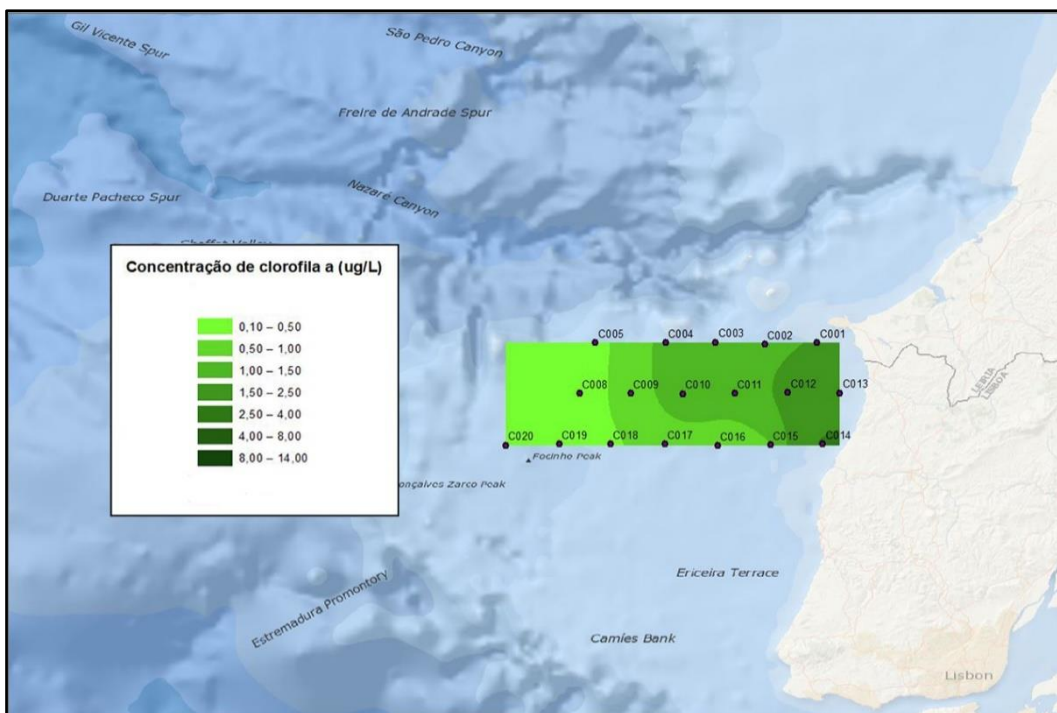
**Figura A45.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de outubro de 2018 até 7 metros de profundidade.



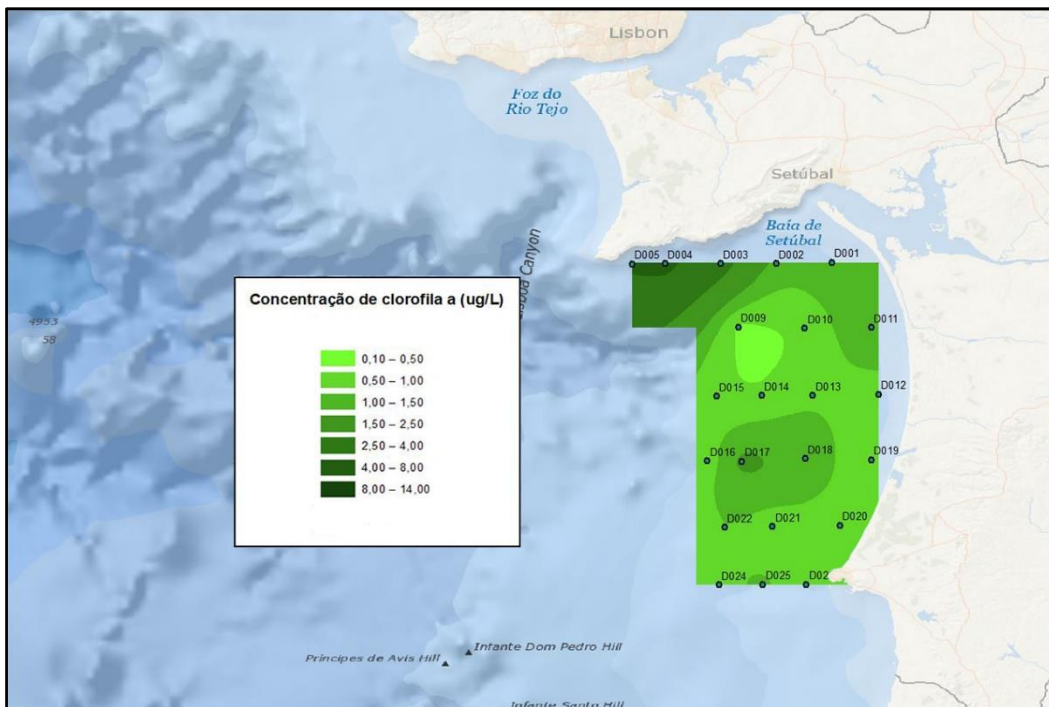
**Figura A46.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área A na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



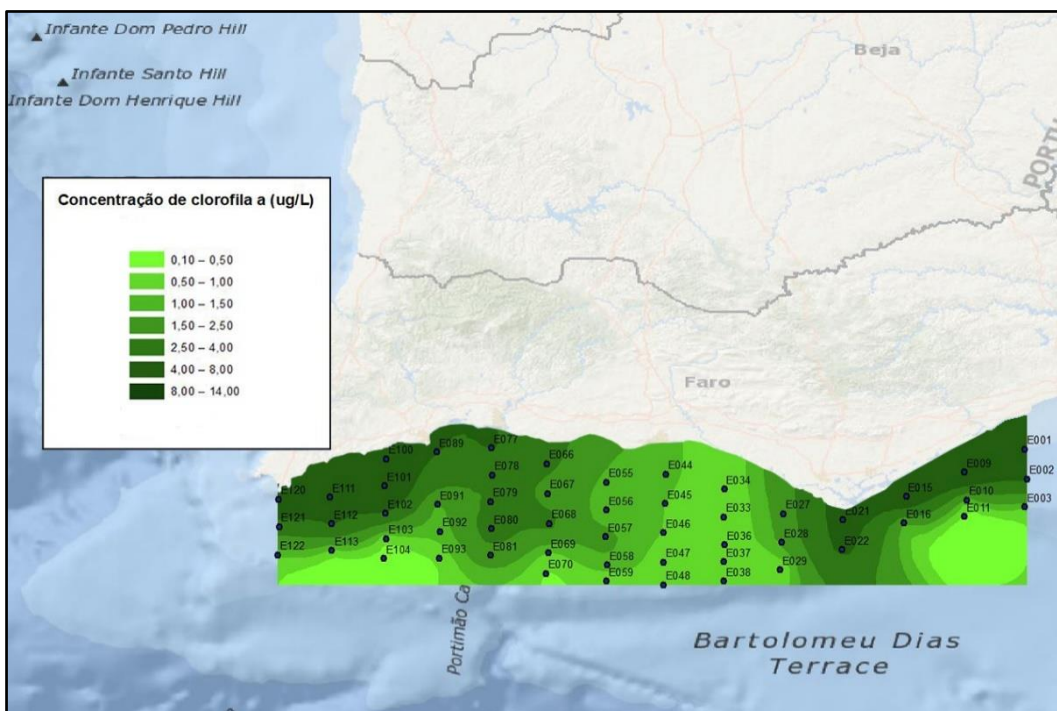
**Figura A47.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área B na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



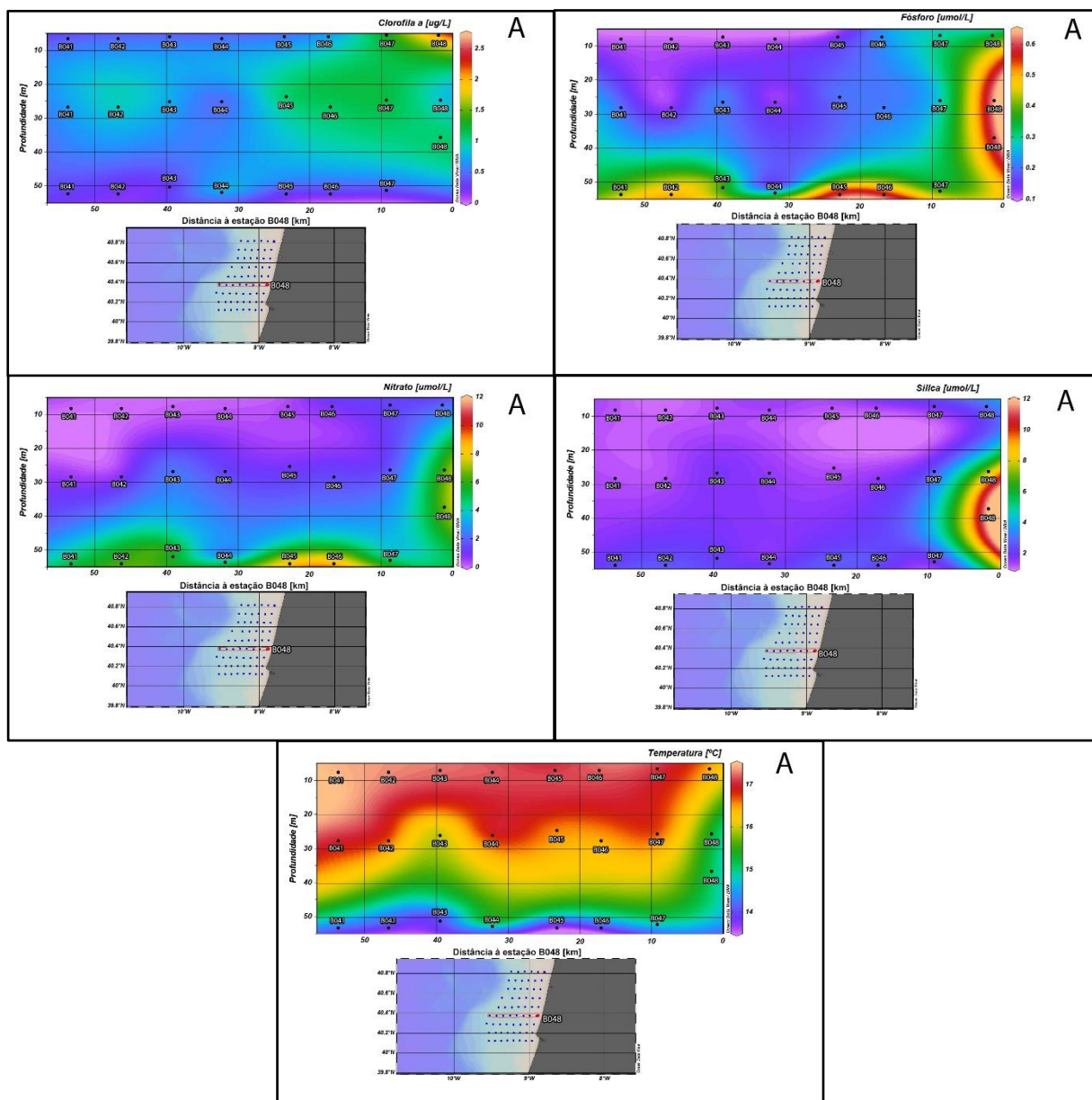
**Figura A48.** Mapa da concentração de clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área C na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



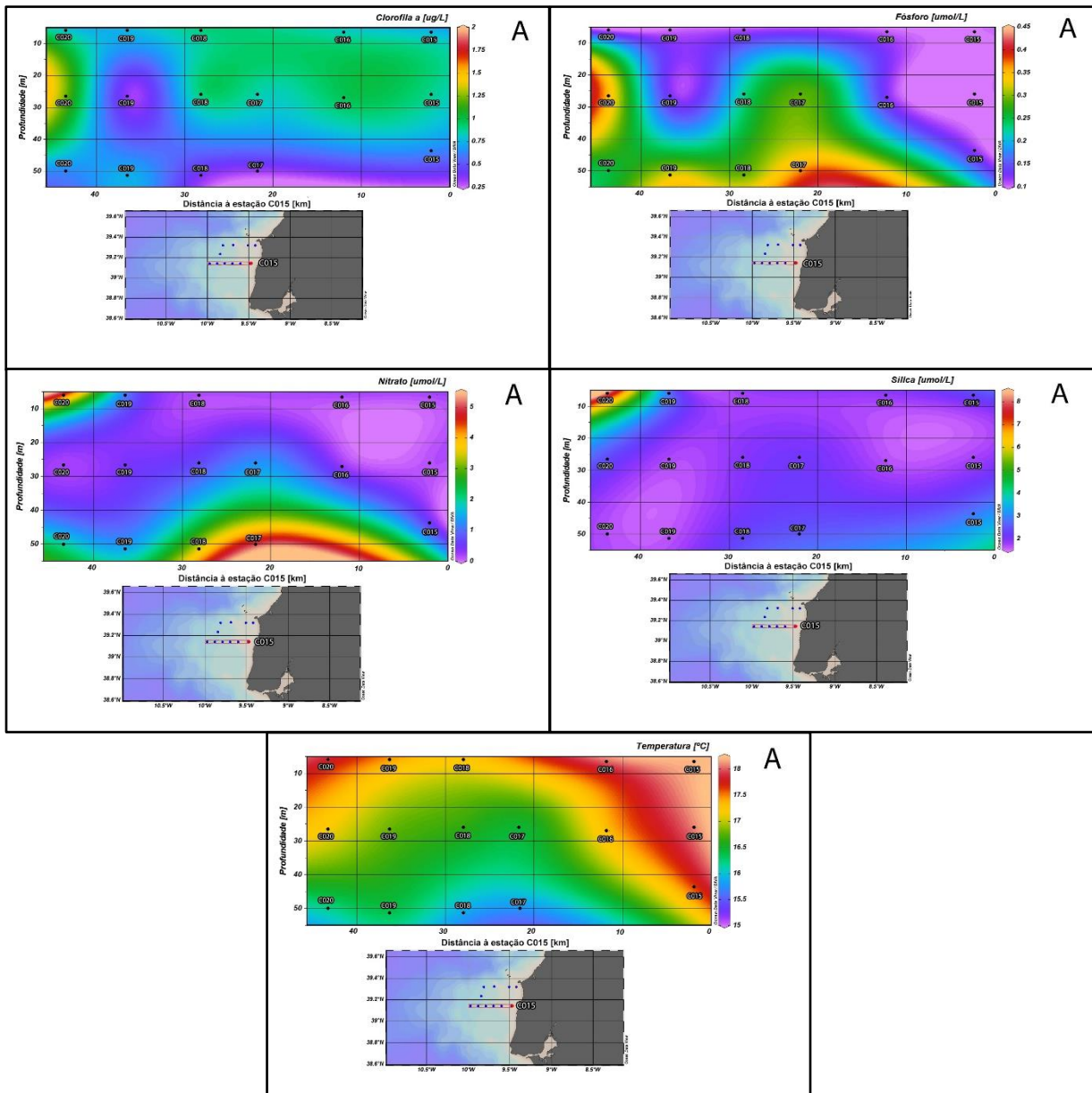
**Figura A49.** Mapa da concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área D na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



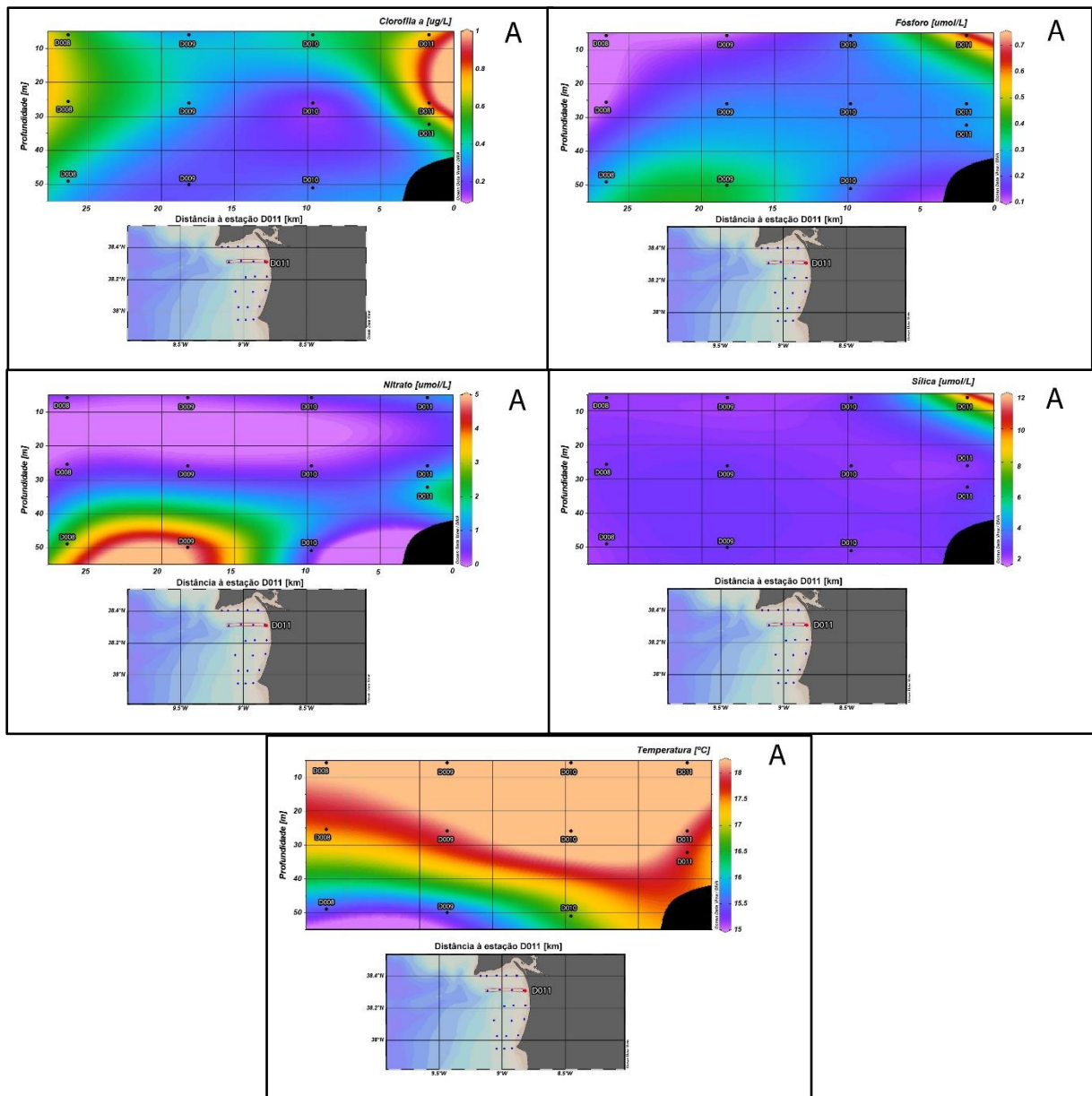
**Figura A50.** Mapa da concentração de clorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das estações da área E na campanha de abril de 2019 até 7 metros de profundidade.



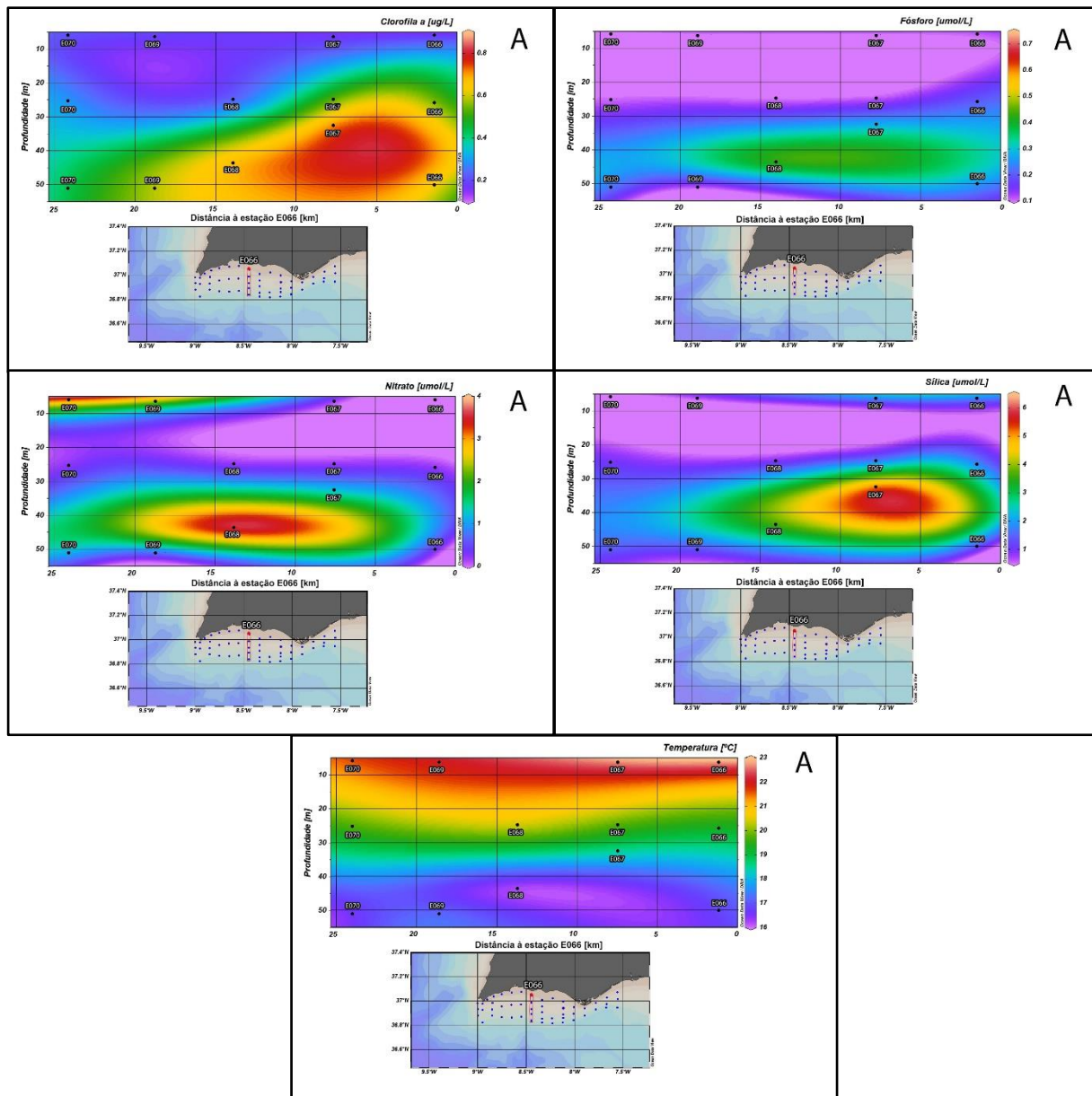
**Figura A51.** Parâmetros em ODV da área B (Estações: B048, B047, B046, B045, B044, B043 e B042) na campanha de outubro de 2018 até, aproximadamente, 50 metros de profundidade.



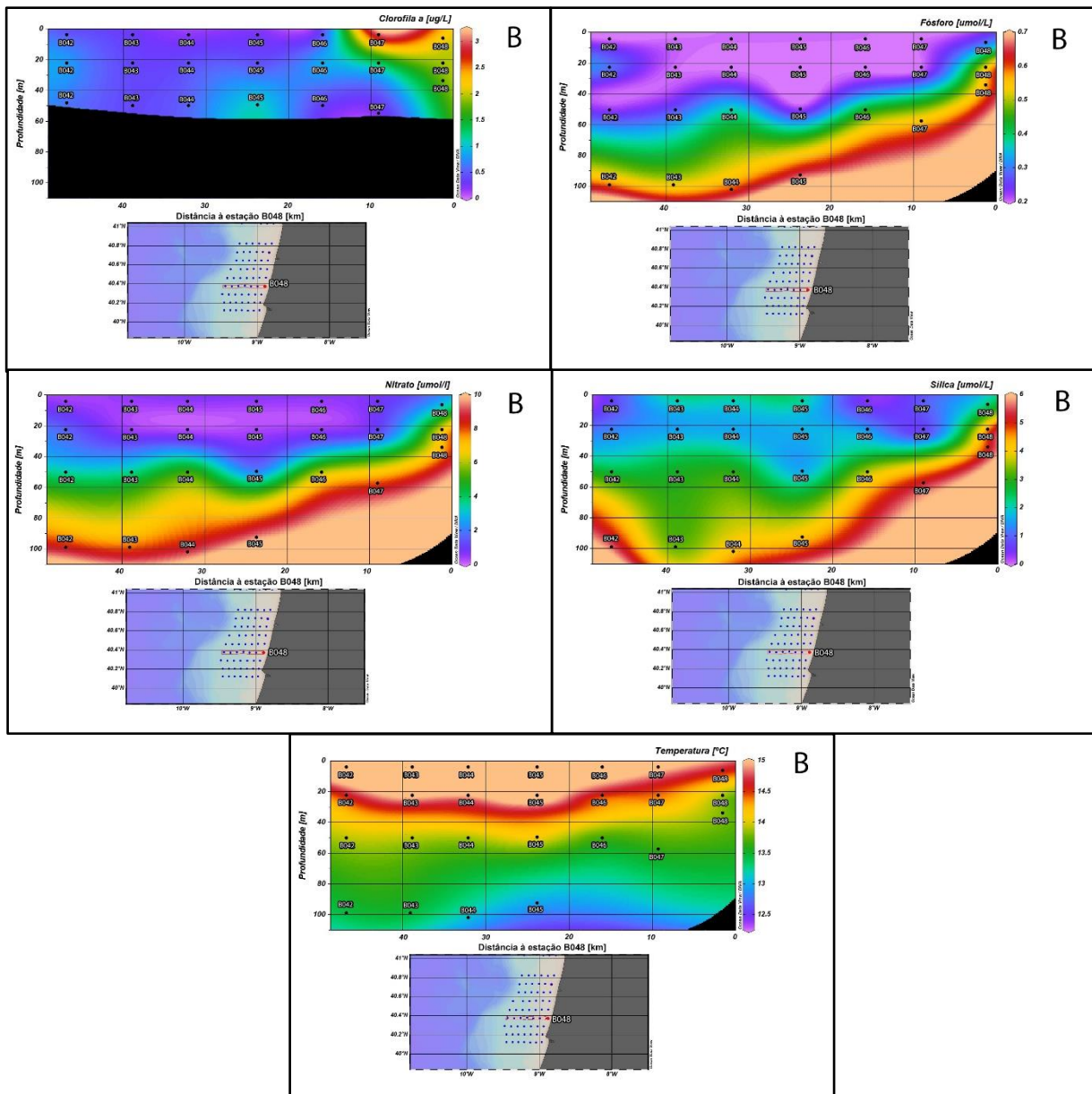
**Figura A52.** Parâmetros em ODV da área C (Estações: C015, C016, C017, C018, C019 e C020) na campanha de outubro de 2018 até, aproximadamente, 50 metros de profundidade.



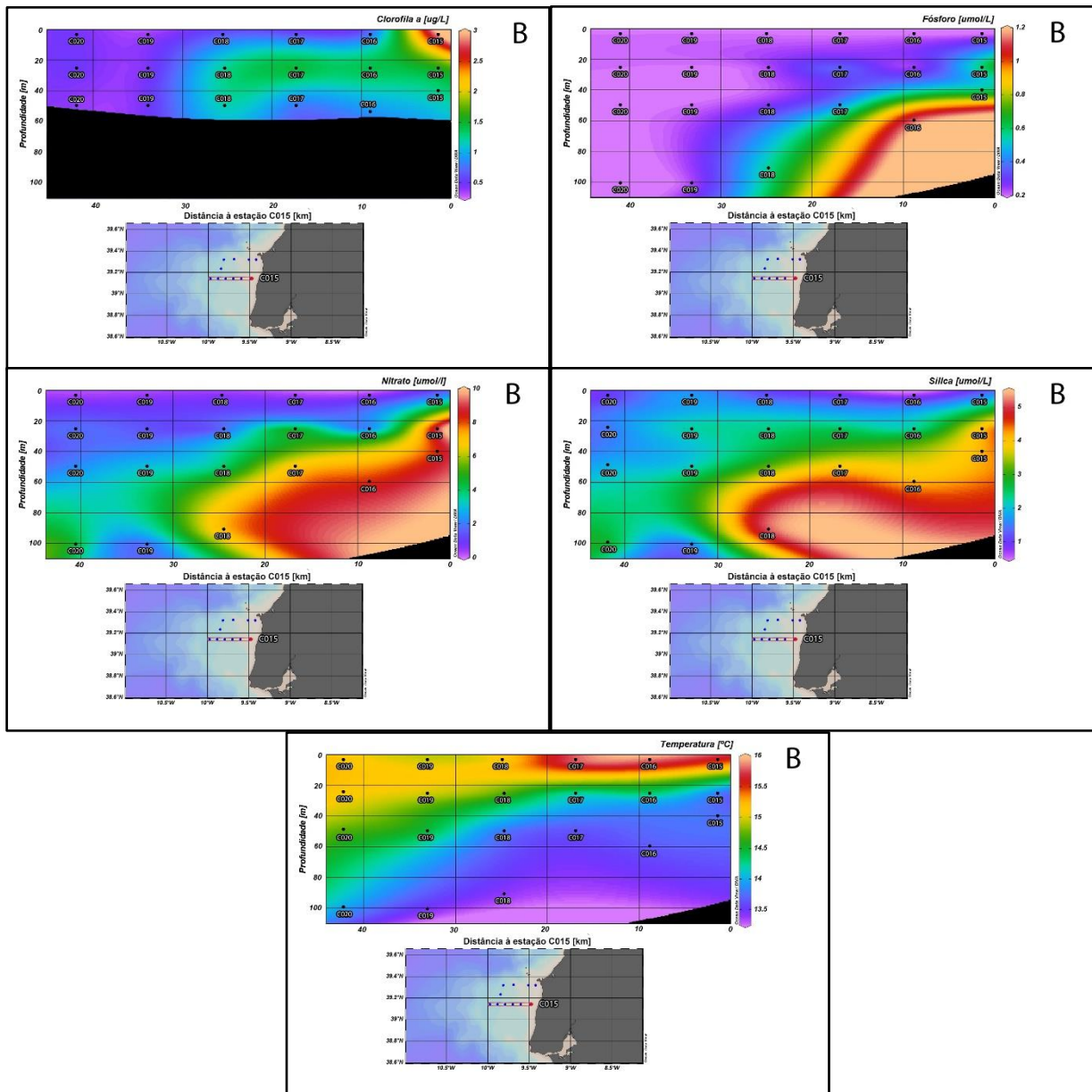
**Figura A53.** Parâmetros em ODV da área D (Estações: D011, D010, D009 e D008) na campanha de outubro de 2018 até, aproximadamente, 50 metros de profundidade.



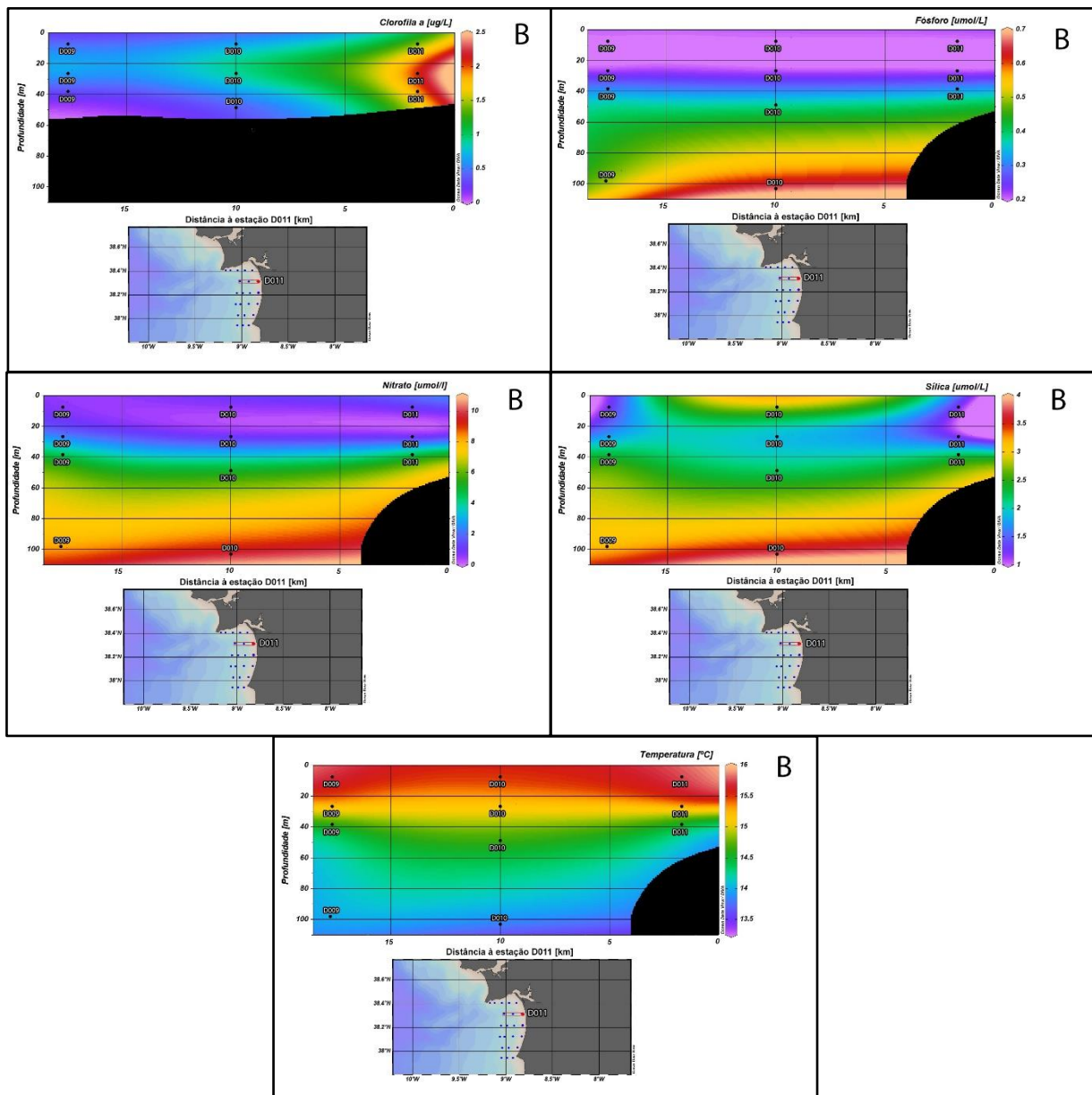
**Figura A54.** Parâmetros em ODV da área E (Estações: E066, E067, E068, E069 e E070) na campanha de outubro de 2018 até, aproximadamente, 50 metros de profundidade.



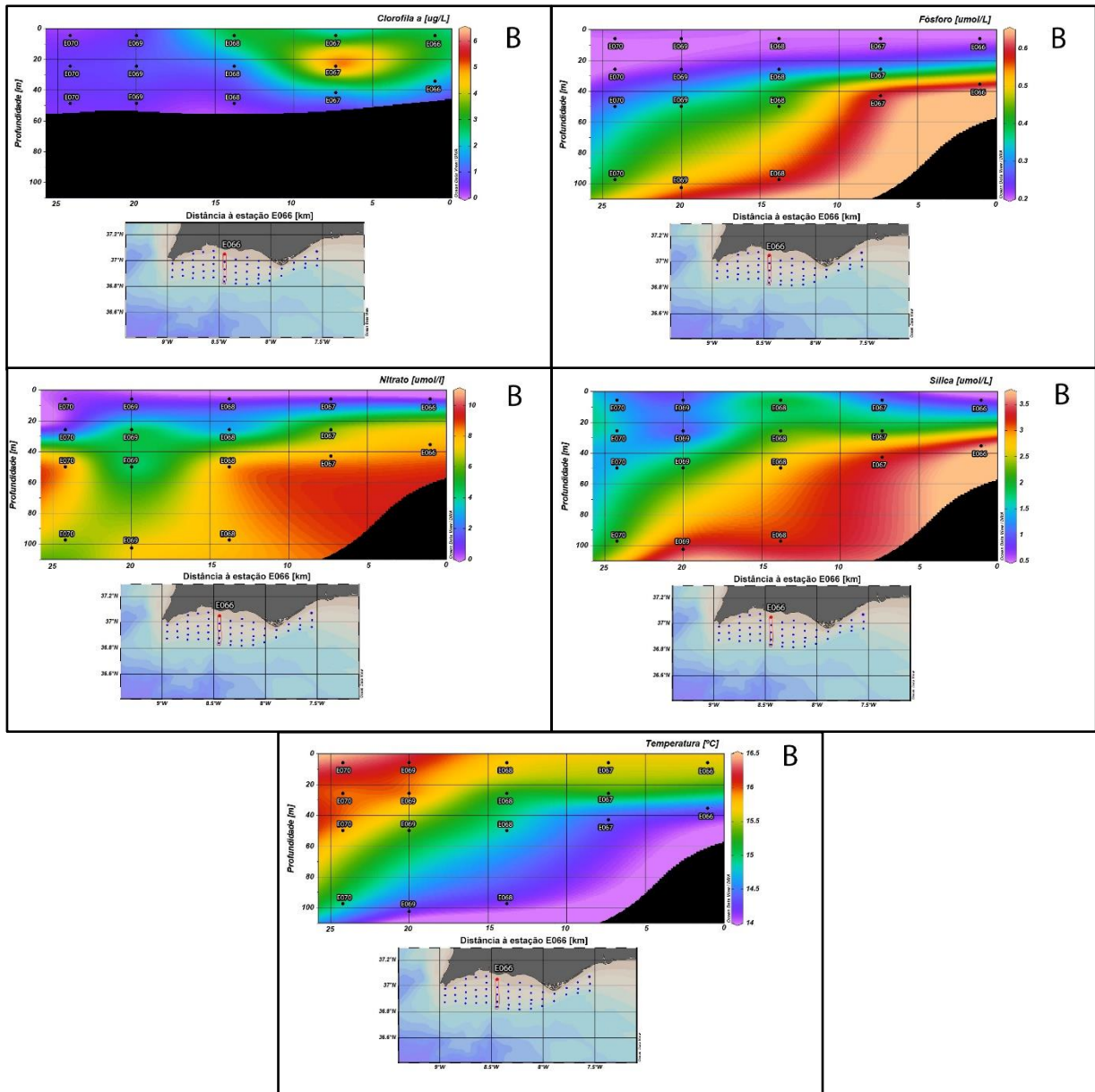
**Figura A55.** Parâmetros em ODV da área B (Estações: B048, B047, B046, B045, B044, B043 e B042) na campanha de abril de 2019 até, aproximadamente, 100 metros de profundidade (excepto clorofila a, onde só foram realizadas colheitas até 50 metros de profundidade).



**Figura A56.** Parâmetros em ODV da área C (Estações: C015, C016, C017, C018, C019 e C020) na campanha de abril de 2019 até, aproximadamente, 100 metros de profundidade (excepto clorofila a, onde só foram realizadas colheitas até 50 metros de profundidade).



**Figura A57.** Parâmetros em ODV da área D (Estações: D011, D010 e D009) na campanha de abril de 2019 até, aproximadamente, 100 metros de profundidade (excepto clorofila a, onde só foram realizadas colheitas até 50 metros de profundidade).



**Figura A58.** Parâmetros em ODV da área E (Estações: E066, E067, E068, E069 e E070) na campanha de abril de 2019 até, aproximadamente, 100 metros de profundidade (Excepto clorofila a, onde só foram realizadas colheitas até 50 metros de profundidade).

## **Anexo B – Lista de Reagentes**

### **Amónia**

- Cloreto de amónio,  $\geq 99.8\%$
- Solução padrão de Amónia, “Certipur”,  $1000 \text{ mg L}^{-1}$
- Tartarato de sódio e potássio, pureza  $99\%$
- Citrato tri-sódico, pureza  $\geq 99\%$
- Ácido sulfúrico,  $\rho=1,84 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $95-97\%$
- Solução de Brij35 ((C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>O) a  $30\%$
- Fenol, pureza  $\geq 99\%$
- Hidróxido de sódio, pureza  $\geq 99\%$
- Solução comercial de hipoclorito de sódio  $5\%$  (lixívia)
- Solução de hipoclorito de sódio  $13\%$
- Nitroprussiato de sódio, pureza  $\geq 99\%$

### **Nitrito**

- Nitrito de Sódio, pureza  $\geq 99\%$
- Cloreto de amónio, pureza  $\geq 99,6\%$
- Amónia,  $\rho=0,91 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 25\%$
- Solução de Brij35 ((C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>O) a  $30\%$
- Ácido ortofosfórico,  $\rho =1,71 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 85\%$
- Sulfanilamida, pureza  $\geq 99\%$
- Diclorohidrato de N-(1-natil)-etilenodiamina, pureza  $\geq 98\%$
- Ácido sulfúrico,  $\rho =1,84 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 95 - 97\%$

### **Nitrato**

- Nitrato de potássio, pureza  $\geq 99\%$
- Cloreto de amónio, pureza  $\geq 99,6\%$
- Amónia,  $\rho=0,91 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 25\%$
- Solução de Brij35 ((C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub>C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>O) a  $30\%$
- Ácido ortofosfórico,  $\rho =1,71 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 85\%$
- Sulfanilamida, pureza  $\geq 99\%$
- Diclorohidrato de N-(1-natil)-etilenodiamina,  $\geq 98\%$
- Ácido sulfúrico,  $\rho=1,84 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 95 - 97\%$

## **Fósforo**

- Dihidrogenofosfato de potássio, pureza  $\geq 99,5\%$
- Antimonitartarato de potássio, pureza  $\geq 99\%$
- Ácido sulfúrico,  $\rho=1,84 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 95 - 97\%$
- Heptamolibdato de amónio, pureza  $\geq 81-83\%$
- Solução de FFD6 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{O}(\text{SO}_3)\text{Na}$ )
- Ácido L(+)-ascórbico, pureza  $\geq 99\%$
- Acetona,  $\rho=0,79 \text{ g L}^{-1}$ , pureza  $\geq 99\%$

## **Sílica**

- Metassilicato de sódio, pureza  $\geq 99,5\%$
- Solução padrão de sílica, "certipur",  $1000\text{mg L}^{-1}$
- Ácido sulfúrico,  $\rho=1,84 \text{ g mL}^{-1}$ , pureza  $\geq 95 - 97\%$
- Heptamolibdato de amónio, pureza  $\geq 81-83\%$
- Ácido L(+)-ascórbico, pureza  $\geq 99\%$
- Ácido oxálico, pureza  $99,5 \%$