

Innovation in Climate  
**INNO**  
**EDU**  
**CO**  **2**  
Change Education

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



**ITINERÁRIO DE FORMAÇÃO  
COM GUIA METODOLÓGICO  
PARA PROFESSORES DE  
E-INNOEDUCO2**



Concelho de Outes



universidade de aveiro  
theoria poiesis praxis



Agrupamento  
de Escolas  
de Aveiro



ALEXANDRU IOAN CUZA  
UNIVERSITY of IAȘI

## AUTORES

Francisco Sónora Luna (Coordenação. Módulos II e III - Universidade de Santiago de Compostela)  
Carlota Barañano (Coordenação científica, enquadramento científico, Módulo I - Universidade de Vigo)  
Emilio Fernández Suárez (Coordenação científica, quadro científico, Módulo I - Universidade de Vigo)  
Gabriel Plavan (Mar Negro - Universidade de Iasi)  
Mircea Nicoara (Mar Negro - Universidade de Iasi)  
Barbara Przygodzka (Mar Báltico - Liceu XXVI de Lodz)

## VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO DAS PROVAS

Aitor Alonso Méndez (IES Lope de Vega)

## DESIGN

Cíntia Alves (Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro - Universidade de Aveiro)

## TRADUÇÃO

Carmen Marques (Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro - Universidade de Aveiro)  
Tomasz Siuta (Liceu XXVI de Lodz)

## DOCUMENTAÇÃO DO MAR BÁLTICO

Liceu XXVI de Lodz (Polónia)

## DOCUMENTAÇÃO DO MAR NEGRO

Universidade Alexandru Ioan Cuza din Iasi (Roménia)

## ILUSTRAÇÃO

Jorge Villanueva  
Iván Rodríguez Arós de “Esfenodón”

## FOTOGRAFIA

Pedro García Losada  
Plataformas Freepik e Pixabay

O apoio da Comissão Europeia a esta publicação não constitui uma aprovação do seu conteúdo, que reflecte apenas as opiniões dos autores, e a Comissão não pode ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita da informação nela contida.

ISBN:

Edición: Edicións USC © Universidade de Santiago de Compostela, 2023

E-InnoEduCO<sub>2</sub> | ONE HEALTH e-learning escola educação científica | 2020-1-ES01-KA226-SCH-095765

## ÍNDICE

### MÓDULO 1: ITINERÁRIO DE FORMAÇÃO DE BASE CIENTÍFICA, COM GUIA METODOLÓGICO

---

#### 1. O contexto ambiental

**1.1** Saúde dos ecossistemas e bem-estar humano

**1.2** Estrutura, função, serviços e benefícios dos ecossistemas

**1.3** Impactos antropogénicos e degradação da prestação de serviços ecossistémicos

#### 2. Ecossistemas de ervas marinhas

**2.1** O que são os prados de ervas marinhas?

**2.2** Evolução e adaptações das fanerogâmicas marinhas

**2.3** Reprodução

**2.4** Serviços ecossistémicos das ervas marinhas

**2.5** Impactos e ameaças

#### 3. Estudos de casos

**3.1** Região de afloramento do Atlântico Noroeste (Galiza)

**3.2.1** Características oceanográficas

**3.2.2** Forças motrizes e pressões antropogénicas

**3.2.3** Atlântico Noroeste: elevada produtividade e exploração dos recursos marinhos

**3.2.4** Exploração de recursos e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas

**3.2** Mar Báltico

**3.1.1** Características oceanográficas

**3.1.2** Mar Báltico: processos de eutrofização

**3.1.3** Eutrofização e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas

**3.3** Mar Negro

**3.3.1** Características oceanográficas

**3.3.2** Forças motrizes e pressões antropogénicas

**3.3.3** Infraestruturas costeiras e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas

## MÓDULO 2: INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA PARA A APLICAÇÃO DIDÁTICA

---

**1.** Descrição do potencial para demonstrar a capacidade das ervas marinhas para melhorar a saúde humana

**1.1** Questão-problema 1: Pode a *Zostera* ajudar a reduzir as toxinas causadas pelas marés vermelhas?

**1.2** Questão-Problema2: As algas invasoras das ervas marinhas podem afetar a atividade inibidora dos dinoflagelados?

**1.3** Questão-problema 3: Pode a *Zostera* ajudar a reduzir as bactérias patogénicas?

**2.** Descrição do potencial da discussão sobre a influência da retenção de carbono pelas pradarias de *Zostera* (função carbono azul) com o objetivo de reduzir as alterações climáticas

**2.1** Questão-problema 4: As zonas vegetadas protegidas da pesca de marisco na parte superior da zona intertidal de teste (Ría de Muros e Noia) têm uma maior capacidade de captura de matéria orgânica do que as zonas não protegidas?

## MÓDULO 3: GUIA DIDÁTICO PARA A DISCUSSÃO NOS INQUÉRITOS CIENTÍFICOS ESCOLARES SOBRE AS RESPOSTAS ÀS ALTERAÇÕES GLOBAIS

---

**1.** Desenvolvimento do trabalho de campo

**1.1** Contextualização para o conhecimento situado

**1.2** Organização da atividade experimental

**1.3** Abundância e diversidade da fauna, número de pés de *Zostera* que permitirão o cálculo laboratorial da biomassa (peso seco)

**1.4** Abundância de *Zostera*: cobertura

**2.** Desenvolvimento da atividade laboratorial

**2.1** Tratamento e resultados da biodiversidade e da biomassa recolhida em sacos

**2.2** Resultados sobre a matéria sedimentar em parcelas vegetadas e não vegetadas nos níveis superior, médio e inferior



## MÓDULO 3: GUIA DIDÁTICO PARA A DISCUSSÃO/ABORDAGEM NOS INQUÉRITOS CIENTÍFICOS ESCOLARES, SOBRE AS RESPOSTAS ÀS ALTERAÇÕES GLOBAIS

---

### 3. Discussão no grupo

#### 3.1 Contexto do intercâmbio de informações

#### 3.2 Dados e sua análise

#### 3.3 Análise dos resultados extraídos das notas de campo

**3.3.1** Argumentação e modelação da relação entre o coberto vegetal e a biodiversidade

**3.3.2** Argumentação e modelação da capacidade de filtração e da sua relação com o pH

**3.3.3** Abordagem e modelação da capacidade dos prados para atuar como sumidouros de CO<sub>2</sub>

#### 3.4 Conclusões

## BIBLIOGRAFIA

---

## MÓDULO 1: ITINERÁRIO DE FORMAÇÃO DE BASE CIENTÍFICA COM GUIA METODOLÓGICO

---

Este itinerário de formação divide-se em duas partes, a primeira estrutura as bases científicas para a transposição didática, um guia metodológico que expressa a transposição didática destas bases científicas.

Este percurso de formação baseia-se nos conceitos de estrutura ecosistémica como determinante da função ecosistémica e da prestação de serviços ecosistémicos, também designados por benefícios derivados da natureza. Centra-se na relação entre a prestação de serviços ecosistémicos, a saúde destes ecossistemas e os benefícios para o bem-estar humano, incluindo a saúde humana.

Está estruturado em quatro secções principais:

1. Contexto ecológico,
2. Ecossistemas de ervas marinhas,
3. Três estudos de caso: Inundação do Atlântico Noroeste, Mar Báltico, Mar Negro
4. Descrição das atividades de formação para cada estudo de caso

## 1. CONTEXTO AMBIENTAL

### 1.1 SAÚDE DOS ECOSISTEMAS E BEM-ESTAR HUMANO

---

A convicção de que a obtenção de um nível satisfatório de saúde nas sociedades humanas actuais exige uma abordagem interdisciplinar e, por conseguinte, complexa, tornou-se particularmente generalizada nas últimas décadas. O conceito de “Uma Só Saúde” tornou-se um elemento central das políticas de saúde pública na maioria dos países, geralmente em resposta a algumas das emergências de saúde pública que causaram zoonoses, como as associadas aos vírus H1N1, Ébola ou Zika. A abordagem “Uma Só Saúde” visa alcançar uma saúde humana, animal e ambiental óptima através dos esforços de colaboração de várias disciplinas que trabalham a nível local, nacional ou global. Embora se tenha tornado muito popular hoje em dia, o conceito não pode ser considerado novo. Já no século XIX, o patologista alemão Rudolf Virchow demonstrou o seu interesse pela relação entre a medicina humana e veterinária ao cunhar o termo “zoonose”.

Algumas décadas mais tarde, em 1964, o Dr. Calvin Schwabe utilizou o termo “One medicine” no seu livro de medicina veterinária e humana. Mas foi na viragem do século XXI, em 2004, que os Doze Princípios de Manhattan foram publicados, proclamando a necessidade de uma abordagem interdisciplinar à prevenção de doenças, incluindo a transferência de doenças entre humanos, animais e o ambiente natural. Desde então, inúmeros eventos marcaram o desenvolvimento do conceito, culminando com a publicação, em 2008, do documento “Contributing to “One World, One Health: A Strategic Framework for Reducing Infectious Disease Risks at the Interface between Animals, Humans and Ecosystems””, subscrito por representantes de mais de 120 países e 26 organizações internacionais e regionais. Desde este momento marcante, o desenvolvimento do conceito e a implementação da sua aplicação têm prosseguido com um amplo consenso entre os países. A Declaração de Hanói, a Nota Conceptual Tripartida e as recomendações das Nações Unidas, do Banco Mundial e da União Europeia são disso exemplo.



Abordagem ONE HEALTH (Fonte: ISGlobal)

O ambiente desempenha um papel central nas doenças mediadas por animais. Atua como um reservatório no qual as substâncias se acumulam e são transportadas e medeia a transferência de doenças para os seres humanos. Assim, há cada vez mais provas que apontam para o papel crucial do ambiente no bem-estar físico e mental dos seres humanos. A abordagem “One Health” baseia-se, por conseguinte, na tríade saúde humana, saúde animal e saúde do ecossistema, da qual o último termo é mais frequentemente esquecido, como o demonstra a sua ausência num número significativo de documentos políticos, embora esta situação esteja a mudar rapidamente. O papel relevante do ambiente no conceito “One Health” tornou-se evidente através do estudo de dois fenómenos que se estão a tornar particularmente visíveis hoje em dia: a resistência aos antibióticos e as alterações climáticas. O caso das alterações climáticas é paradigmático neste contexto, uma vez que comprometem a integridade dos sistemas vivos ao provocarem alterações nos ciclos de vida dos agentes patogénicos, dos seus vectores e dos organismos hospedeiros, ao favorecerem o desenvolvimento de novas doenças emergentes em plantas e animais, ao favorecerem cascatas tróficas, ao afectarem as interações interespecíficas e pela sua capacidade de alterar os habitats. Consequentemente, torna-se claro que a abordagem “Uma Só Saúde” exige uma compreensão aprofundada do funcionamento dos ecossistemas, incluindo a estrutura física, a biodiversidade, a dinâmica temporal e espacial, as interações entre espécies, os ciclos de retroação espécie-ambiente e os fluxos de materiais e de energia.

Durante milénios, os sistemas naturais ajudaram a proporcionar as condições adequadas para o desenvolvimento de muitas culturas, fornecendo alimentos, água e energia ou eliminando resíduos. No entanto, a própria atividade humana afectou os ecossistemas de tal forma que a ligação entre o ambiente e a saúde animal e humana é quebrada por processos antropogénicos que causam a degradação dos ecossistemas, como as alterações na utilização dos solos. Perda de biodiversidade ou alterações climáticas e poluição.

Atingir o equilíbrio certo entre o desenvolvimento socioeconómico e a proteção do ambiente tornou-se um objetivo fundamental para alcançar um bom estado ambiental numa perspetiva de “One Health”.

## 1.2 ESTRUTURA, FUNÇÃO, SERVIÇOS E BENEFÍCIOS DO ECOSISTEMA

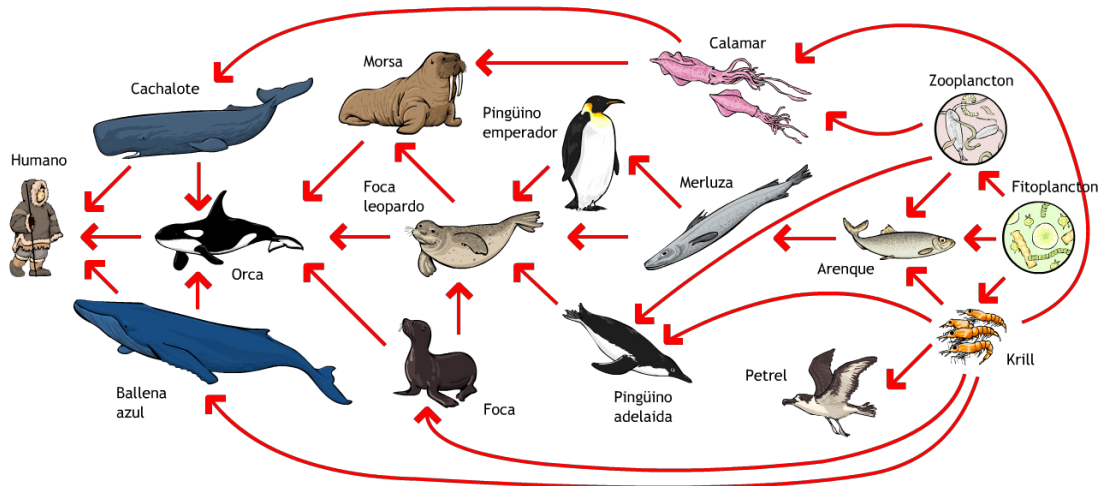
Desde os primeiros momentos das sociedades humanas na Terra, estas têm interagido com o seu ambiente para satisfazer as suas necessidades de alimentação, abrigo ou mesmo cultura ou rituais sagrados. Nas últimas décadas, a combinação do crescimento da população humana e, mais importante, o desenvolvimento tecnológico que esta espécie gerou, levou a um aumento maciço da sua capacidade de transformar o seu ambiente. Atualmente, cerca de três quartos da superfície terrestre são ocupados por territórios geridos pelo homem, sejam eles terras agrícolas, florestas, zonas residenciais, etc. Por conseguinte, é cada vez mais necessário abordar o papel do homem na natureza de uma perspetiva holística, tendo em conta não só o impacto direto do homem nos ecossistemas, mas também a complexa teia de interações que está na base do seu funcionamento. Compreender o funcionamento dos ecossistemas e avaliar os serviços e benefícios que deles derivam é agora essencial se quisermos gerir a nossa presença no planeta numa perspetiva de “uma só saúde”.

O ecossistema é a unidade estrutural e funcional da ecologia em que os organismos interagem entre si e com o meio físico que os rodeia. Cada ecossistema é constituído por uma componente física, o chamado biótopo, ou seja, a água, o solo, os sedimentos, o ar, etc. No topo desta estrutura física de suporte está a componente biológica, a biocenose, constituída por organismos vivos, que agrupados em populações de diferentes espécies formam comunidades.

Um ecossistema pode ser caracterizado com base em variáveis que fornecem informações sobre o seu estado. Assim, no caso da componente física, variáveis como a temperatura, a salinidade, a turbidez, a humidade, etc., permitem definir as condições ambientais em que se desenvolvem os organismos vivos. O estado das populações e comunidades pode também ser caracterizado por variáveis como a abundância, o tamanho ou a estrutura etária, a taxa de crescimento da população, a estrutura espacial, a riqueza de espécies ou a diversidade ecológica. Todas estas variáveis permitem descrever a estrutura dos ecossistemas, fornecendo conhecimentos que, embora muito importantes, apenas ilustram parcialmente a realidade destes ecossistemas.

Por um lado, as espécies que constituem a comunidade biológica não são partes estáticas do mecanismo do ecossistema. Pelo contrário, cada uma dessas partes interage com as outras através de uma vasta gama de processos conhecidos como relações interespecíficas, incluindo competição, predação, facilitação, mutualismo e parasitismo. Por outro lado, a comunidade biológica de um ecossistema, como qualquer agrupamento de seres vivos, necessita de um fluxo contínuo de energia que leva à síntese de compostos orgânicos reduzidos a partir de matéria inorgânica, por vezes oxidada, e à circulação desta matéria através de redes de interações baseadas em processos de predação ou de degradação da matéria orgânica morta. Esta abordagem do estudo dos ecossistemas inclui também variáveis que ilustram o seu funcionamento. Estas incluem a produção primária, que representa a taxa de produção de matéria orgânica por organismos fotossintéticos, a produção secundária, ou seja, a taxa de produção de matéria orgânica por organismos heterotróficos, ou a taxa de remineralização, ou seja, a transformação de compostos orgânicos em compostos inorgânicos, principalmente ligada à ação da componente microbiana. Estas variáveis referem-se às funções que os ecossistemas desempenham em resultado das interações ecológicas entre os organismos vivos e entre os organismos vivos e o meio físico. As funções dos ecossistemas referem-se, portanto, aos processos pelos quais os ecossistemas trocam matéria, energia e informação com o ambiente físico.





*Estrutura da teia alimentar de um ecossistema*

A existência destas funções ecológicas num determinado território tem consequências que podem ser traduzidas em serviços que, por sua vez, geram benefícios, alguns dos quais têm valor económico, enquanto outros são recebidos pela sociedade como valores. De acordo com a definição da “Avaliação Ecosistémica do Milénio” das Nações Unidas, os serviços ecosistémicos são os benefícios que os ecossistemas proporcionam para que as pessoas realizem todo o seu potencial.

Assim, por exemplo, se considerarmos a vegetação ripícola, caracterizada por uma estrutura comunitária que desenvolve uma série de processos biofísicos, podemos identificar uma série de funções ecológicas, como a captação de água, a evapotranspiração e a retenção de sedimentos e nutrientes. Estas funções, que operam independentemente da vontade humana, resultam na prestação de um serviço que, neste caso, seria o fornecimento de água de qualidade, um serviço que se traduz diretamente num benefício para as pessoas sob a forma de um abastecimento de água potável com valor económico direto (Figura 3).

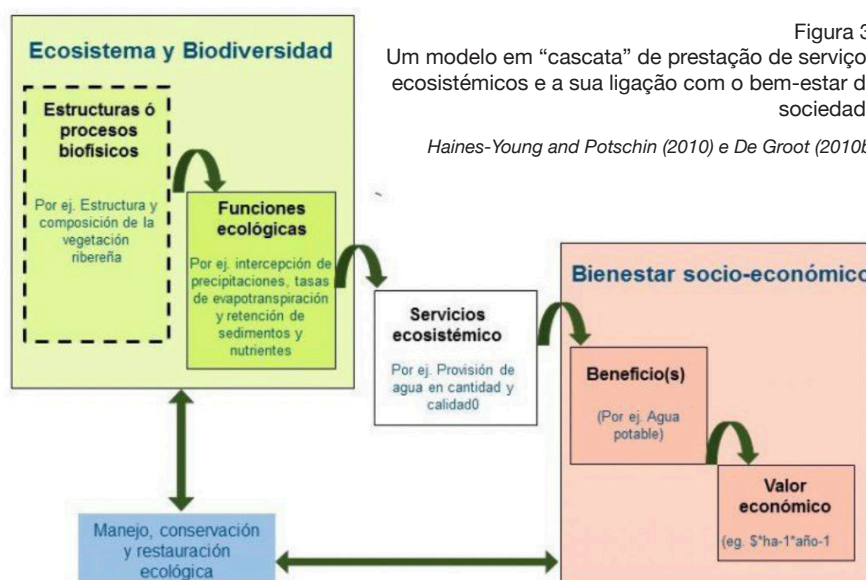


Figura 3:  
Um modelo em “cascata” de prestação de serviços ecossistémicos e a sua ligação com o bem-estar da sociedade

Haines-Young and Potschin (2010) e De Groot (2010b)

A ação humana tem um efeito sobre o ecossistema, quer afectando a sua estrutura ou as suas funções, ou ambas, através da sua utilização e gestão. Este efeito pode tornar-se um impacto negativo ou pode ter um efeito positivo através de regulamentos destinados a conservar os ecossistemas ou a implementar acções de recuperação.

A abordagem ecossistémica baseada na análise da prestação de serviços proporciona uma visão integrada da interação homem-natureza, permitindo a incorporação das múltiplas componentes subjacentes à dependência das sociedades humanas em relação aos ecossistemas. Para muitas destas componentes, a prestação de serviços é um dado adquirido, como por exemplo no caso da qualidade do ar ou da água ou da capacidade de armazenamento de carbono, e o seu valor é geralmente ignorado.

Em geral, são considerados quatro tipos de serviços ecossistémicos: serviços de aprovisionamento, de regulação, de apoio e culturais. Os serviços de aprovisionamento fornecem produtos específicos que as pessoas extraem do ambiente natural, como a madeira, os alimentos, as matérias-primas ou os produtos farmacêuticos. Os serviços de regulação e de apoio referem-se aos processos básicos que asseguram o funcionamento do ecossistema, como a troca de gases entre a componente biótica e a atmosfera ou a água, ou a capacidade de purificar compostos nocivos.



Estes dois tipos de serviços são por vezes designados por serviços de regulação, dada a dificuldade de os separar em muitos casos. Por último, os serviços culturais são aqueles que têm em conta os valores intrínsecos da natureza, os valores paisagísticos, o património cultural e todas as manifestações do turismo no meio natural

Ilustração 4: Relação entre os serviços ecosistémicos classificadas por tipologia.

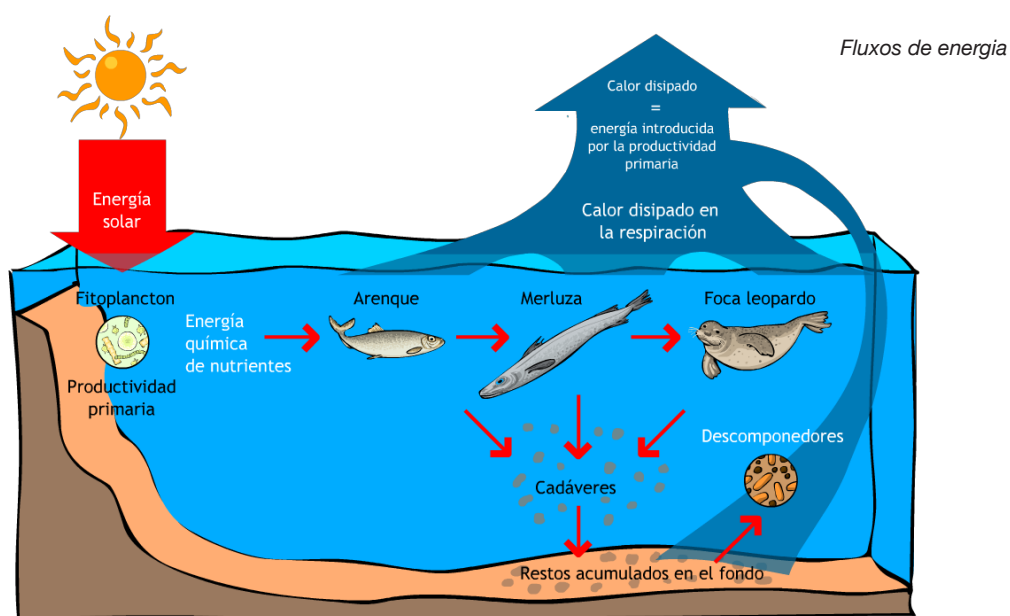
Obtido do WWF



A abordagem dos serviços ecosistémicos permite abordar mais eficazmente os vários trade-offs que normalmente têm de ser resolvidos na tensão entre a utilização da natureza para benefício humano e a manutenção da sua funcionalidade.

Recentemente, a Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistémicos (IPBES), que pode ser considerada o equivalente do IPCC para a biodiversidade (<https://www.ipbes.net>), reviu o quadro concetual para os serviços ecosistémicos que emergiu da Avaliação Ecosistémica do Milénio para se concentrar em duas questões importantes. Por um lado, reconhecendo e reforçando o papel central da cultura na definição das ligações entre as pessoas e a natureza e, por outro, elevando o papel do conhecimento local e indígena na compreensão da relação entre a natureza e as pessoas. Como resultado desta análise, surgiu o novo termo “contributo da natureza para a humanidade” (PCN), que é definido como todos os contributos, tanto positivos como negativos, da natureza viva (por exemplo, diversidade de organismos, ecossistemas e processos ecológicos e evolutivos associados) para a qualidade da vida humana.

Os impactos humanos nos ecossistemas podem ser de natureza muito diversa. Podem afetar a componente abiótica, alterando a estrutura dos substratos sólidos (solos, rochas, sedimentos) ou dos envelopes fluidos (ciclo hidrológico, qualidade da água ou composição atmosférica). Podem também alterar a componente biótica, alterando a estrutura, a biodiversidade, as interações interespecíficas, a estrutura trófica, etc., ou as funções, os fluxos de energia, as taxas de movimento da matéria, etc. Em qualquer um destes casos, as alterações no ecossistema resultarão em mudanças positivas ou negativas na prestação de serviços ecosistémicos e, por conseguinte, nos benefícios potenciais que os seres humanos podem retirar da natureza.



A gestão da conservação dos ecossistemas tem por objetivo manter a integridade dos ecossistemas. A integridade biótica é entendida como a presença de todos os elementos de um ecossistema na densidade adequada, incluindo os processos nas suas taxas adequadas. Em geral, refere-se ao estado de um ecossistema em relação a um estado de referência, o seu estado natural. A integridade do ecossistema (por vezes referida como saúde do ecossistema) inclui o termo integridade biótica, mas também se estende aos processos físicos e químicos. É avaliada com base nas funções do ecossistema, como a produtividade ou as taxas de remineralização. Esta abordagem não parte de uma perspetiva estática, em que o ecossistema não se altera ao longo do tempo ou do espaço, mas incorpora a variabilidade espaço-temporal como uma componente da própria integridade do ecossistema. Mesmo os impactos antropogénicos, na medida em que os seres humanos fazem parte da componente biótica do ecossistema, podem ser considerados como parte da sua dinâmica.

Nesta perspetiva, em que as mudanças e os impactos são uma parte intrínseca do ecossistema, as ações de conservação devem ter como objetivo manter a capacidade dos ecossistemas para recuperarem dos impactos. A esta capacidade de voltar ao estado inicial após uma perturbação provocada por um impacto chamamos resiliência. Ao contrário dos sistemas mecânicos, os sistemas ecológicos podem apresentar mais do que uma gama de estabilidade, e a resiliência é a propriedade que medeia entre estes estados. Foram descritos numerosos exemplos de transições de estado em diferentes tipos de ecossistemas, desde prados áridos e semi-áridos a lagos, florestas, recifes de coral, prados de macroalgas, etc. Em todas estas áreas, a resiliência ecológica é mantida pela capacidade destes sistemas de readaptar a biodiversidade estrutural e funcional em resposta ao stress ambiental causado por perturbações. A manutenção desta capacidade de adaptação que assegura a resiliência ecológica é essencial para manter a funcionalidade dos sistemas naturais sob influência antropogénica.



### 1.3. IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS E DEGRADAÇÃO DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÉMICOS

A atividade humana há muito que afecta os ecossistemas aquáticos, causando impactos negativos na qualidade da água e no estado ecológico. Em muitas partes do mundo, e particularmente na União Europeia, foram tomadas medidas drásticas nas últimas décadas para reduzir a entrada de águas residuais no meio aquático. No entanto, as alterações hidromorfológicas, a eutrofização e a perda de biodiversidade continuam a ser problemas importantes, tanto na Europa como, sobretudo, noutras partes do mundo. Estes impactos impedem que os nossos sistemas aquáticos atinjam um “bom estado ecológico”, tal como definido pela Diretiva-Quadro da Água da UE.



*Introdução de águas residuais no meio aquático*

Numerosos estudos ilustram a degradação dos ecossistemas da Terra. Alguns deles mostram que 75% da superfície do planeta é afetada, em certa medida, pela ação humana. As Nações Unidas estimam que 20% da superfície terrestre foi degradada entre 2000 e 2015. Cerca de 60% dos oceanos enfrentam impactos cumulativos decorrentes das alterações climáticas, da sobre-exploração dos recursos, da poluição ou da navegação. A degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos ameaça o bem-estar de mais de 3 mil milhões de pessoas. As alterações dos habitats naturais causadas pelas actividades humanas são uma das principais ameaças à biodiversidade e comprometem a prestação de serviços ecossistémicos e os benefícios associados para as sociedades humanas.

O valor destes serviços é frequentemente ignorado. Este facto deve-se frequentemente à falta de conhecimentos científicos suficientes sobre os mesmos. Mas ignorar os contributos que a natureza dá às pessoas é ignorar a existência da estrutura que sustenta a própria sociedade.



*Limpeza da costa galega do derrame de petróleo resultante do acidente do Prestige em dezembro de 2002*

A preocupação crescente com a perda de serviços ecossistémicos leva ao seu estudo através da sua quantificação e representação no espaço, uma vez que o conhecimento da sua magnitude e distribuição no espaço e no tempo deve tornar-se um instrumento fundamental na gestão dos ecossistemas, o que deverá ser útil na conceção e aplicação de uma vasta gama de políticas. Mas a aceitação destas políticas, e portanto a sua eficácia, depende inevitavelmente do conhecimento público dos mecanismos pelos quais os ecossistemas fornecem serviços e através dos quais estes são transformados em benefícios para a sociedade. Em suma, é uma prioridade para a sociedade compreender o papel dos ecossistemas na Saúde Única.

Nas seções seguintes, centraremos a nossa atenção num ecossistema marinho específico que está amplamente representado em todos os mares europeus: os ecossistemas de ervas marinhas.

Em primeiro lugar, serão descritas as características gerais mais relevantes dos prados de ervas marinhas e, em seguida, serão estudadas as principais características de três regiões marinhas europeias, todas elas habitadas por espécies de ervas marinhas do género *Zostera*: a costa noroeste da Península Ibérica, afetada pelo processo de subida das águas, o Mar Báltico e o Mar Negro. Os impactos antropogénicos nas pradarias de ervas marinhas destas três regiões são de natureza muito diferente. A exploração dos recursos conquícolas associada a uma produtividade elevada afecta negativamente as pradarias de ervas marinhas da região atlântica. No mar Báltico, a eutrofização tem o maior impacto negativo nestes ecossistemas, ao passo que no mar Negro, a maior ameaça para as pradarias de ervas marinhas provém da introdução de poluentes persistentes.

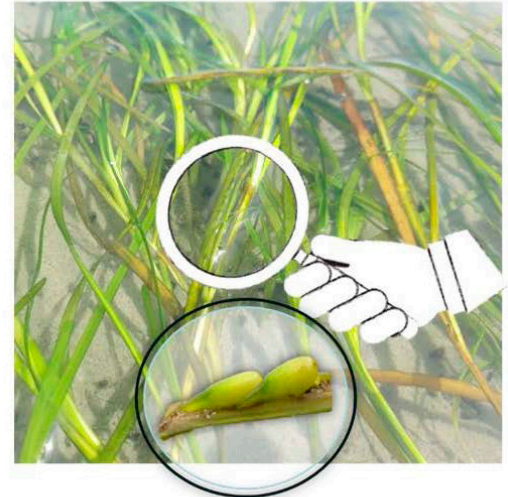
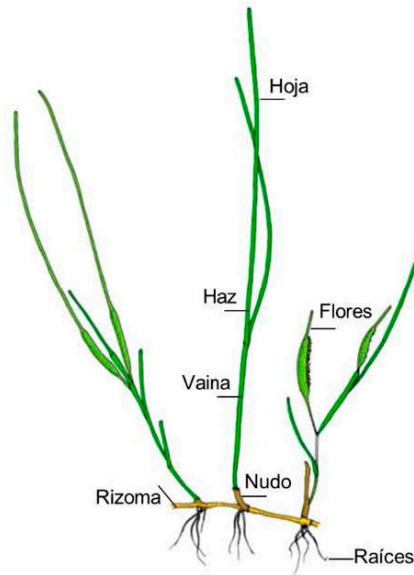
## 2. ECOSISTEMAS DE ERVAS MARINHAS

### 2.1 O QUE SÃO OS PRADOS DE ERVAS MARINHAS?

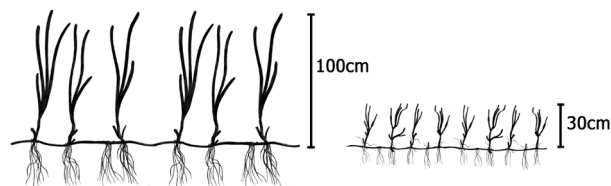
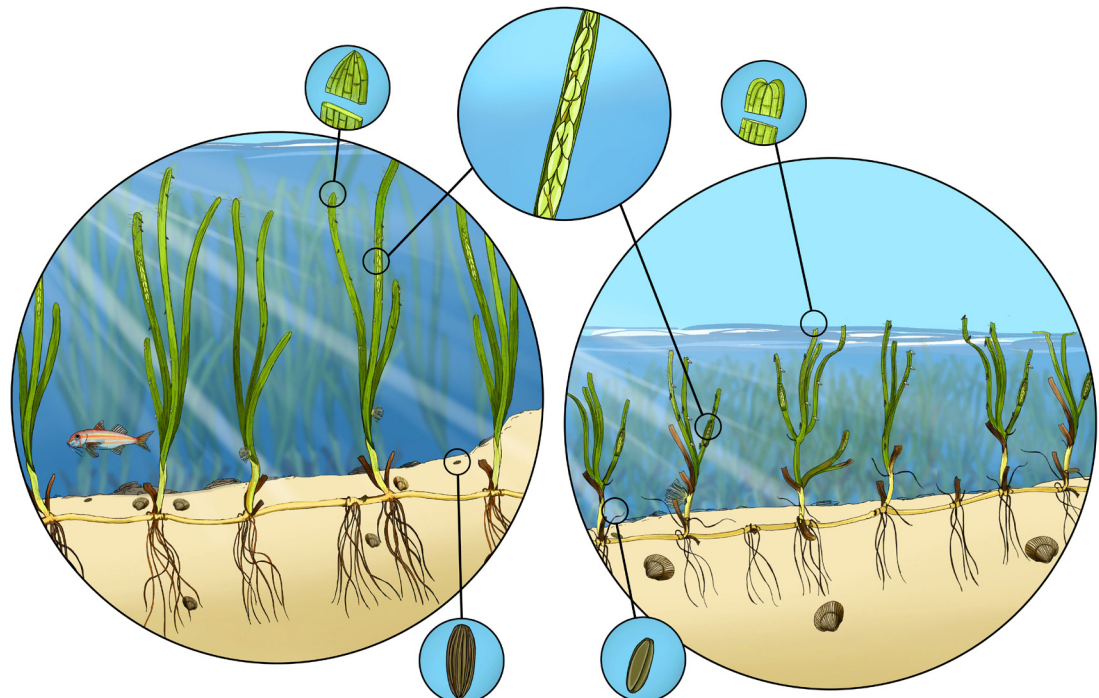
As ervas marinhas são constituídas por plantas com flores, ou seja, angiospérmicas. São plantas modulares com uma estrutura clonal, composta por unidades que se repetem. Cada unidade é constituída por um conjunto de módulos: um rizoma, a partir do qual cresce para cima um tufo de folhas, chamado “feixe”, e as raízes para baixo. Além disso, as unidades podem conter flores ou frutos, consoante o período de observação (abril a agosto). As folhas têm forma de agulha. Na base das folhas encontra-se a bainha que agrupa as folhas em cachos e as liga ao rizoma através dos nós.

As ervas marinhas crescem tanto vertical como horizontalmente (as folhas estendem-se para cima e as raízes estendem-se para baixo e para os lados). Propagam-se tanto por crescimento clonal assexuado como por reprodução sexuada, com flores ou inflorescências, geralmente discretas, que produzem frutos e sementes.





Morfología e biología de *Zostera*  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)



Estruturas reprodutoras  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)

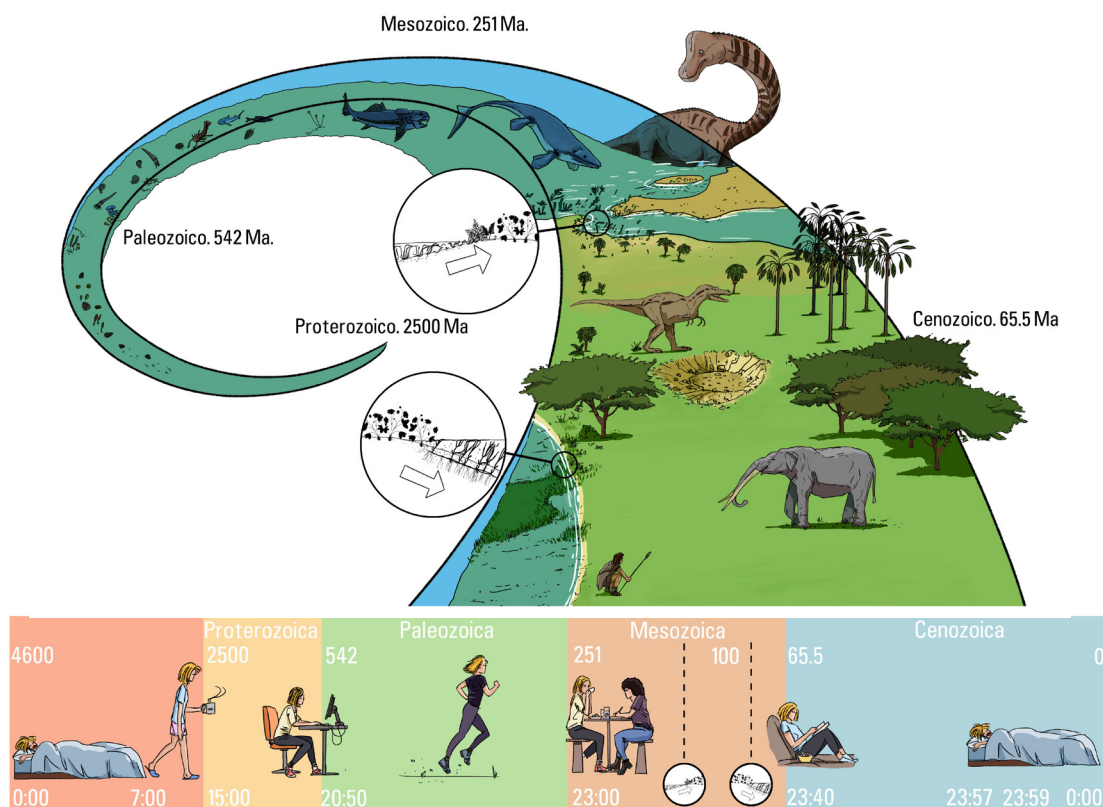
O aspeto dos prados muda ao longo do ano, com um ciclo sazonal marcado por variações anuais de luz e temperatura. Para fazer face a estas variações de nutrientes e de luz, as plantas armazenam uma parte do carbono que fixam através da fotossíntese sob a forma de reservas de amido no rizoma. No inverno, a água é mais fria e geralmente mais turva devido às tempestades. Assim, tal como nas florestas de folha caduca, a planta mantém apenas as folhas mais curtas e jovens e começa a crescer lentamente, utilizando as reservas armazenadas no verão anterior.

Na primavera, quando os dias se tornam mais longos, as plantas beneficiam de níveis mais elevados de radiação solar para fazer a fotossíntese. O sol aquece as águas superficiais e os prados crescem rapidamente. As folhas mais jovens são de um verde profundo e são progressivamente colonizadas por uma sucessão de organismos diferentes que se instalam nelas, organismos a que chamamos epífitas. Por sua vez, as folhas mais velhas estão mais cobertas de epífitas do que as mais novas, porque estão colonizadas há mais tempo. No final do verão e no início do outono, o prado começa a envelhecer.

## 2.2 EVOLUÇÃO E ADAPTAÇÕES DAS FANEROGÂMICAS MARINHAS

Há cerca de 140-100 milhões de anos, no tempo dos grandes dinossauros, algumas algas verdes começaram a colonizar timidamente a água doce e apareceram em terra e, no processo, desenvolveram adaptações que lhes permitiram viver em ambientes terrestres. Para se adaptarem aos novos ambientes, estas plantas desenvolveram compostos como a lenhina e estruturas para se manterem de pé no ar, um meio muito menos denso do que a água. O desenvolvimento de novas adaptações à vida em terra permitiu-lhes extrair água do solo e fazê-la circular por toda a planta (raízes e vasos) e evitou que os gametófitos e os esporos secassem.



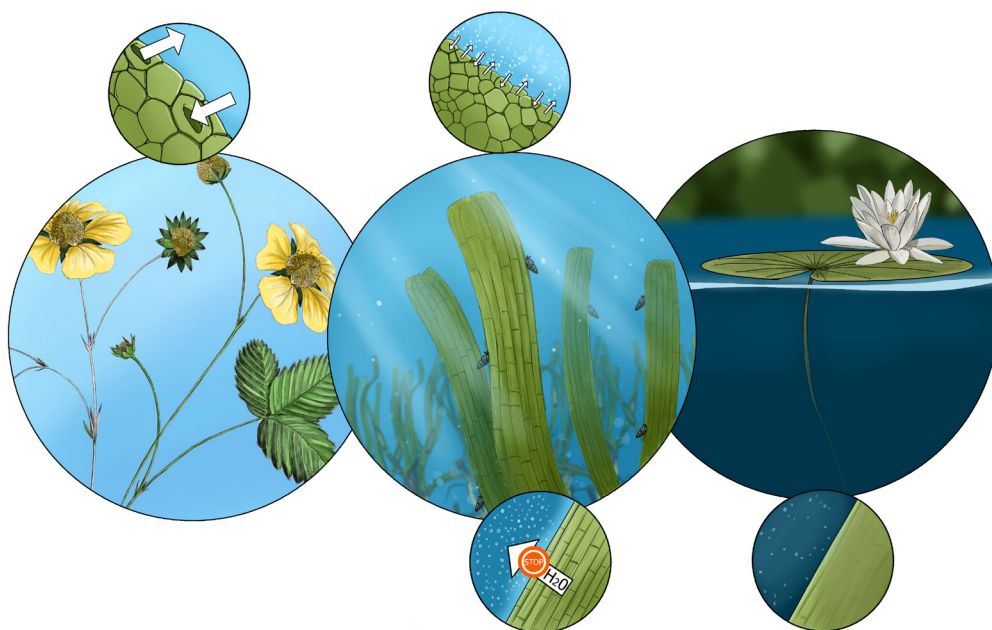


Localização da idade dos dinossauros no tempo geológico (Recuperado de Barañano et al., 2021).

Assim, as plantas superiores viviam nos continentes, enquanto as algas ocupavam os mares, os oceanos, os lagos e os rios. O mar era o reino indiscutível das algas. Mas estas plantas encontraram nos ecossistemas costeiros uma oportunidade de colonização num espaço sem concorrência para crescer. No entanto, este novo ambiente exigia novas adaptações à vida marinha, que derivavam de estruturas previamente desenvolvidas no meio terrestre, como raízes, rizomas ou flores.

A vida submersa num ambiente aquoso e salino apresenta muitos desafios que exigem adaptações fisiológicas e morfológicas. Por exemplo, ao penetrar no mar, a radiação solar sofre um processo de atenuação com o aumento da profundidade, pelo que a sua intensidade é menor do que em terra, pelo que o aparelho fotossintético deve ser modulado para se adaptar a estas alterações. Por um lado, é necessário um sistema fotossintético mais eficiente para captar a radiação nos comprimentos de onda correctos. Por outro lado, o efeito da água na extinção da radiação solar significa que os sistemas de proteção UV não são necessários.

Os estomas são pequenos poros nas plantas terrestres através dos quais se efectuam as trocas gasosas. Por outras palavras, é por onde o oxigénio sai e o dióxido de carbono entra na planta. Ao viverem submersas, as plantas marinhas não precisam de evitar a perda de água que ocorre quando estão em contacto com o ar. Assim, os estomas deixam de ser necessários para as trocas gasosas, uma vez que estas se podem efetuar em toda a superfície da planta.



Folhas de *Zostera* sem estomas (Retirado de Barañano et al., 2021)

A submersão expõe os organismos às forças da ação das ondas e das correntes das marés, pelo que devem possuir folhas flexíveis, ligeiramente lenhificadas, que se movam com as correntes, de modo a não se oporem ao movimento do mar, evitando assim a sua quebra. Além disso, como vivem debaixo de água, não precisam de desenvolver estruturas de suporte, por vezes lenhosas, para se manterem de pé.

Não existem insetos no meio marinho, pelo que estas plantas marinhas não necessitam de produzir compostos de defesa contra estes organismos. Por outro lado, não têm polinizadores, pelo que evoluíram para se reproduzirem por polinização hidrofílica, em que as correntes são responsáveis pela dispersão do pólen. As pradarias de ervas marinhas estão frequentemente expostas a níveis elevados de sal, que variam intensamente em curtos intervalos de tempo, o que levou ao desenvolvimento de contramedidas contra a salinidade.

## 2.3 REPRODUÇÃO

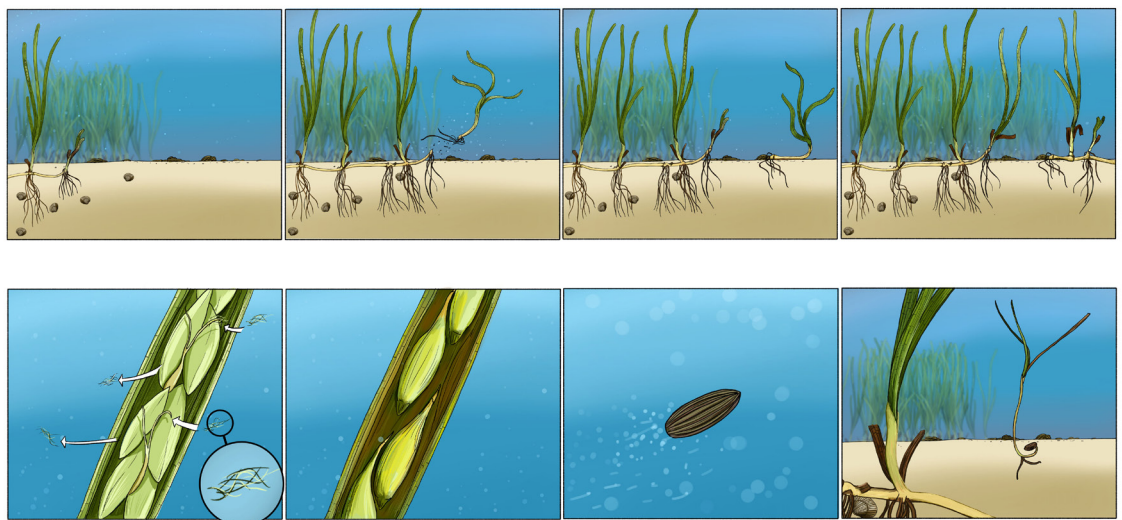
Tal como as gramíneas terrestres, os tufos que vemos nas ervas marinhas estão ligados no subsolo por uma extensa rede de estruturas chamadas rizomas. Os rizomas podem espalhar-se por baixo dos sedimentos e produzir novos rebentos. Quando isto acontece, vários caules da mesma erva marinha podem fazer parte da mesma planta e, por conseguinte, partilhar o mesmo genoma, razão pela qual este tipo de crescimento é designado por crescimento clonal. De facto, a planta mais antiga que se conhece é um clone da erva marinha mediterrânica *Posidonia oceanica*, que pode ter até 200.000 anos, datando do período glacial do Pleistoceno Final. Em algumas espécies, um prado de ervas marinhas pode desenvolver-se a partir de uma única planta em menos de um ano, enquanto que em espécies de crescimento lento, como a *Posidonia oceanica*, este processo pode demorar centenas de anos.



*Uma rede de rizomas que gera uma rede de raízes que dificulta a apanha de conchas  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)*



Embora sejam plantas clonais, as ervas marinhas dependem da reprodução sexual para colonizar novas áreas e manter a variabilidade genética após perturbações. Neste caso, a polinização tem lugar na água, que é hidrofílica. As flores masculinas destas gramíneas libertam pólen na água a partir dos estames. Este pólen acumula-se frequentemente em cachos, o que favorece o seu transporte através da água. Os aglomerados são transportados pelas correntes até pousarem no pistilo de uma flor feminina, onde se dá a fecundação. Há também indícios de que pequenos invertebrados, como os anfípodes (pequenos crustáceos semelhantes a camarões) e os poliquetas (vermes marinhos), se alimentam do pólen destas espécies, o que pode ajudar a fertilizar as flores de forma semelhante à que os insectos polinizam as flores nos ecossistemas terrestres.



*Reprodução assexuada de Zostera em cima e reprodução sexuada em baixo  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)*

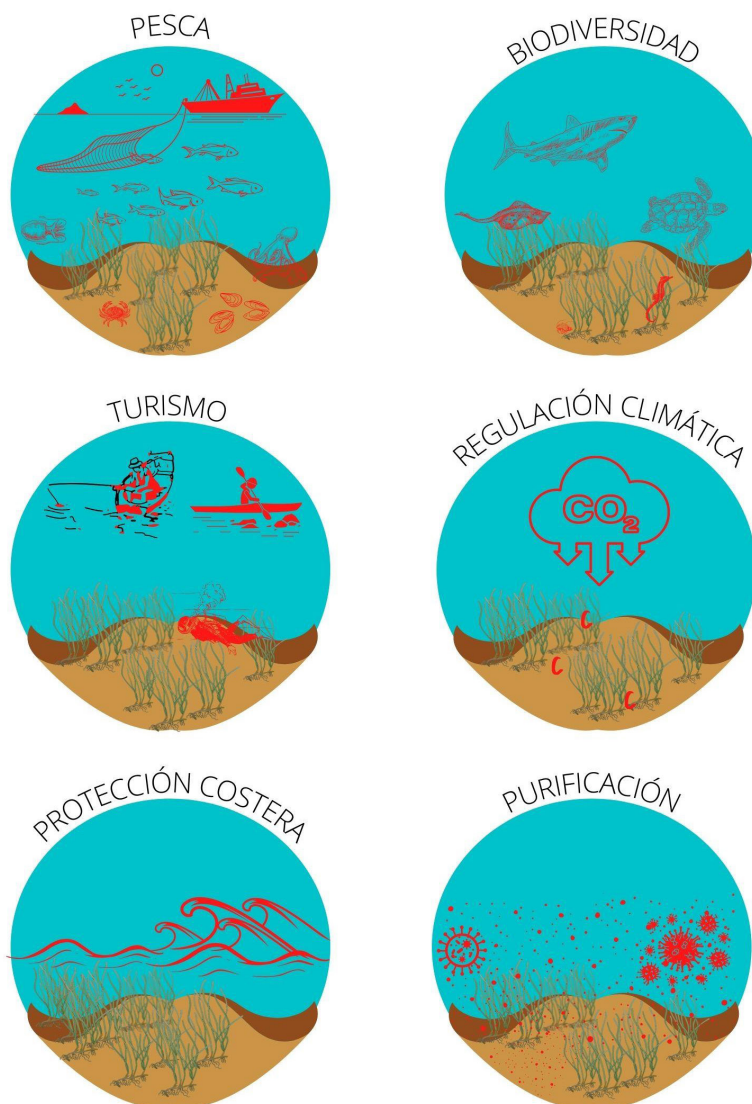
Este modo de reprodução torna-se muito menos eficiente quando a densidade populacional é baixa. Este facto é conhecido em ecologia como o “efeito Allee”. Este efeito resulta num aumento da taxa de mortalidade ou numa diminuição da taxa de natalidade quando a abundância da população é baixa, levando à existência de uma certa abundância populacional, designada por tamanho crítico da população viável, abaixo da qual o sucesso reprodutivo é drasticamente reduzido, levando mesmo à extinção local da espécie. Nos prados de ervas marinhas, a disponibilidade de pólen pode ser um fator limitante para a produção de sementes ou frutos, causando o declínio reprodutivo e o declínio acelerado de populações dispersas ou fragmentadas.

## 2.4. SERVIÇOS ECOSISTÉMICOS DAS PRADARIAS DE ERVAS MARINHAS

Como todos os ecossistemas do planeta, as ervas marinhas prestam um vasto leque de serviços ao homem. No entanto, no caso destes ecossistemas, o conhecimento sobre os benefícios que proporcionam à sociedade é muito reduzido, como demonstram vários estudos de perceção social. As páginas seguintes apresentam um breve resumo destes serviços, classificados de acordo com a tipologia definida nas secções anteriores: serviços de aprovisionamento, serviços de apoio e regulação e serviços culturais.

### SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

(Retirado de Barañano et al., 2021)



## SERVIÇOS DE APROVISIONAMENTO

As pradarias de ervas marinhas constituem um valioso habitat de desova para mais de 25% das pescarias mais importantes do mundo, incluindo o lúcio, a espécie mais pescada do planeta. Além disso, o desenvolvimento da pesca e da conchicultura nas zonas intertidais associadas às ervas marinhas é um fenómeno mundial.

No caso da Galiza, é de destacar a pesca do choco. As pradarias marinhas são zonas chave para a reprodução desta espécie, já que constituem um habitat ideal que proporciona abrigo aos organismos e, graças à sua estrutura tridimensional, permite-lhes fixar os seus ovos.



*Choco (retirado de Fundación Aquae)*



*Desova do choco (retirado de Biodiversidad virtual)*

Os prados não são apenas uma fonte de alimentação indireta, ao criarem habitats para espécies de interesse comercial, mas também têm sido utilizados ao longo da história para a alimentação humana direta. Por exemplo, os índios Seri colhiam estas plantas para extrair as sementes e utilizá-las como grãos ou cereais. Além disso, as folhas das plantas do género *Zostera* foram utilizadas no passado como fertilizante para os campos, para fazer colchões ou para isolar termicamente os edifícios.



## SERVIÇOS DE APOIO E REGULAMENTAÇÃO

- **Criação de habitats para outras espécies**

As folhas das espécies que formam ervas marinhas constituem uma enorme superfície que pode ser colonizada por organismos sésseis que necessitam de um substrato fixo para viver. As cianobactérias e outras bactérias ou as algas diatomáceas e os fungos formam uma película microbiana sobre a qual se instalam progressivamente outros organismos macroscópicos, as epífitas.

Os organismos sésseis que se fixam nas folhas incluem algas, esponjas, cnidários, moluscos bivalves, briozoários e tunicados. Também albergam espécies móveis que se alimentam de epífitas que cobrem as folhas, como poliquetas, crustáceos, moluscos gastrópodes, nemátodos e equinodermes. Estes animais, por sua vez, servem de alimento a várias espécies de peixes.

- **Purificação da água**

As ervas marinhas são um filtro natural de partículas em suspensão e de compostos dissolvidos, contribuindo para a transparência e qualidade da água. Actuam assim como purificadores naturais eficazes, retendo ou incorporando compostos tóxicos ou nocivos que armazenam nas suas raízes e tecidos ou nos próprios sedimentos, reduzindo assim os níveis de poluição.



*Prado de erva marinha Zostera noltii em Testal (Ria de Muros e Noia)*

As pradarias de ervas marinhas ajudam a reduzir a exposição a agentes patogénicos bacterianos em peixes, invertebrados e seres humanos. Foi demonstrado que as zonas onde existem pradarias de ervas marinhas apresentam uma redução de 50% na abundância de populações bacterianas que causam doenças tanto nos seres humanos como em organismos marinhos como os corais.

- **Estabilização de sedimentos**

As pradarias de ervas marinhas abrandam as correntes marítimas que transportam sedimentos e outras partículas e favorecem a captura das partículas sedimentares pelos rizomas e pelas folhas. A rede de raízes impede a ressuspensão e a incorporação destas partículas no substrato, estabilizando assim o sedimento.

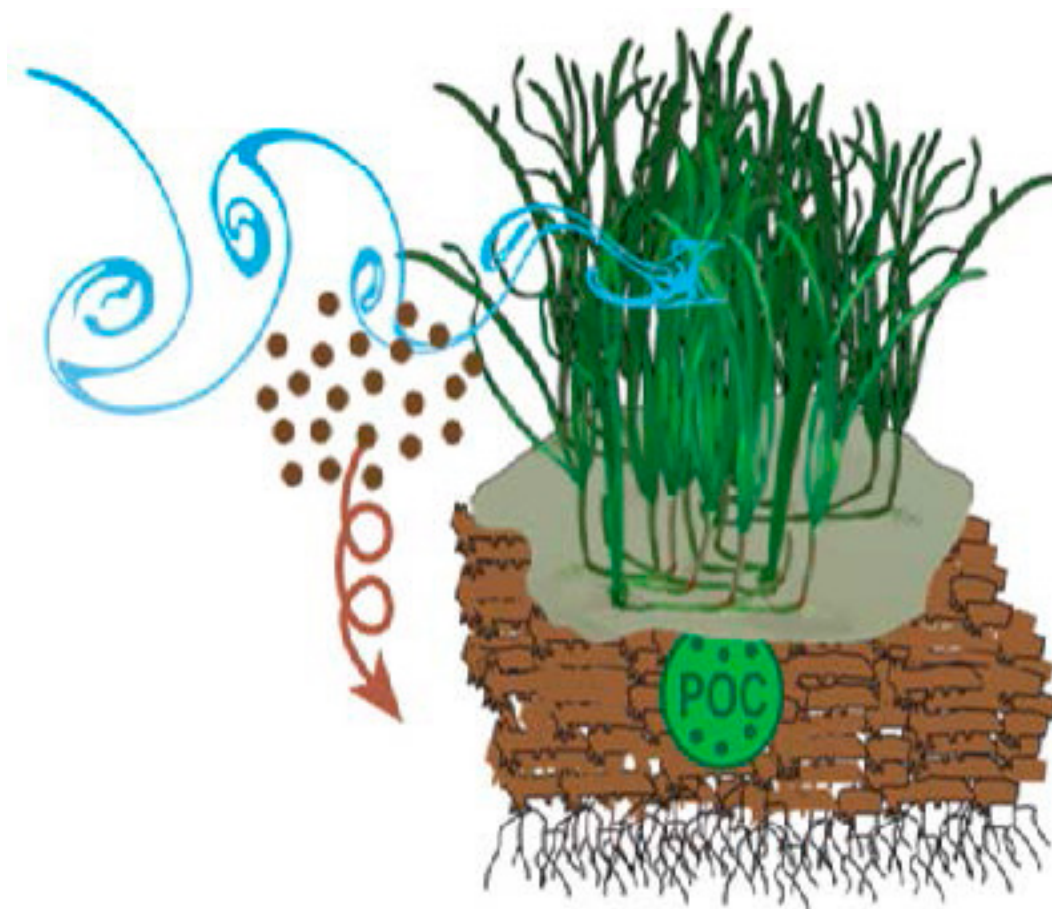


Diagrama de estabilização dos sedimentos  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)





O aumento de carbono (CO<sub>2</sub>) detectado na atmosfera terrestre está a provocar alterações no clima da Terra e na composição química dos oceanos, levando à sua progressiva acidificação. Neste cenário, os ecossistemas que têm a capacidade de capturar e sequestrar o carbono da atmosfera são de particular interesse. Quando pensamos nestes ecossistemas, lembramo-nos frequentemente das florestas e dos prados. No entanto, embora muito menos conhecido, uma grande parte do carbono sequestrado pelos ecossistemas do planeta é contabilizada pelos habitats marinhos, incluindo as ervas marinhas e os mangais. Este carbono absorvido pelo oceano é designado por carbono azul.



*Fotografia dos prados de Testal na maré baixa, com uma floresta de eucaliptos ao fundo*

As ervas marinhas cobrem menos de 0,2% do fundo do mar, mas armazenam cerca de 10% do carbono enterrado nos oceanos todos os anos. A importância dos ecossistemas costeiros como sumidouros de CO<sub>2</sub> foi ignorada até há pouco tempo. No entanto, estes ecossistemas são agora reconhecidos como um dos sistemas naturais de sequestro de CO<sub>2</sub> mais activos do nosso planeta.



- **Serviços culturais**

As pradarias de ervas marinhas proporcionam espaços de recreio, lazer e turismo, bem como ambientes de educação e investigação. A biodiversidade que as pradarias de ervas marinhas suportam torna-as áreas de grande interesse para o desenvolvimento de várias atividades recreativas, como a observação da natureza subaquática através de atividades como o mergulho, e são áreas populares para os mergulhadores apreciarem a paisagem subaquática. Além disso, como suportam importantes comunidades de peixes de interesse piscatório, estes ecossistemas são utilizados pelos pescadores recreativos.



*Fotografia que mostra o potencial turístico dos prados marinhas de Testal*

Do mesmo modo, a riqueza dos serviços que prestam ao bem-estar humano e a complexidade dos ecossistemas que englobam tornam-nos ambientes de grande interesse para a investigação, tendo sido objeto, nos últimos 50 anos, de mais de 1.000 publicações científicas em todo o mundo. A acessibilidade e a proximidade destes ecossistemas costeiros, bem como a sua facilidade de gestão, favorecem a sua utilização como meio de aprendizagem e de divulgação para a execução de programas de educação ambiental e de ciência cidadã.

## 2.5. IMPACTOS E AMEAÇAS: EUTROFIZAÇÃO, DANOS MECÂNICOS, ALTERAÇÃO DO HABITAT, AGENTES PATOGENÍCOS, ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Os estuários e as águas costeiras são particularmente vulneráveis a uma série de pressões resultantes da sua estreita relação com o sistema terrestre e são, por conseguinte, sensíveis aos elevados níveis de antropização característicos destas zonas. As pradarias de ervas marinhas estão a diminuir a um ritmo alarmante. Em média, perde-se cerca de um hectare de ervas marinhas em cada 30 segundos e estima-se que 29% das ervas marinhas tenham desaparecido no último século.



*Fotografia da foz do rio Tambre formando a ria de Muros - Noia*

Na Galiza, as pastagens também apresentam uma situação preocupante. Isto é demonstrado por um estudo no qual se avaliou o estado de conservação de vários prados atlânticos de ervas marinhas *Zostera noltei* através de duas variáveis: a cobertura do prado em relação à cobertura histórica máxima registada e a tendência, ou seja, se a cobertura melhorou ao longo dos anos ou, pelo contrário, diminuiu. De acordo com este estudo, as pradarias de ervas marinhas das Rias Baixas têm um estado favorável negativo, o que significa que têm uma cobertura maior ou igual a 60% do estado de referência, embora a sua tendência temporal seja negativa, o que significa que a sua cobertura está a diminuir.



A perda destes habitats está associada a processos que alteram a qualidade ou a limpidez da água, como o aporte de nutrientes e sedimentos provenientes de escorrências, esgotos ou dragagens, que conduzem a processos de eutrofização e, conseqüentemente, à diminuição da disponibilidade de luz, ao aumento da sedimentação ou a perturbações físicas directas, bem como aos efeitos de alterações ambientais à escala global, como a acidificação dos oceanos, o aumento da temperatura dos oceanos ou a subida do nível do mar.



*Eutrofização do litoral*

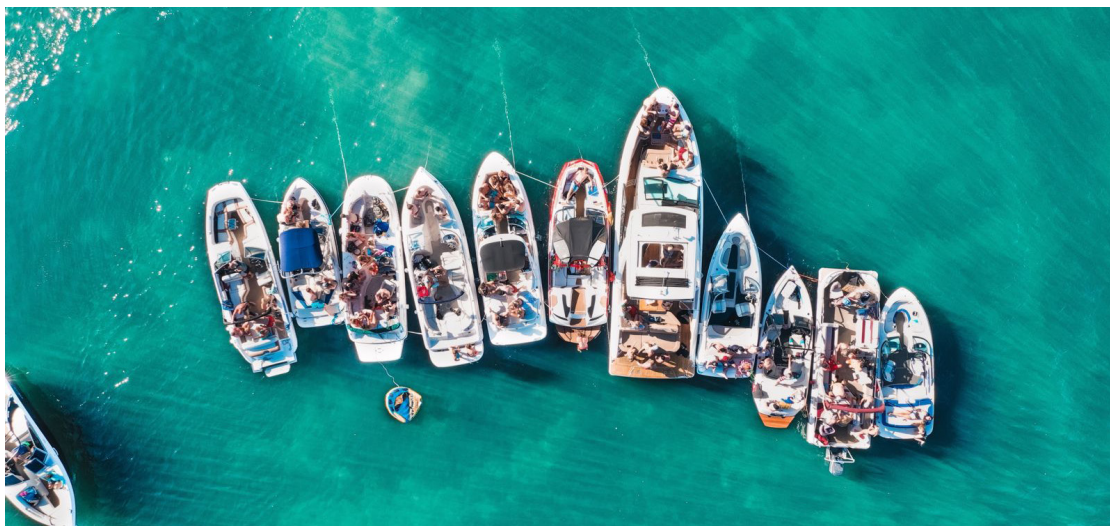
A fonte mais clara de impacto humano nos ecossistemas de ervas marinhas são os impactos físicos, incluindo a pesca e a aquicultura, a navegação e ancoragem de navios e a modificação do habitat (dragagem, recuperação e construção costeira).

- **Eutrofização**

Uma das principais causas da perda de ervas marinhas é a redução da transparência da água, devido ao aumento da carga de nutrientes, que estimula o crescimento de microalgas, e ao aumento da turvação associada à ressuspensão de sedimentos. Os aportes de nutrientes e sedimentos provenientes das actividades humanas no sistema terrestre têm um impacto importante nestes ecossistemas, uma vez que as necessidades de luz relativamente elevadas das ervas marinhas as tornam vulneráveis à redução da penetração da luz nas águas costeiras.

- **Danos mecânicos: pesca, ancoragem e navegação**

A deterioração mecânica é uma das principais causas do declínio das ervas marinhas. A remoção de plantas e os danos causados aos rebentos e rizomas conduzem a reduções drásticas da cobertura de ervas marinhas. As ervas marinhas não são fisicamente robustas, o que as torna vulneráveis ao desenraizamento dos rizomas, à quebra das folhas e ao enterramento das sementes a profundidades que impedem a germinação, todos eles resultantes de actividades como o pisoteio, a operação de artes de pesca que trabalham no fundo do mar ou a ação de âncoras ou hélices de navios. Estes tipos de actividades deixam cicatrizes nas paisagens das ervas marinhas.



*Fotografia de barcos atracados num prado marítimo com limpeza de âncoras*

Um exemplo do impacto sobre as pradarias de ervas marinhas características da nossa zona é a atividade da mariscagem, que utiliza aparelhos de pesca como o raño ou a gancha para remexer o fundo do mar em busca de amêijoas e outros bivalves de interesse comercial, levantando as camadas superiores de sedimentos, quebrando e retirando os rebentos e rizomas das plantas que formam as pradarias de ervas marinhas.



- **Construção costeira**

A alteração da faixa costeira pela ação humana, nomeadamente devido ao aumento da pressão demográfica, está a provocar a transformação e a fragmentação dos habitats de ervas marinhas disponíveis nas águas costeiras.

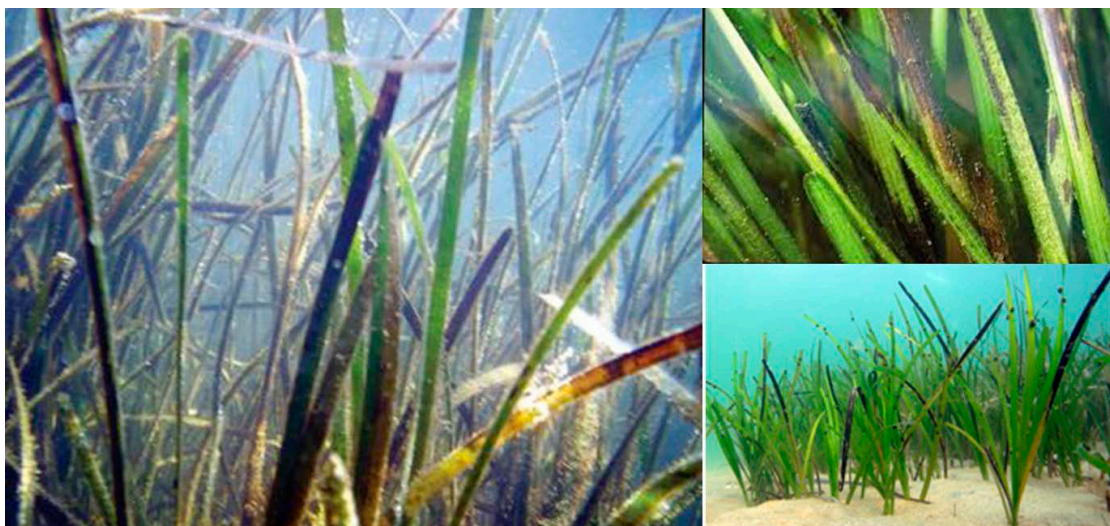


*Pressão do desenvolvimento na Gold Coast da Austrália*

Adragagem e a recuperação de ambientes marinhos, quer para extração de sedimentos, quer como parte de obras de construção ou de engenharia costeira, podem também afetar significativamente estes prados. O aterro costeiro pouco profundo pode remover diretamente o habitat em que se encontram estes ecossistemas.

- **Agentes patogénicos**

Alguns protistas marinhos, como os do género *Labyrinthula*, foram reconhecidos como agentes patogénicos da erva marinha, causando a doença do definhamento. Os sintomas das infeções causadas por estes organismos são a presença de lesões castanhas escuras ou pretas nas folhas, que se estendem longitudinalmente e cobrem toda a folha após algumas semanas. As infeções ocorrem geralmente em folhas maduras, mas durante episódios de infeção grave as folhas jovens podem também ser afectadas. No início da década de 1930, *Labyrinthula zosterae* foi responsável pelo declínio dramático dos prados de *Zostera marina* em ambas as costas do Atlântico Norte.



*Efeitos dos agentes patogénicos em Zostera (Retirado de Barañano et al., 2021)*

- **Alterações climáticas**

As alterações climáticas globais estão ligadas, pelo menos em parte, à queima de combustíveis fósseis e às mudanças na utilização dos solos, que conduzem a um aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e às emissões de outros gases com efeito de estufa. Estas alterações, que conduzem ao aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, ao aquecimento global, à subida do nível do mar e ao aumento da frequência e intensidade das tempestades, são susceptíveis de ter um impacto substancial a longo prazo nos ecossistemas de ervas marinhas. A este respeito, estudos recentes associam as vagas de calor a graves efeitos negativos na cobertura das espécies de ervas marinhas.

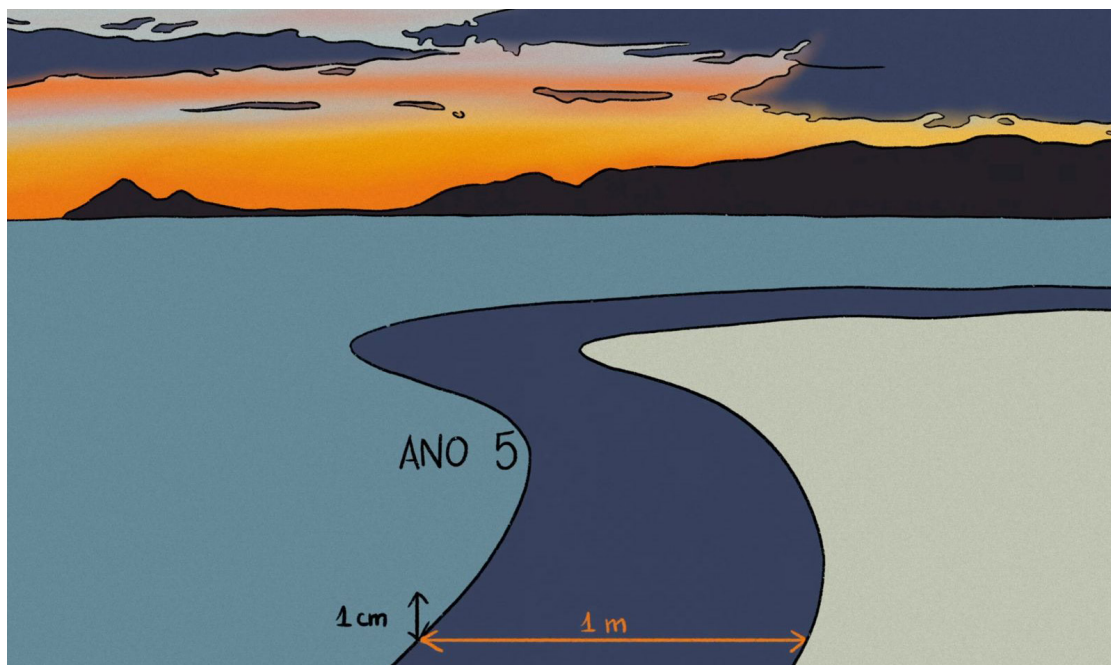
- **Aumento da temperatura**

A temperatura influencia quase todos os aspectos do metabolismo, crescimento e reprodução das espécies formadoras de ervas marinhas e tem implicações importantes nos padrões de distribuição geográfica destas espécies. O aumento progressivo da temperatura pode, por conseguinte, constituir uma ameaça para as populações locais destas espécies, nomeadamente as que vivem em regiões próximas dos seus limites de distribuição.



- **Subida do nível do mar**

O aumento da temperatura nos próximos 25 anos resultará numa subida de 10-15 cm do nível do mar, principalmente devido à expansão térmica do oceano e, em menor grau, ao degelo dos glaciares e das calotes polares dos continentes. A subida do nível do mar poderá ter numerosas implicações na circulação, na amplitude das marés, nos regimes de correntes e de salinidade, na erosão costeira e na turbidez da água, factores que poderão ter um impacto negativo significativo nas ervas marinhas.



*Infografia sobre a subida do nível das águas, mostrando que um centímetro de altura corresponde a um metro de comprimento*

- **Acontecimentos climáticos extremos**

Os modelos matemáticos prevêem que o aquecimento global levará a um aumento da frequência e da intensidade das tempestades, o que conduzirá a uma maior erosão costeira. A ressuspensão dos sedimentos provoca um aumento da turvação das águas, reduzindo a disponibilidade de radiação solar para as populações de produtores primários bentónicos marinhos. Embora muitas espécies de ervas marinhas sejam adaptáveis e possam sobreviver a períodos de baixa radiação e soterramento parcial, as tempestades reduzem frequentemente o crescimento e a sobrevivência e exigem a recolonização por sementes para restabelecer as pradarias de ervas marinhas.

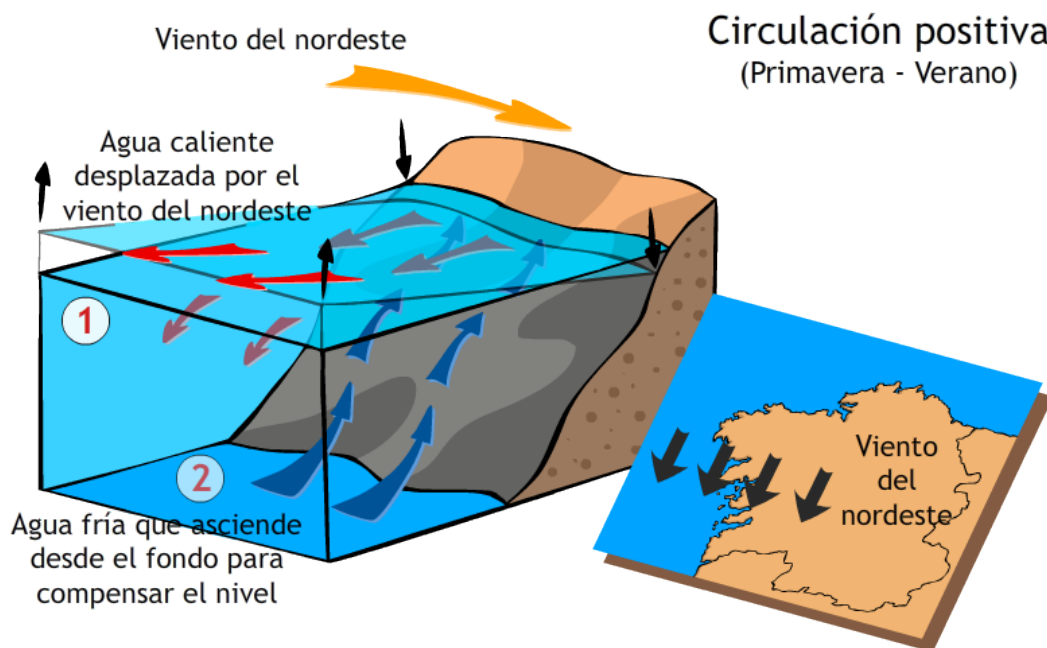
### 3. ESTUDOS DE CASO

#### 3.1 REGIÃO DE APOIO AOS FLUXOS ATMOSFÉRICOS DO NOROESTE DO ATLÂNTICO (GALIZA)

##### • 3.1.1 Características oceanográficas

O sistema costeiro galego faz parte do “Eastern North Atlantic Upwelling System”, que se estende desde o paralelo 10°N até ao noroeste da Península Ibérica a 44°N, a sua parte mais setentrional (Blanton et al., 1984).

As condições climáticas da região de afloramento do Atlântico Noroeste e os processos atmosféricos de grande escala que actuam nesta região condicionam as características termohalinas da coluna de água ao largo da costa galega. Em particular, a circulação atmosférica devido à migração sazonal do anticiclone dos Açores, ligado às altas pressões subtropicais, e da tempestade islandesa, associada às baixas pressões subpolares, modulam e determinam as variações interanuais dos processos de afloramento e subsidência das massas de água. Para além disso, a geomorfologia e as condições locais de vento costeiro também exercem uma forte influência nos padrões temporais e espaciais destes processos (Nogueira et al., 1997).



*Na Galiza, os ventos de NE são frequentes na primavera e no verão.*



Os ventos locais influenciam a circulação e as condições das águas que fluem para os estuários devido ao fenómeno de canalização do vento na direção SW ou NE exercido pelas montanhas adjacentes a estes sistemas geológicos, que intervêm, por um lado, na circulação estuarina e, por outro, na mistura e homogeneização dos primeiros metros da coluna de água (Rosón et al., 2008).

Nas costas galegas, estes fenómenos ocorrem frequentemente na primavera e no verão, quando os ventos predominantes são de norte. Como resultado, o transporte de Ekman cria uma escassez de água na costa, resultando no desenvolvimento de águas centrais do Atlântico Norte, frias e ricas em nutrientes, localizadas a profundidades entre os 100 e os 500 metros. Este fenómeno altera as características físicas (salinidade, temperatura) e químicas (nutrientes, CO<sub>2</sub>) das massas de água ao largo da costa galega, provocando a fertilização das águas superficiais (Prego et al., 1999) e, conseqüentemente, a proliferação maciça de fitoplâncton (Castro et al., 1997, Rosón et al., 2008).

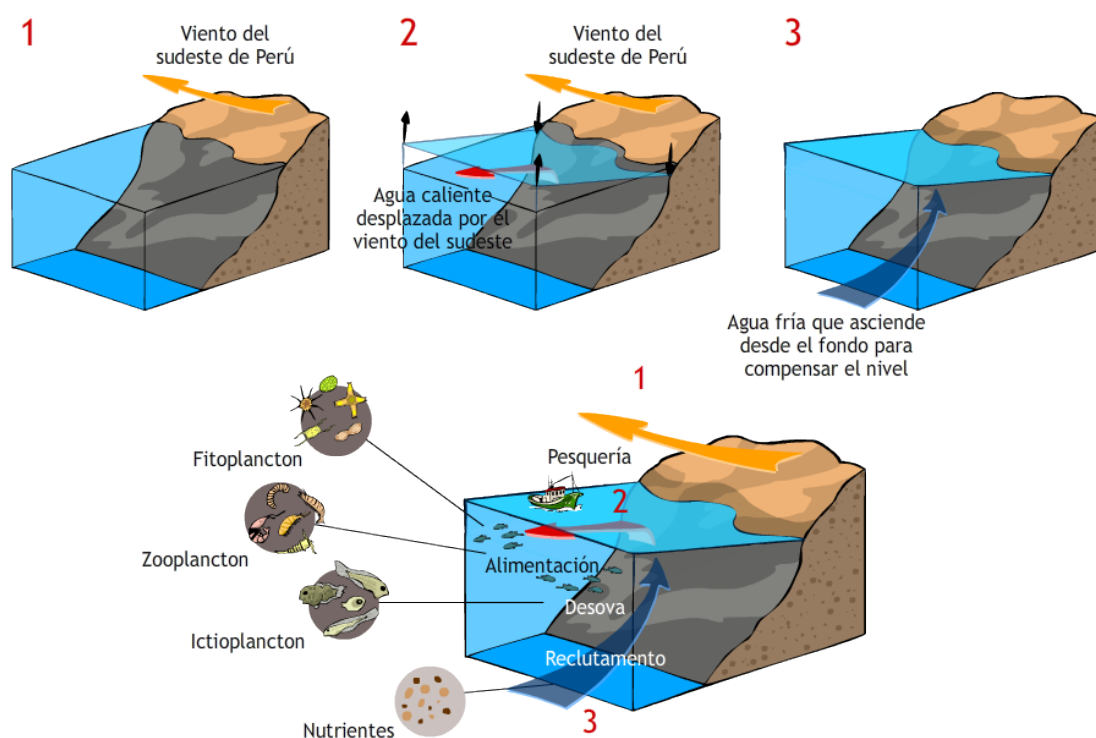
A produção característica dos sistemas de afluência temperados está associada a uma elevada capacidade de produção de biomassa planctónica (Álvarez-Salgado et al., 1996; Figueras et al., 2002; Cermeño et al., 2006, entre outros), ligada à proliferação de diatomáceas que formam teias alimentares herbívoras relativamente curtas. Estes fenómenos estão associados a pescarias importantes e a grandes populações de aves marinhas (Fraga, 1981; Velando, 1997; Figueiras et al., 2002).

A produção primária bruta média durante a estação das marés foi estimada em cerca de 1,4 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, embora tenham sido registados picos esporádicos de produção de 4 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Tilstone et al., 1999; Figueiras et al., 2002).

Durante o inverno, especialmente em dezembro-fevereiro, esta região é afetada por outro evento oceanográfico característico: a Corrente Ibérica Polar (IPC) (Frouin et al. 1990; Haynes & Barton, 1990). Esta corrente circula em direção ao pólo, abrangendo a plataforma continental superior das costas atlânticas da Península Ibérica e de França (Haynes & Barton, 1990), estendendo-se mesmo a latitudes mais setentrionais.

Esta corrente tem características físico-químicas claramente diferenciadas, é mais quente e salgada do que o típico para esta região no inverno, alterando as condições biogeoquímicas e os padrões de distribuição espacial das comunidades planctónicas (Álvarez-Salgado et al., 2003; Prego et al., 2007), e pode mesmo penetrar no interior das Rias Baixas.

As variações nas condições físicas da coluna de água características dos episódios de afluxo/afundamento e o relaxamento e estratificação das massas de água associadas ao evento de afluxo resultam em eventos de elevada produtividade, em que a distribuição do tamanho do fitoplâncton associada aos estados de mistura/estratificação da coluna de água e à força hidrodinâmica determinam em grande medida a taxa a que a matéria orgânica é exportada para níveis tróficos superiores ou reciclada de volta para o circuito microbiano (Cermeño et al., 2006).



*Aumento do fluxo de água associado à produtividade na costa peruana devido aos ventos azuis que sopram de SE, da terra para o oceano.*





Estes eventos de elevada produtividade estão geralmente associados à proliferação de determinadas populações fitoplanctónicas, normalmente diatomáceas de dimensões relativamente grandes, que são favorecidas pelas condições do processo de upwelling, dominando assim a comunidade fitoplanctónica e favorecendo o fluxo de carbono para a cadeia alimentar dos herbívoros e posterior exportação para níveis tróficos superiores, enquanto que nas fases de menor produção, típicas de processos de entrada de água oligotrófica durante períodos de subsidência, estão associadas à dominância de populações de pico- e nanoplâncton (Teira et al., 2001), que favorecem a canalização da matéria produzida para a reciclagem de nutrientes pela comunidade microbiana (Figueiras et al., 2002; Cermeño et al., 2006) e com blooms de dinoflagelados, incluindo espécies produtoras de toxinas que, acumuladas pelos bivalves filtradores, representam um risco para a saúde humana e para a exploração dos recursos de crustáceos (Fraga et al. 1988; Reguera et al. 2008). Estes processos tendem a gerar condições altamente dinâmicas tanto na coluna de água como nas comunidades vegetais, com mudanças frequentes e elevada frequência temporal (Bode et al., 1993).

As variações espaciais na duração e frequência dos eventos de ressurgência, em combinação com os eventos de advecção da massa de água, governam os ciclos de produção das pescarias ao largo da costa galega (Tenore et al., 1995), cuja riqueza de recursos assegura a manutenção de um ambiente marinho suficientemente produtivo para apoiar as diversas comunidades que se desenvolvem na região e permitir o florescimento de importantes actividades tradicionais de apanha de peixe e marisco.

- **3.1.2 Forças motrizes e pressões antropogénicas: população, alterações na utilização dos solos, eutrofização, poluição ...**

A costa do País de Gales está exposta a uma série de pressões e ameaças antropogénicas que estão a ter um impacto negativo nos seus ecossistemas costeiros e nos serviços que estes prestam. As utilizações da faixa marinha costeira são múltiplas e muitas vezes sobrepostas, como as vias de navegação, os ancoradouros, os pesqueiros, as explorações de moluscos e as jangadas de mexilhões e as actividades portuárias. Assim, na costa galega, as actividades de desenvolvimento industrial e urbano coexistem com actividades de serviços como o turismo costeiro, com a presença da pesca artesanal e da maricultura, que constituem uma parte importante da economia regional.



*Amêijoas (Cerastoderma edule) no Testal*

O estudo da análise económica e social das estratégias marinhas da Demarcação Marinha do Atlântico Norte (DM) permite uma descrição simplificada das principais pressões resultantes da interação homem-costa na Galiza. Este estudo inclui uma avaliação das principais atividades económicas costeiras da região com um impacto potencial nos sistemas costeiros. As principais actividades identificadas são resumidas a seguir:

**Quadro I Principais atividades económicas costeiras da região. Adaptado de *Economic and Social Analysis of the North Atlantic Marine Demarcation Strategy*.**

Actividade Económica	Descrição	Principais impactos
Reestruturação física de rios, costas ou fundos marinhos	Isto inclui a defesa costeira e a proteção contra as inundações, bem como a reestruturação da morfologia dos fundos marinhos	Alteração do habitat, poluição, impacto na biodiversidade

Actividade Económica	Descrição	Principais impactos
Extração de recursos não vivos	Extração de minerais como rochas, minérios metálicos, cascalho, areia e conchas	Degradação dos habitats, perda de biodiversidade, perturbação dos processos ecológicos
Produção de energia	Produção de energias renováveis, incluindo infraestruturas, transportes e comunicações	Impacto nos ecossistemas marinhos e costeiros devido à instalação de infraestruturas
Extração de recursos vivos	Pesca e conquilicultura, transformação de peixe e marisco	Sobrepesca, degradação dos ecossistemas marinhos, declínio das unidades populacionais de peixes e moluscos
Cultivo de recursos vivos	Aquicultura marinha, incluindo infraestruturas	Eutrofização, perda de habitats, introdução de espécies exóticas
Transporte	Infraestruturas de transporte e transporte marítimo	Poluição da água, alteração do habitat, ruído subaquático
Turismo e lazer	Infraestruturas, turismo e lazer e atividades de turismo e lazer	Degradação do habitat, poluição, pressão sobre os recursos naturais

- **Pressões físicas**

Os fundos marinhos podem ser perturbados, tanto no seu perfil como na sua natureza, pela remoção de sedimentos em resultado da instalação de estruturas enterradas, como cabos submarinos; pela alteração dos processos sedimentares produzidos por instalações de aquacultura; pela ancoragem de embarcações; pela descarga de material dragado ou pela pesca de arrasto, entre outros. Embora as perturbações causadas por estas actividades sejam temporárias ou reversíveis, resultam em alterações dos habitats e comunidades bentónicas.



*Pradaria de ervas marinhas Zostera no Mar Negro perturbada por um dique*

**Quadro II. Categorização das pressões físicas. Adaptado de *Analysis of Pressures and Impacts of the North Atlantic Marine Demarcation Strategy*.**

Tipo de pressão física	Descrição
Perturbação física do fundo do mar (temporárias ou reversíveis)	Estas podem ser causadas por várias atividades, como a defesa costeira, a proteção contra inundações e a reestruturação da morfologia dos fundos marinhos.



## Tipo de pressão física

## Descrição

Perdas físicas (devido à alteração permanente da morfologia do fundo marinho e à remoção do substrato do fundo marinho)

As infraestruturas portuárias, as infraestruturas de defesa costeira, os recifes artificiais, as plataformas de prospeção e exploração de hidrocarbonetos, os parques eólicos offshore e outras infraestruturas offshore podem causar a perda física do leito marinho.

Alterar o perfil e a natureza do fundo

A extração de sedimentos do fundo do mar, quer para a regenerar praias, quer para aumentar ou manter o calado do porto ou como enchimento para infraestruturas portuárias, e a criação de praias artificiais.

Entre as pressões físicas que provocam alterações permanentes, podemos citar a instalação no meio marinho de diversas infra-estruturas que provocam a modificação permanente do substrato e, conseqüentemente, a alteração das comunidades bentónicas (infra-estruturas portuárias, parques eólicos offshore, criação de praias artificiais, etc.).

A ancoragem de navios comerciais é a atividade avaliada que poderia ter causado mais perturbações no fundo marinho, embora corresponda a uma baixa probabilidade de perturbação. As zonas com elevada probabilidade de perturbação situam-se nas imediações dos portos de Marín e Vigo, enquanto os restantes portos de interesse geral apresentam, em geral, uma área de perturbação maior do que a dos restantes portos, embora com uma probabilidade de perturbação menor, destacando-se o porto da Corunha com uma probabilidade moderada de perturbação em zonas maiores.

A perturbação do fundo do mar provoca alterações nas comunidades bentónicas e pode levar à sua destruição, quer por remoção direta quer por enterramento. Se estiverem presentes substâncias perigosas ou nutrientes nos sedimentos de fundo, podem ser ressuspensos e tornar-se parte da cadeia alimentar quando ingeridos pelos organismos.

- **Pressões de poluição (substâncias, resíduos e energia)**

Este grupo de pressões inclui as entradas de nutrientes provenientes de fontes difusas, fontes pontuais, entradas de outras substâncias, como as sintéticas, e entradas de resíduos sólidos, incluindo os micro-resíduos. As principais entradas terrestres de nutrientes nos estuários e nas águas costeiras são as descargas diretas e as entradas dos rios, com uma maior probabilidade associada de impacto nas massas de água com um baixo grau de renovação.

**Quadro III Classificação das pressões de poluição. Adaptado de *Analysis of pressures and impacts of the North Atlantic Marine Strategy*.**

Pressão	Descrição
Substâncias	Chegada de nutrientes, matéria orgânica e outras substâncias ao meio marinho através de fontes difusas, fontes pontuais, deposição atmosférica ou incidentes graves
Lixo	A presença de resíduos sólidos, incluindo micro-resíduos, no meio marinho.
Energia	Entrada de energia no meio marinho através de som antropogénico, descargas térmicas e fontes pontuais de água, como a salmoura..

A costa galega é afetada por diversas actividades antropogénicas, que se reflectem, por exemplo, no aumento dos níveis de metais pesados como o chumbo e o cobre nos sedimentos (Prego e Cobelo, 2003; Howarth et al., 2005; Evans et al., 2011). No entanto, um dos problemas ambientais mais importantes que o ecossistema costeiro da Galiza enfrenta é a entrada de águas residuais urbanas incompletamente tratadas na coluna de água. Este facto tem um impacto significativo num dos serviços ecológicos mais notáveis da costa, como a produção anual de grandes quantidades de mexilhões ou marisco. Esta situação deu origem a um importante problema socio-ecológico, afectando intensamente as actividades de produção de marisco, uma vez que algumas áreas de produção de marisco foram declaradas Zona B (quando excedem 4600 *Escherichia coli* por 100 g de carne e líquido intravalvular, de acordo com o Regulamento CE 854/2004) ou Zona C (>46 000 *E. coli* por 100 g de carne e líquido intravalvular), perdendo o valor comercial do produto. De acordo com o plano hidrológico da região da Galiza Costa, os maiores aportes directos de matéria orgânica (excluindo a gerada no próprio meio marinho) observam-se nos estuários de Marín e Villagarcía. No entanto, sabe-se que apenas Villagarcía é afetado por nutrientes, juntamente com os estuários de Noia e da Corunha.



*Recolhedor de amêijoas a retirar amêijoas mortas em Testal*



As fontes de ruído submarino podem ser de curta duração (impulsivas, como as campanhas sísmicas ou a pilotagem de plataformas e parques eólicos) ou de longa duração (dragagens, navegação e instalações energéticas). A principal entrada contínua de som antropogénico no meio marinho nesta área de estudo está associada à atividade de navegação, cujo indicador mais representativo é a densidade de tráfego marítimo. Os níveis mais elevados de emissão de ruído estão associados às principais rotas de navegação, especialmente as que passam pelo esquema de separação de tráfego marítimo de Finisterra. Os portos com os níveis médios de emissão sonora mais elevados, próximos de 150 dB re 1 $\mu$ Pa, são Vigo e Pontevedra e, em menor medida, Corunha e Ferrol, com 140 dB.

- **Caso ilustrativo: Estuário de Vigo**

O processo de urbanização, amplamente associado ao desenvolvimento demográfico e industrial das zonas costeiras da Galiza, conduziu a alterações significativas do uso do solo no território das rias. O caso da Ria de Vigo é apresentado como um exemplo ilustrativo da coexistência de populações humanas, da sua atividade económica associada e da conseqüente modificação do ecossistema marinho, incluindo a degradação das condições de qualidade da água, a produção de uma quantidade considerável de marisco e a presença de ecossistemas marinhos bem conservados.

O estudo de Fernandez et al. (2016) ilustra o papel da ria de Vigo como um sistema modelo em que as pressões ambientais sobre o ecossistema costeiro coexistem com uma importante atividade de extração de peixe e produção de marisco, bem como com áreas marinhas quase primitivas a uma pequena escala espacial. Para o efeito, a intensidade da transformação e a dinâmica das classes de uso do solo foram avaliadas quantitativamente para o período 1990-2006, mostrando que os terrenos artificiais aumentaram 8 km<sup>2</sup> durante este período, principalmente devido a novos desenvolvimentos industriais e à urbanização. Este valor correspondeu a 2,1% da área total dos concelhos da área de estudo.

A revisão da literatura sobre os impactos e as pressões deste sistema descreveu e quantificou a perda de habitats de reprodução e de viveiros para espécies comerciais devido à proliferação de aterros sanitários e à deterioração da qualidade da água, nomeadamente em resultado da entrada de nutrientes, matéria orgânica e bactérias fecais através de pequenos rios e de estações de tratamento de águas residuais que funcionam mal ao longo da costa.



Apesar da quantidade considerável de produtos químicos e bactérias fecais que entram neste meio, as condições de qualidade da água são amplamente compatíveis com a prestação de serviços de abastecimento pelo ecossistema marinho, devido à hidrodinâmica das Rias. No entanto, a poluição na ria de Vigo continua a ser significativa e gera uma intensa reação social, destacando-se os conflitos relacionados com a poluição, as actividades de exploração de peixe e marisco, a urbanização costeira, os aterros costeiros e a regressão das áreas naturais protegidas.

### • 3.1.3 Atlântico Noroeste: elevada produtividade e exploração dos recursos marinhos

Como se explicou nas secções anteriores, as Rias Galicea são ecossistemas altamente produtivos que permitem o desenvolvimento de importantes actividades tradicionais de piscicultura e conculicultura, bem como a aquicultura intensiva de mexilhão em jangadas. Na Galiza, a pesca artesanal sustenta mais de 25.000 empregos, com cerca de 10.000 pescadores (um terço dos quais são mulheres que trabalham principalmente na pesca de marisco entremarés) e mais de 17.000 empregos indirectos (IGE - Instituto Galego de Estadística, 2021). Existem mais de 3827 embarcações de pequena pesca registadas que operam nas baías costeiras e águas oceânicas pouco profundas (Xunta de Galicia, 2021). Com mais de 80 municípios com um sector social predominantemente baseado na pesca, muitas das cidades e aldeias costeiras do noroeste de Espanha são altamente dependentes da pesca e das actividades relacionadas com a pesca (Villasante et al., 2022; Freire e García-Allut, 2000).

A pesca da vieira inclui a cultura, a captura e a apanha de uma grande variedade de espécies marinhas classificadas na legislação das pescas como “recursos específicos”. Os recursos específicos incluem espécies sésseis ou de baixa mobilidade com elevado interesse comercial, nomeadamente espécies como a vieira do mar (*Pollicipes pollicipes*), o ouriço do mar (*Paracentrotus lividus*), a vieira do mar (*Ensis arcuatus*) e as espécies de amêijoia *Venerupis rhomboides* e *Venerupis corrugata* (Navarrete, 2010). Estes recursos são explorados por pescadores historicamente organizados em grupos de mariscadores (cofradias e/ou cooperativas), que elaboram um plano de exploração anual (Decreto 423/1993), baseado no conhecimento local dos pescadores, com o aconselhamento científico dos técnicos das confradias, que é supervisionado pelo departamento autónomo com competência nesta área. Estes planos de exploração devem incluir um relatório sucinto sobre o estado dos recursos haliêuticos com base nos dados dos anos anteriores, objectivos de produção e financeiros, um plano de exploração com os pesqueiros a considerar e os navios e operadores para os quais é solicitada autorização.

A mariscagem realiza-se tanto a pé como em embarcações, em zonas marítimas ou marítimo-terrestres, utilizando artes de pesca selectivas e específicas para cada espécie. Na Galiza, a mariscagem tem uma grande importância social, já que proporciona rendimentos a cerca de 4.000 pessoas que trabalham na pesca a pé, na sua maioria mulheres. Por outro lado, a apanha de marisco na água é praticada maioritariamente por homens.



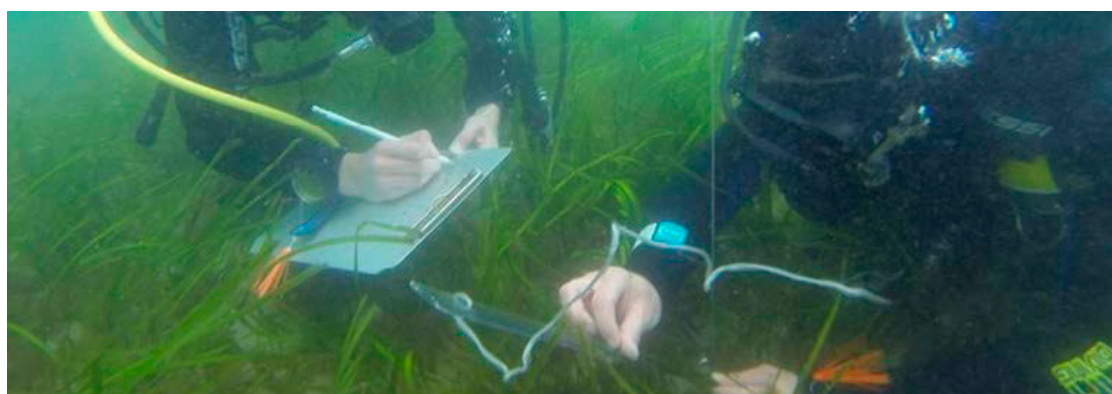
*Ilustração da pesca de bivalves a pé e de barco como um impacto importante nas ervas marinhas  
 (Retirado de Barañano et al., 2021)*



O conflito de utilizações entre a pesca do marisco e a conservação das ervas marinhas resulta da sobreposição destas duas actividades na mesma zona marinha. Por um lado, a mariscagem é uma atividade económica importante que proporciona emprego e rendimentos às comunidades costeiras e que depende em grande medida da exploração de bancos de bivalves naturais que se encontram frequentemente nas zonas onde se desenvolvem as pradarias de ervas marinhas. Por outro lado, as pradarias de ervas marinhas são ecossistemas frágeis e altamente produtivos que prestam serviços ecológicos importantes, como a proteção costeira, a melhoria da qualidade da água e o habitat para uma variedade de espécies marinhas.

• **3.1.4 Exploração de recursos e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas**

As ervas marinhas encontram-se em zonas costeiras na interface terra-mar, desenvolvendo prados densos e contínuos ou mosaicos de áreas vegetadas e nuas (Fonseca et al. 2000; McKenzie et al. 2020). Esta estrutura espacial característica levou à formulação do termo “paisagem de ervas marinhas” há mais de duas décadas (Robbins e Bell 1994), que se refere a uma matriz de manchas de habitat ligadas entre si que apresentam uma elevada heterogeneidade espacial e temporal (Boudouresque et al. 2009).



Investigador a recolher dados de cobertura (Retirado de Barañano et al., 2021)



Três tipos de cobertura (Retirado de Barañano et al., 2021)

O processo de fragmentação do habitat refere-se tanto a uma redução do alcance de uma população como a uma mudança na sua configuração, alterando a disposição espacial das manchas em que se distribui, bem como as distâncias entre elas e a sua conectividade ou justaposição (Boström et al., 2011). Este processo está associado não só a uma perda de diversidade, mas também a uma alteração das funções do ecossistema, em que ocorre uma série de mudanças inter-relacionadas que afectam a estrutura do habitat (alterações no número, forma, tamanho e qualidade das manchas), bem como os processos ecológicos que ocorrem no sistema (Boström et al., 2011).

A antropização das zonas costeiras onde se desenvolvem prados de ervas marinhas conduz a uma maior fragmentação do habitat (Montefalcone et al., 2010). Em particular, a perturbação física dos prados de ervas marinhas, como as hélices dos navios, as âncoras dos barcos ou as dragagens (Boström et al., 2011), não só reduzem a extensão dos prados de ervas marinhas, como também afetam a sua estrutura espacial (Montefalcone et al., 2010), o que, por sua vez, altera a dinâmica dos prados e a estrutura trófica associada a este habitat (Rielly-Carroll e Freestone, 2017).



*As obras públicas e a eutrofização que podem afetar as pradarias de ervas marinhas*



A investigação recente nesta área tem registado o impacto que a mariscagem tem na ecologia destes ecossistemas, comprometendo a sua resiliência. Esta interação tem demonstrado alterar a dinâmica espacial e temporal, diminuindo a densidade e a cobertura, reduzindo a sua capacidade de armazenamento de carbono e o stock de carbono sedimentar associado. Foram também identificados padrões de diferenciação genética entre as populações afectadas e as populações de controlo, associados a uma diminuição da variabilidade genética, o que pode reduzir o seu potencial evolutivo e a sua resiliência a longo prazo.

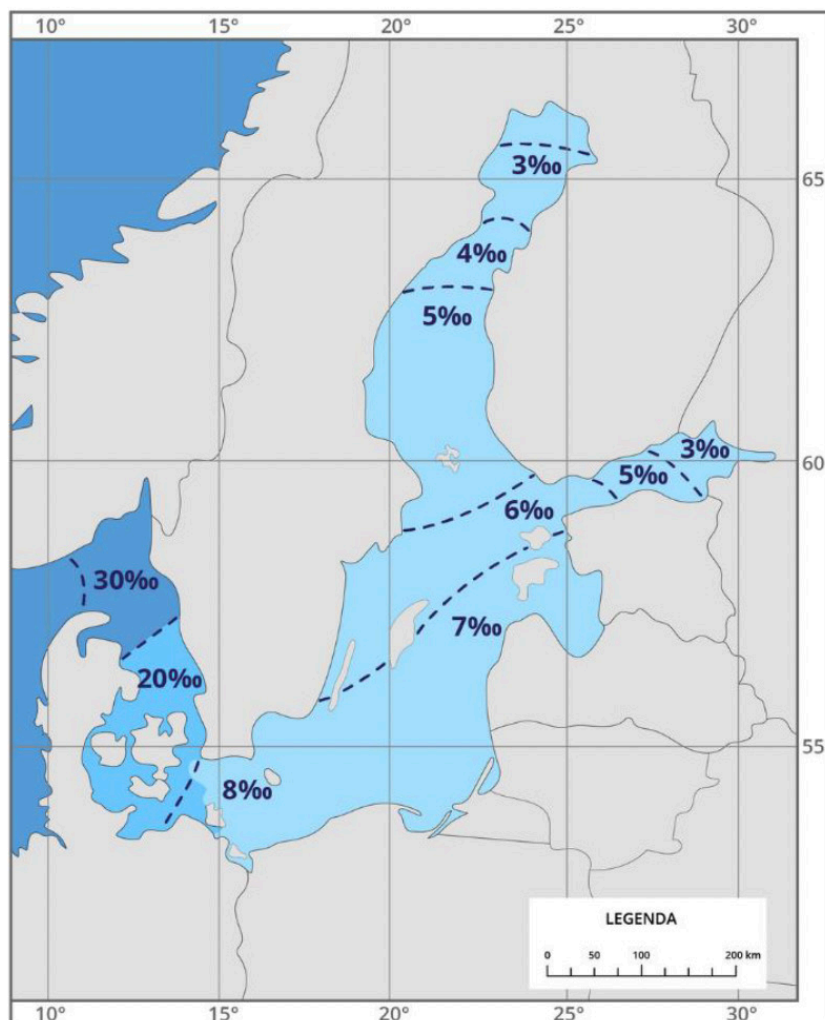
## 3.2 MAR BÁLTICO

### • 3.2.1 Características oceanográficas

O Mar Báltico é um mar interior no norte da Europa. É o mar menos salgado do mundo. A salinidade média das águas do Báltico é de apenas 7 por mil. As águas mais salgadas do Mar Báltico encontram-se em redor do Mar do Norte, onde a salinidade atinge os 20 por mil.



Fotografia do Mar Báltico (tirada de Surprising\_Shot)



Mapa da saída do Mar Báltico

A água salgada do Mar Báltico tende a afundar-se no fundo e a criar zonas anaeróbias. As águas do Mar Báltico são consideradas salobras, ou seja, uma mistura de água doce dos rios e de água do mar, com uma salinidade inferior à da maioria dos mares, mas superior à dos rios. Caracteriza-se por uma bacia hidrográfica muito grande, na qual correm cerca de 250 rios, os maiores dos quais são: Vístula, Oder, Neva, Neva, Kemi, Niemen, Lule, Gotha, Ångerman e Dvina, que fornecem uma grande quantidade de água doce. A baixa salinidade do Mar Báltico também se deve às temperaturas relativamente baixas e, conseqüentemente, à menor taxa de evaporação da água.

O Mar Báltico é um mar frio, a temperatura da água varia consoante a posição geográfica do local, de 12 a 22 graus no verão e de 0 a 3 graus no inverno. A temperatura média do mar é de 18 graus.

A bacia do Mar Báltico é uma zona altamente industrializada e urbanizada, onde vivem mais de 140 milhões de pessoas. Em resultado das actividades industriais, agrícolas e municipais, os poluentes e os resíduos orgânicos e inorgânicos, como os metais pesados, entram no mar. Estes acumulam-se na água do mar, nas matérias em suspensão e nos sedimentos. As substâncias tóxicas entram na cadeia alimentar, constituindo uma ameaça para a saúde animal e humana.

### • 3.2.2 Mar Báltico: processos de eutrofização

A eutrofização é provavelmente o maior problema ambiental que o Mar Báltico enfrenta atualmente. As principais causas são as cargas excessivas de azoto e fósforo, provenientes de zonas terrestres da bacia do Mar Báltico, bem como de zonas exteriores à bacia. O Mar Báltico foi descrito como tendo passado de oligotrófico (águas límpidas) a fortemente eutrófico no século XX. A causa da deterioração da transparência da água é o crescimento excessivo de algas verdes e cianobactérias provocado pelo aporte de nutrientes.

Dado que a troca de água com o Mar do Norte, mais salgado e mais bem oxigenado, é limitada, a matéria orgânica que cai no fundo do Mar Báltico durante a decomposição consome o oxigénio disponível, activando a via de redução do sulfato, que conduz ao sulfureto de hidrogénio, provocando a formação de zonas mortas no fundo, os chamados desertos de oxigénio, onde a vida dos peixes e de outros organismos aeróbicos é dificultada ou impedida. Desde o início do século XX, a superfície das zonas mortas no Mar Báltico aumentou mais de dez vezes. Atualmente, representam quase um quinto do nosso leito marinho e cobrem uma área maior do que a Dinamarca, que é a maior zona com falta de oxigénio nos mares europeus.



*Fotografia da eutrofização dos prados de Zostera*

Os rios são a principal fonte de nutrientes no Mar Báltico (mais de 80% para o azoto e mais de 90% para o fósforo). Por outro lado, se olharmos mais de perto para a poluição transportada pelos rios, a categoria mais importante de fontes antropogénicas é a poluição proveniente de actividades agrícolas. Esta representa 46% da carga total de azoto e 36% da carga total de fósforo que entra no Mar Báltico a partir dos Estados Bálticos. Um dos maiores fornecedores de compostos de azoto e fósforo para a bacia do Mar Báltico é a Polónia. Isto deve-se ao facto de dois grandes rios, o Vístula e o Oder, atravessarem a Polónia, facilitando a transferência de nutrientes da terra para o mar. Além disso, há três outros grandes rios que contribuem para a carga de nutrientes do Mar Báltico: o Dvina, o Neva e o Neman.

Só em 2010, 80 000 toneladas de azoto e 3 200 toneladas de fósforo entraram no mar Báltico (valores após normalização para as condições meteorológicas). Isto representa quase 5 vezes mais compostos de azoto e 9 vezes mais compostos de fósforo do que no início do século passado. Atualmente, cerca de 50% dos nutrientes que entram no mar Báltico provêm da agricultura. As suas fontes são as fezes dos animais e o excesso de fertilizantes que as plantas não conseguem absorver. As previsões indicam que a produção agrícola continuará a aumentar nos próximos anos devido ao crescimento da população e a uma sociedade mais rica que está a consumir cada vez mais carne. A produção mundial de alimentos poderá duplicar até 2050, o que aumentará significativamente as concentrações de azoto e fósforo na água.



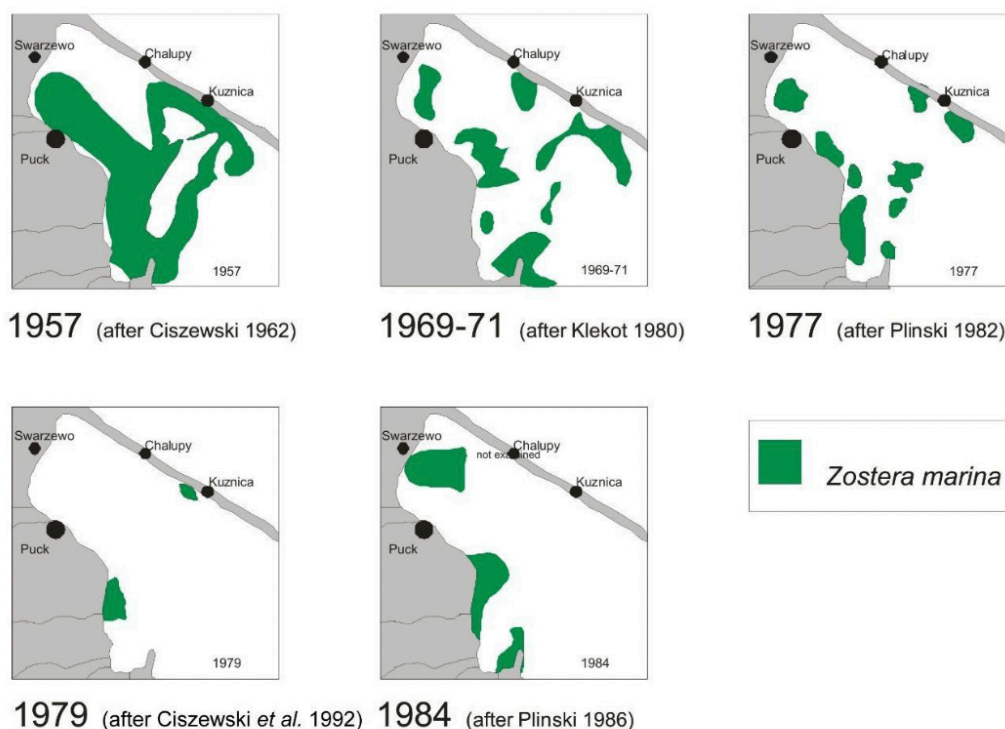
### • 3.2.3 Eutrofização e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas

As plantas aquáticas são úteis no combate aos efeitos da eutrofização porque utilizam elementos biogénicos para os seus processos de vida, reduzindo a sua concentração nas massas de água. Um exemplo deste tipo de planta é a fanerógama marinha *Zostera marina*, que há algumas décadas cobria a maior parte da baía de Puck, formando prados submarinos a 1-2 m de profundidade. Atualmente, esta espécie encontra-se em muito poucos locais da bacia. Os prados de ervas marinhas fornecem habitat e zonas de alimentação a muitas espécies de animais aquáticos, estabilizam os sedimentos e reduzem a erosão costeira. Também contribuem para uma melhor oxigenação das águas costeiras e melhoram a qualidade da água através da acumulação de poluentes (por exemplo, metais pesados) e de nutrientes em excesso.

As pradarias de ervas marinhas constituem também um habitat natural para a vida e a reprodução de muitas espécies de peixes e invertebrados, que são frequentemente de grande importância económica. Exemplos de espécies que se encontram nas pradarias de ervas marinhas do Mar Báltico são a amêijoia de areia (*Mya arenaria*) e a amêijoia serpentina (*Cerastoderma glaucum*), entre os bivalves, o robalo (*Perca fluviatilis*), o burbot comum (*Rutilus rutilus*), a perca (*Sander lucioperca*), o lúcio (*Esox lucius*), a solha (*Abramis brama*) e a solha (*Platichthys flesus*), entre os peixes, bem como a agulha-do-mar (*Syngathus typhle*) e a dourada (*Nerophis ophidion*).

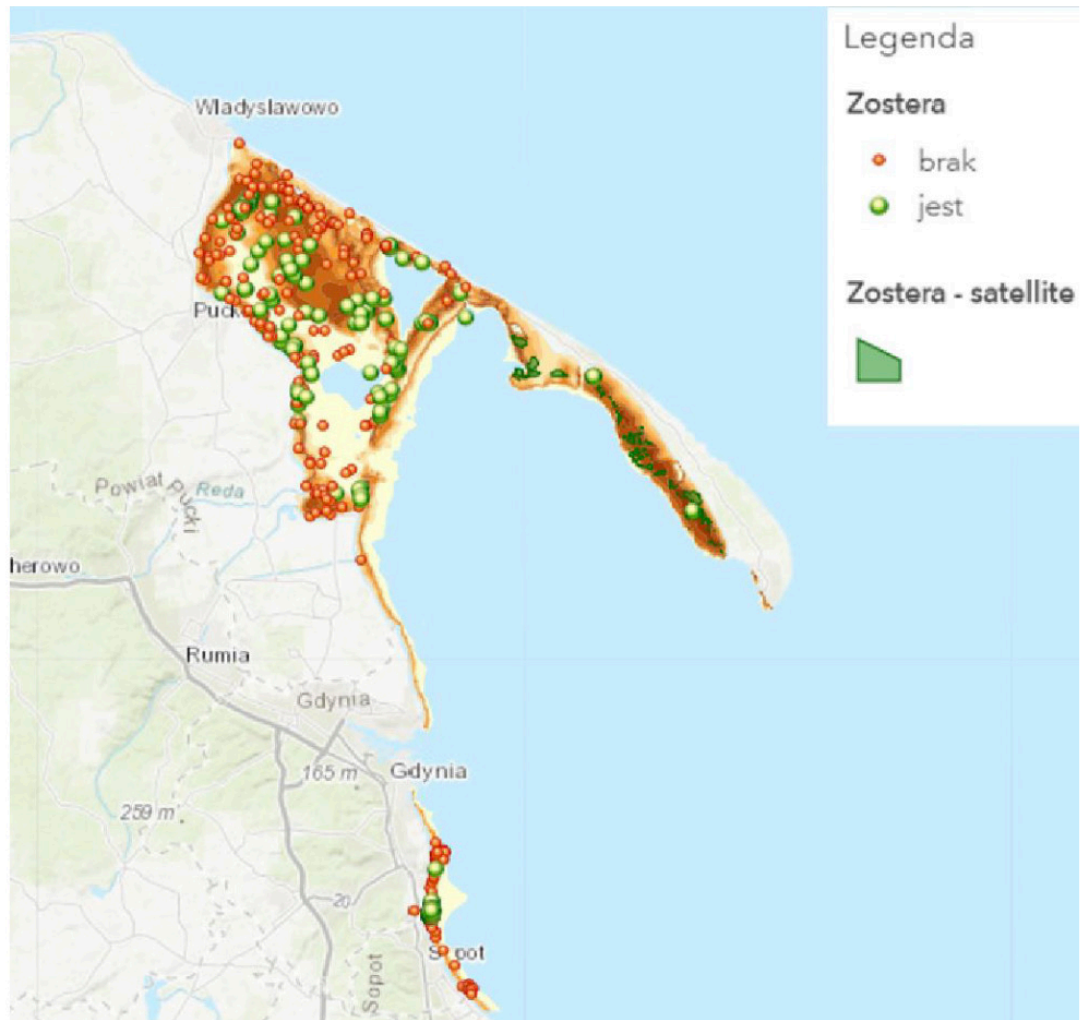
A eutrofização do Mar Báltico está a contribuir para o declínio de muitas espécies vegetais e animais. Um exemplo de uma espécie que está a sofrer um declínio significativo nas águas do Báltico em resultado da eutrofização é a *Zostera marina*. Outra razão para o declínio das pradarias de ervas marinhas tem sido a pesca em massa e a sua utilização na indústria de estofos, nos anos 60, como material para colchões e mobiliário. Desde a década de 1970, a zona costeira tem vindo a registar um aumento da extração de areia, o que também afectou negativamente a população de ervas marinhas.

A figura abaixo mostra as alterações na ocorrência de ervas marinhas na Baía de Gdansk entre 1957 e 1984.



Alterações na ocorrência de prados de ervas marinhas na Baía de Gdansk entre 1957 e 1984

A Baía de Gdansk é uma massa de água com condições típicas do Mar Báltico em termos de temperatura e salinidade (cerca de 7-8 PSU) (SatBaltyk, 2019), e o tipo de sedimento dominante é o sedimentar arenoso (HELCOM, 2018). Na Baía de Gdansk é possível distinguir regiões caracterizadas por uma maior biodiversidade do que outras áreas do fundo marinho. Uma delas são as comunidades das chamadas pradarias de ervas marinhas, que podem ser encontradas, por exemplo, na costa polaca (Fig. 1). A *Z. marina* é uma das plantas vasculares que se encontram no Mar Báltico (Podbielkowski e Tomaszewicz, 1979).



Presença de *Z. marina* na baía de Gdansk [1].

Os prados submersos de *Z. marina* são caracterizados por uma maior densidade de invertebrados do que as áreas adjacentes não plantadas (Bostrom e Bonsdorff, 1997; Włodarska-Kwalczuk et al, 2014; Dąbrowska et al, 2016). Proporcionam habitat e áreas de alimentação para muitas espécies animais, áreas de reprodução para peixes e abrigo de predadores para uma grande variedade de animais (Howard e Short, 1986; Nelson e Bonsdorff, 1990; Gonciarz, 2014).

A elevada diversidade e densidade de animais pode dever-se, entre outros factores, ao maior número de refúgios que proporcionam aos organismos do topo da cadeia alimentar contra os predadores (Bostrom e Bonsdorff, 1997). Além disso, as ervas marinhas desempenham um papel importante como espécies que podem alterar a direção das correntes oceânicas e estabilizar os sedimentos, evitando assim a erosão do fundo (Hemminga e Duarte, 2000). Os sedimentos encontrados nos leitos de ervas marinhas são caracterizados por uma maior quantidade de matéria orgânica (Bostrom e Bonsdorff, 1997), que fornece uma base alimentar para os detritívoros.

Os ecossistemas dos prados submersos de *Zostera* são muito diversificados. Encontram-se aqui muitas espécies de algas, plantas vasculares e animais. As espécies fitobentónicas mais comuns que formam este habitat são, para além da *Z. marina*, a *Zanichella palustris* e a *Stuckenia pectinata* (Dąbrowska et al., 2016). O fitobentos fornece habitat para muitas espécies de invertebrados e vertebrados. As espécies epifaunais características do complexo de prados de *Zostera* incluem caracóis, crustáceos e larvas de insectos. Os mexilhões também são comuns, por exemplo *Cerastoderma glaucum* e mexilhões juvenis (*Mytilus trossulus*). Moluscos como as amêijoas (*Mya arenaria*) e oligoquetas são abundantes nas pradarias de ervas marinhas. Outros organismos pertencentes à infauna constituem uma pequena fração (cerca de 10%) e incluem crustáceos, larvas de insectos e poliquetas (principalmente *Pygospio elegans* e *Hediste diversicolor*) (Bostrom e Bonsdorff, 1997; Dąbrowska et al., 2016). Entre a macrofauna bentónica dos prados submersos, podem encontrar-se várias espécies que actuam como espécies-chave. Estas espécies incluem crustáceos herbívoros do género *Idotea* e mexilhões que se alimentam de matéria orgânica em suspensão. Em termos de abundância, os prados submersos contêm um grande número de moluscos: formas juvenis de mexilhões e caracóis da família *Hydrobidae* e crustáceos (Bostrom e Bonsdorff, 2000; Leidenberger et al., 2012; investigação própria).





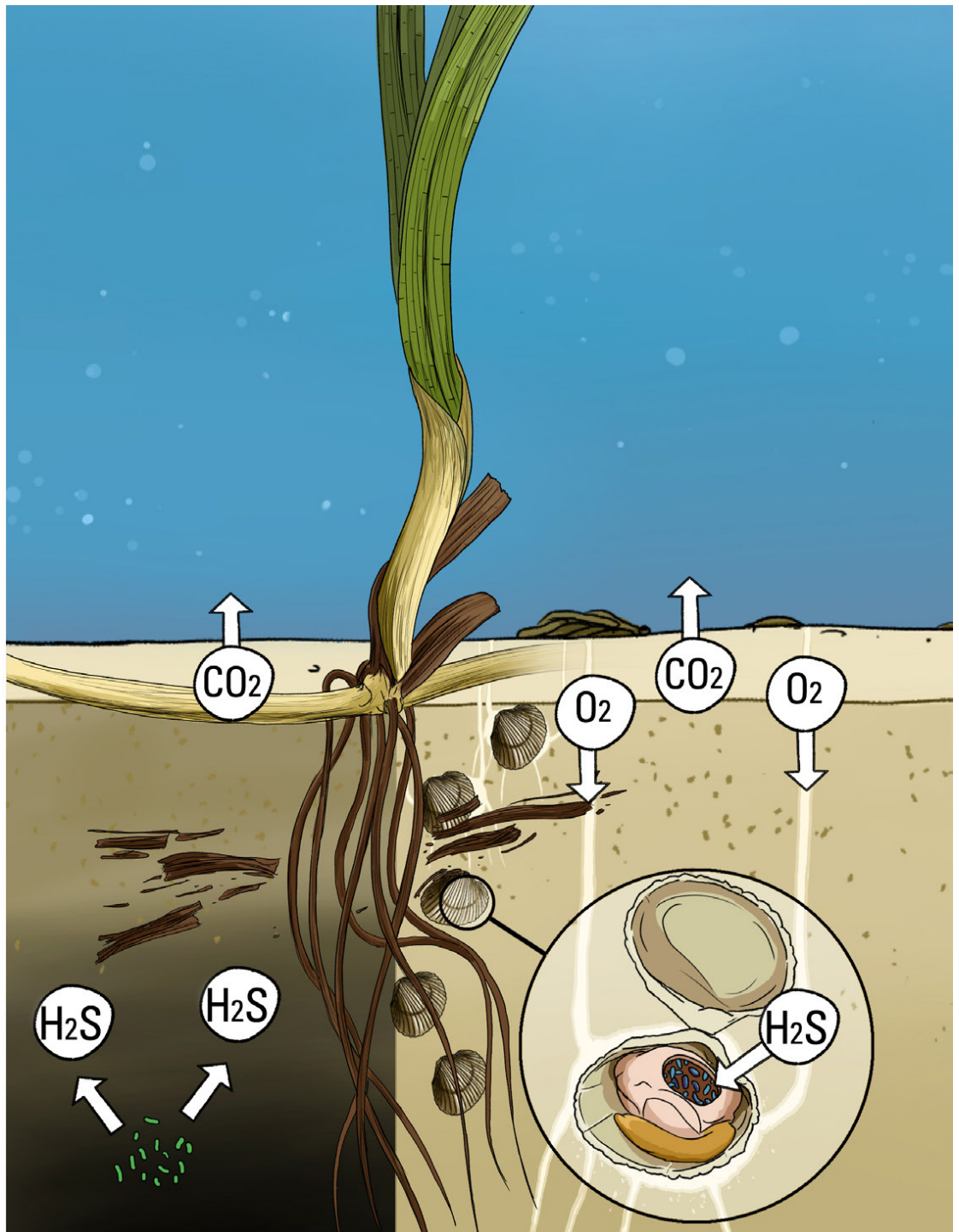
*Macrofauna em pradarias de ervas marinhas*

As macroalgas e as plantas vasculares que formam os prados são frequentemente cobertas por perífiton, que inclui flagelados fotossintéticos, diatomáceas sedentárias, algas filamentosas e organismos animais como protozoários e rotíferos. Os microfenólitos de perífiton são caracterizados por relações tróficas bem definidas e, por vezes, apresentam uma estrutura de empilhamento específica. A base é constituída por algas e as diatomáceas são depositadas no topo.



Outro elemento da estrutura do perifíton são os animais, tais como vermes, rotíferos, nemátodos, peixes-escorpião, gastrópodes, moscas e larvas de alguns insectos, e algas que se movem livremente entre as algas maiores (Plinski, 1995). O perifíton pode ter um efeito negativo na eficiência da fotossíntese das ervas marinhas. Reduz a disponibilidade de luz, compete com a planta pelos nutrientes e danifica as folhas das plantas que cobre (Howard e Short, 1986). No entanto, o perifíton é uma importante fonte de alimento para gastrópodes da família Hydrobidae e crustáceos do grupo dos anfípodes (Howard e Short, 1986; Dąbrowska et al., 2016). Os gastrópodes que se alimentam de perifíton são conhecidos como raspadores: têm uma raspadeira com a qual raspam o epífíton de várias superfícies (Plinski, 1995). A presença destes animais aumenta consideravelmente a densidade vegetal. Ao consumir o perifíton, que compete com as ervas marinhas pelos recursos, os raspadores permitem a proliferação das ervas marinhas. Além disso, os estudos mostram que a presença de espécies que se alimentam de perifíton reduz os efeitos negativos da eutrofização: a remoção do perifíton das folhas de *Zostera* permite que esta espécie absorva mais nutrientes da água. A quantidade reduzida de nutrientes na água não permite o crescimento de quantidades excessivas de algas, ou seja, os efeitos da eutrofização da água são reduzidos (Howard e Short, 1986; Philippart, 1995).

Para além das plantas que constituem os prados, os organismos animais incluem os bioturbadores encontrados nos prados submersos: animais que, através do movimento ou da respiração, melhoram as condições de vida nos sedimentos (Levinton, 1995; Herringshaw et al., 2010), 2010). Os seus meios de obtenção de alimento, de escavação e de vida no sedimento permitem a troca de substâncias químicas entre o sedimento e a água de fundo e irrigam e oxigenam o sedimento, impedindo a formação de condições anaeróbias no sedimento (Levinton, 1995; Janas et al., 2017). Este grupo de organismos inclui principalmente poliquetas, mas também bivalves (Janas et al., 2017).



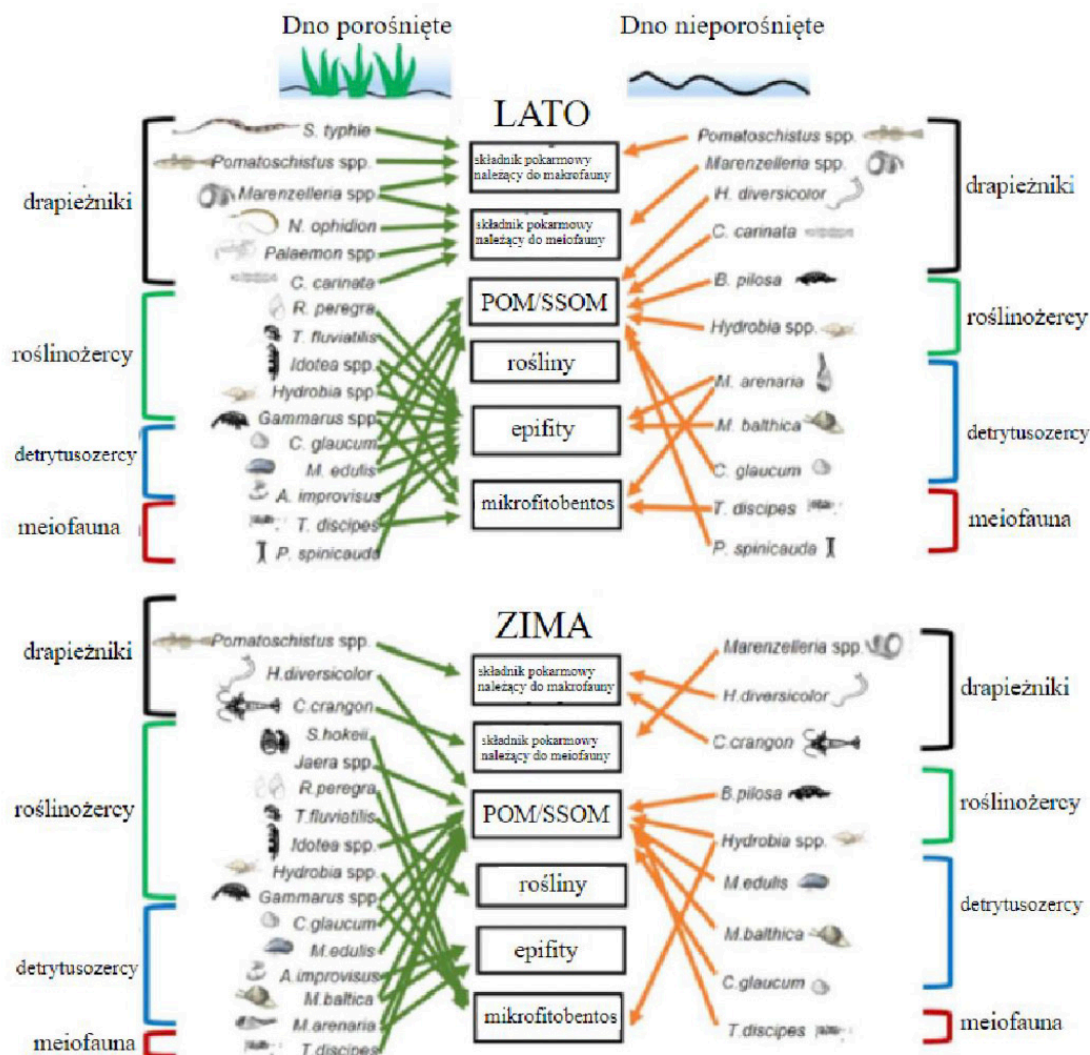
Relações de *Zostera* com espécies que impedem o desenvolvimento de condições anaeróbias  
(Retirado de Barañano et al., 2021)



Os prados de *Zostera* também constituem um abrigo e um bom viveiro para peixes como as baleias beluga e o lúcio (Czarnecka et al., 2013). A taxa de sobrevivência das larvas de peixes em prados submersos é muito mais elevada do que em zonas não urbanizadas. Isto deve-se à complexidade do ambiente dos prados e, por conseguinte, ao maior número de refúgios para os juvenis (Heck Jr., et al., 2003). Os prados submersos são utilizados como refúgios por espécies como as coníferas e as serpentes. Estas duas espécies, que pertencem à família das coníferas, adaptaram-se à vida nos prados submersos através do mimetismo: assemelham-se às gramíneas na aparência e no comportamento. É interessante notar que a presença destes peixes nos prados submarinos é influenciada pelo perifíton acima referido. É mais provável que o peixe-agulha escolha habitats de *Zostera* que não estejam cobertos por perifíton do que aqueles que estão cobertos. Este facto pode estar relacionado com a melhor camuflagem dos peixes entre as ervas não plantadas e a maior abundância de *Zostera* nesses prados (Sundin et al., 2011).

Os organismos presentes nos prados submersos estão ligados através de numerosas relações tróficas (Fig. 2). Num ecossistema rico em espécies, a energia flui através de vários elos da cadeia alimentar. Os produtores nos prados incluem as plantas vasculares, as macroalgas e o perifíton. Os consumidores primários são principalmente invertebrados herbívoros, como gastrópodes e crustáceos. Os consumidores de segunda ordem são invertebrados predadores (por exemplo, *Cyathura carinata* e poliquetas do género *Marenzelleria*) e vertebrados: peixes e aves. Além disso, os prados também albergam numerosos detritívoros, como poliquetas e bivalves, bem como alimentadores de filtros - ciclídeos (*Amphibalanus improvisus*) e mexilhões (*M. trossulus*) (Jankowska et al., 2019). No entanto, é de notar que os organismos que vivem em prados submersos não devem ser atribuídos a um único grupo da teia alimentar. Alguns organismos, por exemplo os crustáceos do género *Idotea*, podem alimentar-se de plantas, perifíton, partes de plantas mortas, mas também de animais mais pequenos (*I. balthica*). As preferências alimentares podem também variar dentro de uma mesma espécie, consoante a zona habitada. Por exemplo, a *C. carinata* alimenta-se principalmente de meiofauna se habitar fundos de ervas marinhas, enquanto em fundos marinhos não melhorados se alimenta principalmente de matéria orgânica sob a forma de partículas (Jankowska et al., 2018).





Modelação das relações tróficas em áreas vegetadas e não vegetadas (Jankowska et al., 2019)

Como se pode ver, as pradarias de ervas marinhas são habitats muito diversificados. No entanto, são altamente vulneráveis às alterações climáticas e aos impactos antropogénicos (Short et al., 2011). Estes factores afectam o declínio das pradarias de ervas marinhas do Báltico. *Z. marina* e *Furcellaria fastigiata* estão estritamente protegidas na Polónia (Jornal das Leis 2014, item 1409) e estão incluídas na Lista Vermelha Polaca de Plantas e Fungos com a categoria VU (vulnerável) (Każmierczakowa et al., 2016). Por conseguinte, devem estar sob proteção ativa para evitar a degradação deste habitat no mar Báltico.

### 3.3 MAR NEGRO

#### • 3.3.1 Características oceanográficas

O Mar Negro é um mar interior situado no extremo sudeste da Europa. Faz fronteira a norte com a Ucrânia, a nordeste com a Rússia, a leste com a Geórgia, a sul com a Turquia e a oeste com a Bulgária e a Roménia (Figura 3.1.1.1). Tem uma profundidade máxima de 2.210 m. O Mar Negro tem uma área de 422.000 km<sup>2</sup> e está ligado ao Mar Egeu pelo Bósforo, pelo Mar de Mármara e pelos Dardanelos, e ao Mar de Azov pelo Estreito de Kerch. O seu território é atravessado por numerosos rios, nomeadamente o Danúbio, o Dniester, o Dniester, o Bug, o Dnieper, o Kuban, o Kizil e o Sakarya. A norte, situa-se a península da Crimeia. Criada quando as convulsões estruturais na Ásia Menor separaram a bacia do Mar Cáspio do Mar Mediterrâneo, Mar Negro tornou-se gradualmente isolado (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>)



Figura 3.1.1.1 Mar Negro  
 (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>)



É um mar de água salgada, mas com uma salinidade inferior à dos oceanos. A salinidade das águas superficiais do Mar Negro varia entre 17 e 18 partes por mil, cerca de metade da dos oceanos. No Mar Negro, a profundidades entre os 50 e os 150 metros (<https://www.britannica.com/place/Black-Sea>), regista-se um aumento acentuado da salinidade, até 21 partes por mil.

O segundo e o terceiro maiores rios da Europa fornecem água doce ao mar e influenciam a salinidade da água do mar. A entrada do Danúbio, do Dniester, do Nistru, do Nipro e do Don desempenha um papel ainda mais importante no balanço hídrico do Mar Negro (Figura 3.1.1.2) do que a evaporação e a troca de água salgada com o Mediterrâneo (que representa apenas 0,1% do volume anual do mar). Os três primeiros rios, juntamente com o Bug do Sul, que entra no mar pelo noroeste, fornecem mais de 70% de toda a água doce que flui para o mar. Os rios das costas leste, sul e oeste têm áreas de drenagem muito mais pequenas e contribuem com cerca de 20% do caudal de água doce. Os dados geográficos são apresentados no quadro 3.1.1.1.1.



Figura 3.1.1.2 Os rios mais importantes que desaguam no Mar Negro (de acordo com Bat et al., 2009; Jitar et al., 2015)

### Quadro 3.1.1.1 Dados geográficos - Mar Negro

(<http://archive.iwlearn.net/bsepr.org/Text/ESP/Geography.htm>)

Área / km <sup>2</sup>	423.000 (462.000 com o Mar de Azov)
Profundidade/m	1271 (média)/ 2212 (máximo)
Área de drenagem / km <sup>2</sup>	2,500,000
Volume /km <sup>3</sup>	547,000
Maré /cm/	3-10
Comprimento do litoral / km /	4090
Número de ilhas / km <sup>2</sup>	Cerca de 10 (com uma superfície superior a 0,5)

#### • 3.3.2 Forças motrizes e pressões antrópicas

Embora durante muito tempo popular pelas suas estâncias balneares, o Mar Negro tem sofrido nas últimas décadas de uma grave poluição. A pesca tem uma longa história na região e sempre proporcionou um bom rendimento a uma parte da população costeira, exceto nas últimas quatro décadas, em que a pesca industrial registou uma redução significativa tanto da quantidade como da variedade das capturas. Atualmente, as capturas de peixe da Turquia lideram a região, seguidas da Ucrânia e da Rússia, enquanto a Bulgária, a Roménia e a Geórgia têm capturas simbólicas.



A produção industrial na região depende não só da agricultura, mas também dos recursos minerais e energéticos locais, bem como das competências e tradições da população local. Os depósitos de carvão e de minerais fornecem matérias-primas para a energia térmica e a metalurgia, especialmente na Ucrânia, na Rússia e na Turquia. Noutros países, as cidades costeiras desenvolveram-se frequentemente como importantes centros industriais, simplesmente porque os seus portos servem de porta de entrada para as importações ou exportações (<http://archive.iwlearn.net/bsepr.org/Text/ESP/Geography.htm>).

O turismo é um sector relativamente novo na região. Oferece óptimas opções para combinar o turismo marítimo convencional com o turismo à beira-mar e o turismo cultural. Nas décadas de 1960 e 1980, foram criadas estâncias impressionantes ao longo da costa ocidental, incluindo grandes estâncias para turistas internacionais, como Sunny Beach e Golden Sands na Bulgária e Mamaia na Roménia.

O lado romeno do Mar Negro é a zona turística mais explorada da Roménia. Ao longo da costa marítima existem 2 municípios, 2 cidades maiores e 2 cidades mais pequenas, bem como numerosas estâncias de verão. As principais cidades e a principal área de interesse, onde a maioria das estâncias e atracções turísticas estão localizadas, estão no condado de Constanța; o outro condado que faz fronteira com o mar é o condado de Tulcea, ambos parte da histórica região de Dobrogea. A principal cidade, que também é considerada a capital desta região, é Constanța (290.000 habitantes). A segunda maior é Mangalia (50.000 habitantes), seguida por Năvodari (39.000 habitantes), ambas no condado de Constanța. Outras cidades são Constanta - Constanta, Constanta - Constanta, Constanta - Constanta: Sulina (3.300 habitantes) (Tulcea), Eforie (10.000 habitantes) e Techirghiol (7.000 habitantes) ([https://ro.wikipedia.org/wiki/Litoralul\\_rom%C3%A2nesc](https://ro.wikipedia.org/wiki/Litoralul_rom%C3%A2nesc)).

A poluição do Mar Negro por metais pesados é um problema multinacional causado por actividades antropogénicas perto de zonas costeiras e de rios que desaguam no mar. É importante identificar cada fonte de poluição, mas é bastante difícil apresentar um inventário das fontes de poluição pontuais e difusas devido às numerosas e variadas actividades e descargas transfronteiriças (Jitar et al., 2015).

### Quadro 3.1.2.1. Principais fontes antropogénicas e tipo de atividade desenvolvida (Jitar et al., 2015)

Fontes antropogénicas	Tipo de substrato
Porto (pequenas embarcações e iates) e atividades turísticas	Rochoso
A1 - Estação de tratamento de águas residuais municipais de Constanța Nord	Rochoso
A2 - Constanța Sud - estação de tratamento de águas residuais municipais (que também trata as águas residuais do porto)	Rochoso
A3 - Eforie Sud - estação municipal de tratamento de águas residuais	Rochoso e arenoso
A4 - Mangalia - estação municipal de tratamento de águas residuais	Rochoso e arenoso
Atividades turísticas	Arenoso

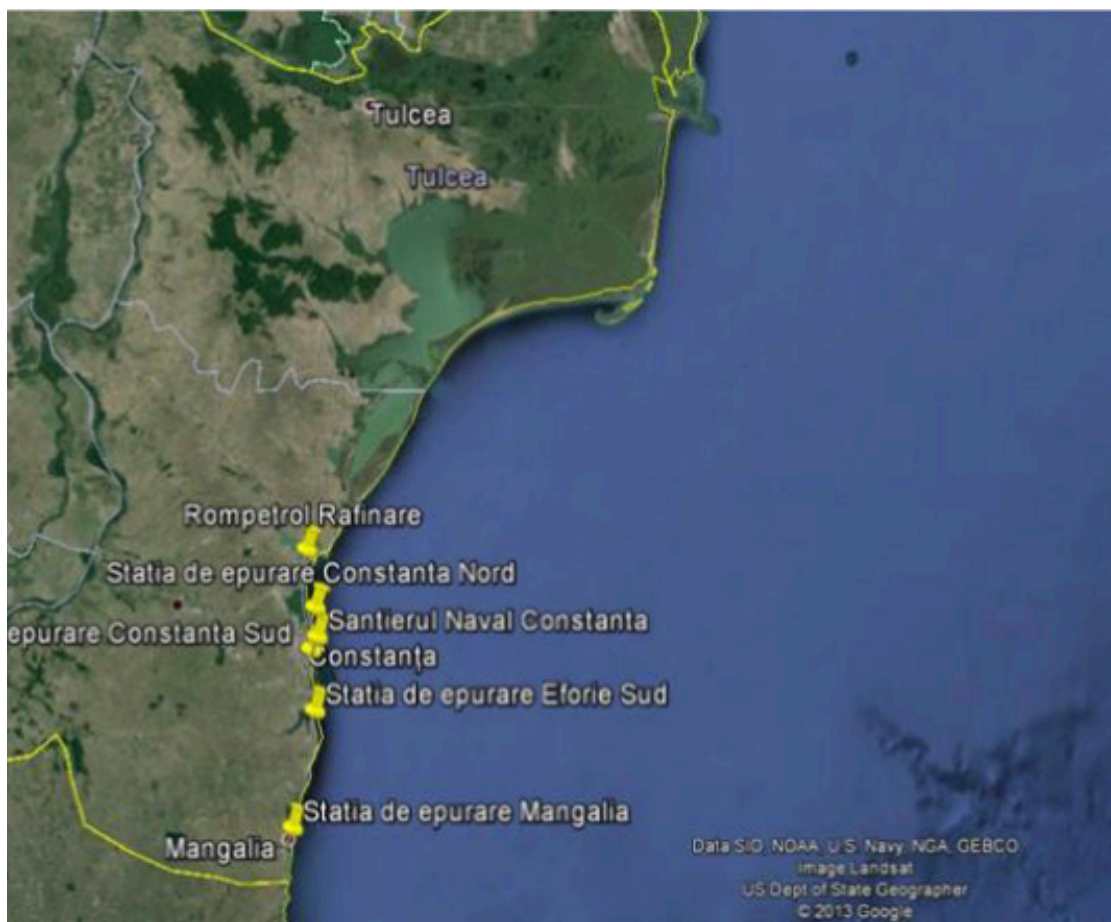


Figura 3.1.2.1: Principais fontes pontuais de poluição localizadas ao longo da costa romena (Google Earth, Jitar et al. 2015).

De acordo com as fontes oficiais de informação fornecidas pelo programa nacional de monitorização do Mar Negro (INCDM “Grigore Antipa” e a Administração da Bacia do Dobrogea-Litoral, ABADL), as principais fontes de poluição por metais pesados para o sector romeno do Mar Negro são: Danúbio, poluição local, fontes na zona costeira romena e fontes de poluição localizadas no sector ucraniano do Mar Negro (Jitar et al., 2015) (Figura 3.1.2.2.).

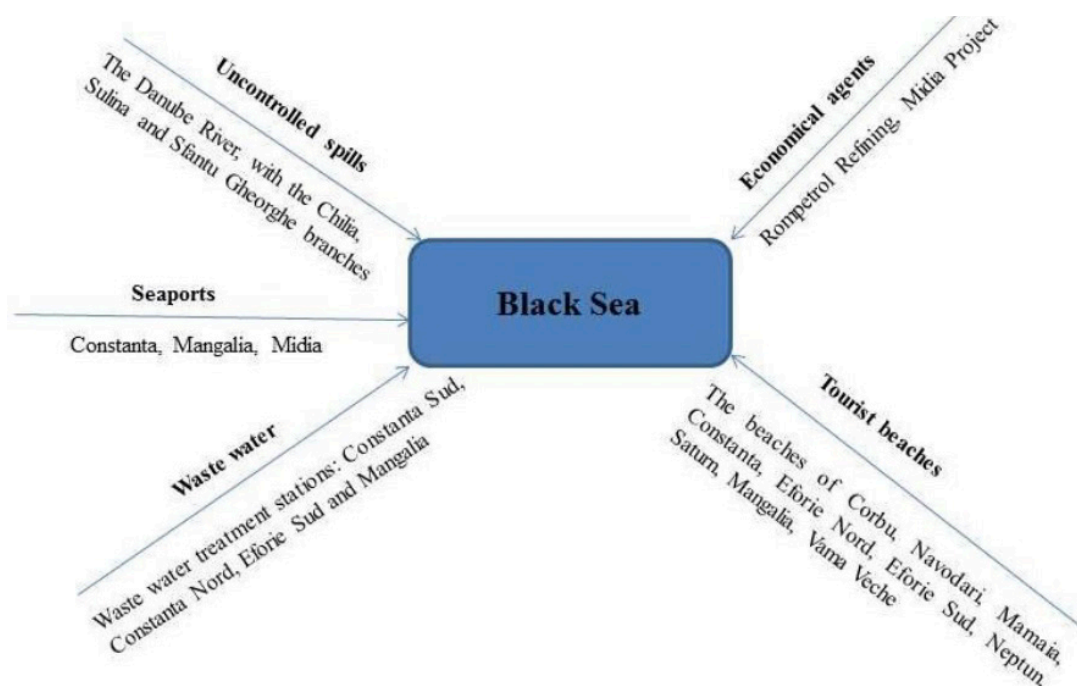


Figura 3.1.2.2 Fontes localizadas de poluição na costa romena do Mar Negro  
(<https://www.spiritbsb.online/sources-of-pollution-and-pollutants-from-the-coastal-area-of-the-black-sea-in-romania/>)

O Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento em Geologia e Geoecologia Marinha - GeoEcoMar identificou as seguintes grandes pressões com um enorme impacto nos ecossistemas marinhos em geral e nos prados de *Zostera* em particular:

- Sufocação (por exemplo, colocação de estruturas artificiais ou deposição de resíduos dragados);
- Obstrução (por exemplo, por construções permanentes);
- Alterações na sedimentação (por exemplo, durante derrames, aumento dos caudais ou dragagem/descarga de lamas dragadas);
- Erosão (por exemplo, devido ao impacto da pesca comercial, da navegação e das manobras de amarração no fundo do mar);



- Introdução de espécies não nativas e translocações;
- Alterações importantes no regime de salinidade;
- Alterações significativas no regime de temperatura;
- Introdução de nutrientes e outras substâncias ricas em azoto e fósforo;
- Introdução de substâncias orgânicas (por exemplo, esgotos, maricultura, aluvião);
- Introdução de organismos microbianos patogénicos;
- Extração seletiva (por exemplo, devido à prospeção e exploração de recursos biológicos e não biológicos no fundo do mar e no subsolo);
- A introdução de compostos sintéticos;
- Introdução de substâncias e compostos não sintéticos;
- Introdução de radionuclídeos.

Em conformidade com as referências da UE (Diretiva 2000/60/CE que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água (DQA); Diretiva 91/676/CEE relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola; Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos; Diretiva 91/271/CEE, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas; Diretiva 2006/7/CE, relativa à gestão da qualidade das águas balneares; Diretiva 2000/59/CE, relativa aos meios portuários de receção de resíduos gerados em navios e de resíduos da carga, com a redação que lhe foi dada pela Diretiva 2002/84/CE, pela Diretiva 2007/71/CE e pelo Regulamento n.º 137/2008; Diretiva 2009/123/CE que altera a Diretiva 2005/35/CE relativa à poluição por navios e às sanções aplicáveis em caso de infração à MARPOL 73/78; Convenção para a Proteção do Mar Negro contra a Poluição - Protocolo relativo à Proteção do Meio Marinho do Mar Negro contra a Poluição causada por Operações de Imersão; Diretiva 2011/92/UE relativa à avaliação dos efeitos de determinados projectos públicos e privados no ambiente; Diretiva 2001/42/CE relativa à avaliação dos efeitos de determinados planos e programas no ambiente; Regulamento (UE) n.º .... 1380/2013 relativo à política comum das pescas; Diretiva 92/43/CEE relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (Diretiva Habitats); Convenção Internacional para o Controlo e a Gestão das Águas de Lastro e dos Sedimentos dos Navios; REGULAMENTO (CE) N. 708/2007 relativo à utilização da Política Comum das Pescas; Diretiva 92/43/CEE do Conselho relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (Diretiva Habitats); Convenção Internacional para o Controlo e a Gestão das Águas de Lastro e dos Sedimentos dos Navios; Regulamento (CE) n.º 708/2007 do Conselho relativo à utilização na aquicultura de espécies exóticas e de espécies ausentes localmente;



Regulamento (UE) n.º 1143/2014 relativo à prevenção e gestão da introdução e propagação de espécies exóticas invasoras Orientações da OMI para o controlo e a gestão dos biocombustíveis marinhos a fim de minimizar a transferência de espécies invasoras aquáticas (Resolução MEPC 207/62)), são propostas várias medidas para proteger os ecossistemas marinhos:

- Gestão e redução das fontes difusas de poluição, incluindo a deposição atmosférica;
- Desenvolvimento do Plano de Ação Regional para o Lixo Marinho (uma metodologia regional comum para quantificar o lixo marinho, identificar fontes, detetar infractores, etc.);
- Melhorar a gestão dos resíduos dos navios;
- Organização coordenada e/ou apoio a campanhas regulares (anuais) de sensibilização da comunidade empresarial (comerciantes, operadores de praia, pescadores, etc.) e do público (turistas, estudantes, crianças, etc.) sobre as fontes e as consequências do lixo marinho para o ambiente e a necessidade de reciclar os resíduos;
- Criação de instalações nos locais de desembarque para tratar o lixo marinho recolhido pelos pescadores e os resíduos orgânicos resultantes da transformação das capturas a bordo dos navios;
- Facilitar e aplicar práticas de “pesca a partir de resíduos” respeitadoras do ambiente;
- Alterar a legislação em vigor, se necessário, introduzindo um regime de autorização para as actividades no meio marinho;
- Designação de zonas em que as artes de arrasto de vara são autorizadas e observação a longo prazo do seu impacto;
- Desenvolver/atualizar os planos de gestão das AMP em conformidade com os requisitos da MSFD e incluindo as OR nacionais e comuns - Objectivos BG Estabelecer redes coerentes e representativas de AMP, incluindo AMP na Roménia e na Bulgária, incluindo planos de gestão. Aumentar a monitorização das actividades regulamentadas nas AMP;
- Criação de corredores ecológicos entre áreas marinhas protegidas;
- Criação de mapas de risco para habitats em zonas protegidas Natura 2000;
- Harmonizar o ordenamento do espaço marítimo (OEM) com o plano de ordenamento para apoiar as medidas de proteção e conservação das espécies e dos habitats;

- Harmonizar o ordenamento do espaço marítimo (OEM) com o plano de ordenamento para apoiar as medidas de proteção e conservação das espécies e dos habitats;
- Elaborar mapas de distribuição das espécies marinhas protegidas (à escala regional/nacional) nas zonas marinhas protegidas (por exemplo, Zostera);
- Melhorar os planos de gestão através do desenvolvimento de medidas de conservação do ambiente ambiente e aluno para as AMP;
- Avaliação das funções e serviços dos ecossistemas.

### 3.3.3 Infra-estruturas costeiras e perda de serviços ecossistémicos das ervas marinhas

No Mar Negro, *Zostera noltei* e *Zostera marina* são ervas marinhas abundantes, mas pouco se sabe sobre a sua sensibilidade ao desenvolvimento costeiro.

De acordo com o relatório sobre o estado do ambiente no Mar Negro, observou-se nas últimas décadas um declínio considerável das fanerogâmicas *Zostera marina* e *Z. noltei* (ervas marinhas). Nos últimos 30 anos, a população de ervas marinhas decuplicou em águas pouco profundas. A principal razão para a degradação das comunidades *Zostera* foi a mobilização de lamas por dragagem na zona costeira. Esta depleção da comunidade de macrófitas foi observada em muitas zonas de fundo rochoso e conduziu ao atual declínio da biodiversidade no noroeste do Mar Negro (<http://www.blacksea-commission.org>).

Muitas das estruturas de defesa costeira (esporões, quebra-mares e molhes) ao longo da costa sul da Roménia deterioraram-se e a sua eficácia no controlo da erosão das praias e na proteção da costa foi significativamente reduzida (Halcrow UK et al., 2011-20).

A reconstrução de diques e a construção de praias artificiais na costa romena do Mar Negro constituem uma grande ameaça para a sobrevivência dos prados de ervas marinhas (*Zostera noltei*) e para a maioria dos habitats Natura 2000 presentes no sítio.

## MÓDULO 2: INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA PARA A TRADUÇÃO DIDÁTICA

Com o objetivo de fornecer evidências, dados e provas que permitam a argumentação na investigação científica escolar apresentada no Guia Didático criado no Módulo 3, foram concebidas duas experiências para facilitar a transposição didática da investigação científica recolhida neste itinerário de formação. De acordo com a procura do que é mais paradigmático do ponto de vista curricular das Ciências Escolares no âmbito da abordagem “One Health”.

**a.** Primeira experiência: CONTROLO DOS ORGANISMOS NOXÍGENOS ATRAVÉS DA ZOSTERA. O objetivo é formar os alunos nos conhecimentos básicos e na aquisição de dados e justificações que lhes permitam argumentar sobre a capacidade da Zostera para controlar o crescimento de vários tipos de microrganismos marinhos nocivos para o homem.

**b.** A segunda experiência: o teste sobre o teor de matéria orgânica no SEDIMENTO. O objetivo é formar os alunos em conhecimentos básicos e adquirir dados e justificações que lhes permitam argumentar sobre a capacidade da Zostera para filtrar sedimentos e atuar na arena do carbono azul, retirando carbono da atmosfera e actuando como reservatório de dióxido de carbono.



*Os alunos debatem dados e provas de uma atividade laboratorial no âmbito de uma investigação sobre os serviços do ecossistema das ervas marinhas*



## 1. UMA DESCRIÇÃO DO POTENCIAL PARA DEMONSTRAR A CAPACIDADE DAS ERVAS MARINHAS PARA MELHORAR A SAÚDE HUMANA

A fim de desenvolver argumentos na investigação científica escolar, são necessárias provas, segundo o modelo “One Health” da OMS, sobre as contribuições ambientais das ervas marinhas para permitir a consideração da saúde humana. Um dos principais problemas que podem resultar do consumo de bivalves para a saúde humana é a produção de toxinas pelas algas dinoflageladas que causam as marés vermelhas. Os primeiros envenenamentos só foram registados em 1976, quando ocorreram envenenamentos na Suíça e em França devido ao consumo de mexilhões exportados da Galiza, tendo havido nessa altura 23 hospitalizações graves devido a toxinas paralisantes. Nesse ano, registaram-se também hospitalizações em Santiago de Compostela e Segóvia, em Espanha. Os sintomas das pessoas envenenadas hospitalizadas eram a paralisia muscular.



*Água do mar com tonalidades avermelhadas*

Os produtores destas toxinas são algas unicelulares conhecidas por se tornarem vermelhas quando proliferam. Os dinoflagelados são algas unicelulares microscópicas que fazem parte do plâncton marinho e constituem uma fonte de alimento para moluscos bivalves e gastrópodes. Estas algas unicelulares são responsáveis pela cor avermelhada quando proliferam, produzem toxinas paralíticas, diarreicas e amnésicas que, quando filtradas e concentradas em grandes quantidades pelos bivalves, podem causar graves problemas de saúde ao homem quando consumidas. A principal causa das marés vermelhas na Galiza são os ventos de sul, quando cessam os ventos de norte-nordeste que facilitam o crescimento da água, tal como se explica no Módulo I. Quando estes ventos de norte-nordeste mudam para ventos de sul, podem ocorrer marés vermelhas.

A questão de saber se existem serviços ecossistémicos para mitigar a proliferação de dinoflagelados é, portanto, de interesse do ponto de vista da abordagem transversal “One Health” da OMS. Precisamente entre as suas muitas contribuições para a sociedade humana, há uma que é pouco conhecida e que está atualmente a merecer a atenção da comunidade de investigação. Trata-se de uma contribuição claramente benéfica para a saúde humana, que consiste na sua capacidade de controlar o crescimento de vários tipos de microrganismos marinhos nocivos para o homem.

Estas investigações são de grande interesse para as propostas curriculares centradas na “One Health”, razão pela qual é interessante desenvolver simulações do processo experimental para uso escolar, uma vez que as investigações são muito difíceis de replicar no trabalho de campo das ciências escolares. Por esta razão, as simulações e as experiências mentais são de interesse nos processos de investigação e argumentação típicos da ciência escolar, porque deixam evidências, provas e justificações capazes de chegar às conclusões necessárias para a interpretação dos processos experimentais que nos permitiram saber até que ponto a *Zostera* pode ser benéfica para a saúde humana. Portanto, as simulações e as experiências mentais translacionais didáticas desempenham um papel no desenvolvimento de processos de argumentação para obter representações mentais eficazes que podem ser aplicadas para compreender a importância de “Uma Saúde” dos prados de ervas marinhas.



*Grupos de alunos que recolhem provas para os seus argumentos num processo de investigação. em ciências escolares sobre as funções dos prados de Zostera*

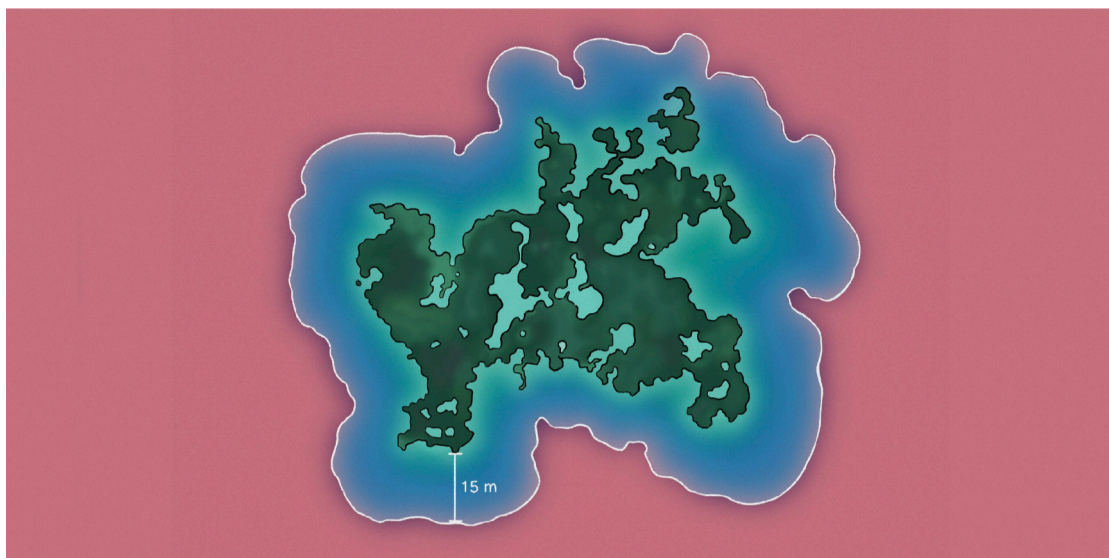
Além disso, estes processos de argumentação didática podem ser interessantes para introduzir os alunos na tradução didática do método científico aplicado pelos investigadores a favor dos serviços ecossistémicos e da saúde humana. Para alargar o valor de *Zostera* na interpretação dos benefícios dos prados para a saúde humana, ao mesmo tempo que se introduz o papel nocivo dos dinoflagelados, é interessante aproveitar a oportunidade para introduzir o outro tipo de espécies nocivas para os seres humanos, nomeadamente os microrganismos patogénicos, principalmente as bactérias, que, ao contrário dos dinoflagelados, que são eucariotas unicelulares do reino protocista, as bactérias pertencem ao reino monera, e são, portanto, procariotas unicelulares. Para o efeito, os seguintes estudos de caso são formulados num verdadeiro formato de argumentação baseada em problemas.



• **1.1 Questão-problema 1: Pode a Zostera ajudar a reduzir as toxinas no mar vermelho?**

Num trabalho de investigação recente publicado em 2020, estudaram a composição da comunidade microalgal que vive na água dentro e à volta das ervas marinhas, concentrando-se em particular nos dinoflagelados, uma vez que este é o grupo de microalgas a que pertence a maioria dos microrganismos produtores de toxinas no mar. Observaram que estes organismos eram significativamente menos abundantes na área onde as ervas marinhas estão presentes. Em todos os casos, a abundância foi maior na zona dominada por sedimentos nus. Continuando a análise do mesmo estudo, quando se compara a abundância de dinoflagelados acima dos prados com a abundância destes organismos a distâncias crescentes dos prados, conclui-se que a menor abundância de dinoflagelados não se encontra apenas acima dos prados, mas é também observada em áreas adjacentes aos prados, pelo menos até uma distância de 15 m dos prados.

**1.** Interpretação do problema: O professor pode abordar o problema a nível escolar a partir da infografia abaixo, na qual um prado de ervas marinhas que emerge de águas pouco profundas é visualizado como uma mancha verde. A água avermelhada está associada à presença de um dinoflagelado do género *Alexandrium*. O que aparece a azul num raio de 15 metros é a água do mar sem a presença de dinoflagelados.



*Infografia para apresentar intuitivamente o problema aos alunos com a cor da maré vermelha e o seu desaparecimento no prado e a uma distância de 15 m do mesmo.*



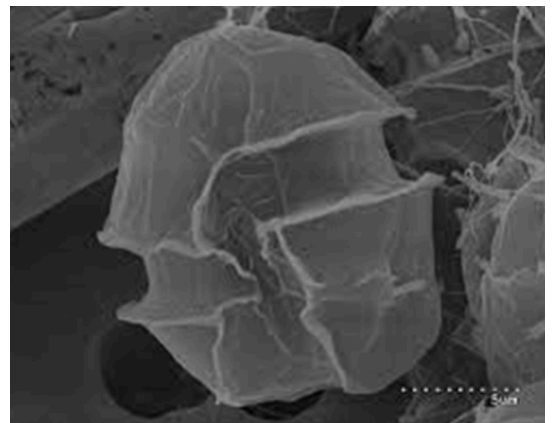
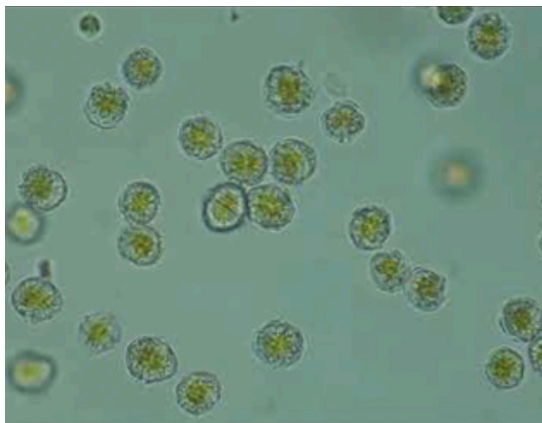
**2.** Desta forma, é possível avançar no desenvolvimento da argumentação que permite a recolha de provas necessárias para a interpretação do problema:

**a.** Porque é que acha que há menos dinoflagelados nas pastagens?

**b.** Se o baixo número de dinoflagelados se mantiver a uma distância de 15 metros, como mostram os dados, haverá alguma coisa na estrutura da planta que impeça os dinoflagelados?

**c.** Se a resposta for negativa, podes perguntar: As plantas também podem influenciar o declínio a uma distância de 15 metros? Em caso afirmativo, como é que elas exercem essa influência?

**d.** Na cultura experimental, os investigadores incluíram dinoflagelados do género *Alexandrium*. Qual é o seu interesse por este género, tendo em conta os efeitos das marés vermelhas no ser humano? mareas rojas en el ser humano?



*Grupo de dinoflagelados *Alexandrium* (a) e pormenor de um deles (b)*

**e.** Se se confirmar que quanto maior for a concentração de *Zostera*, menor será a concentração de *Alexandrium*, quais são as consequências desta evidência?

**3.** Formulação da hipótese: Dar uma resposta ao problema, antecipando a solução (formulação da hipótese), tendo em conta o enunciado do problema, utilizando as palavras: abundância de prados e dinoflagelados.

**4.** É-lhes dito que vão testar a veracidade da hipótese utilizando 5 frascos de cultura de *Alexandrium* e 5 frascos de cultura de *Alexandrium* + planta *Zostera*. Para continuar a argumentação para a resolução deste problema, coloca-se a seguinte questão: Porque é que nos dão 5 frascos de cada tipo? Não deveria ser suficiente apenas um frasco?

5. Para integrar melhor os dados que envolvem conhecimentos de base que lhe permitem justificar a validade e a rejeição da hipótese, é interessante argumentar seguindo este quadro:

a. Observa o gráfico que mostra os resultados das misturas das duas espécies e responde:

- Num dos frascos não há matéria dissolvida libertada pelas plantas de Zostera. Qual delas e porquê? Justifique as suas respostas.

- De que espécie é a concentração de matéria libertada por Zostera? Que benefícios pretendemos descobrir para a saúde humana a partir das relações entre as espécies?

- Em que medida é que a ausência de maré vermelha até 15 metros do prado fez com que as espécies de interesse crescessem não com Zostera mas com a matéria dissolvida libertada por Zostera?

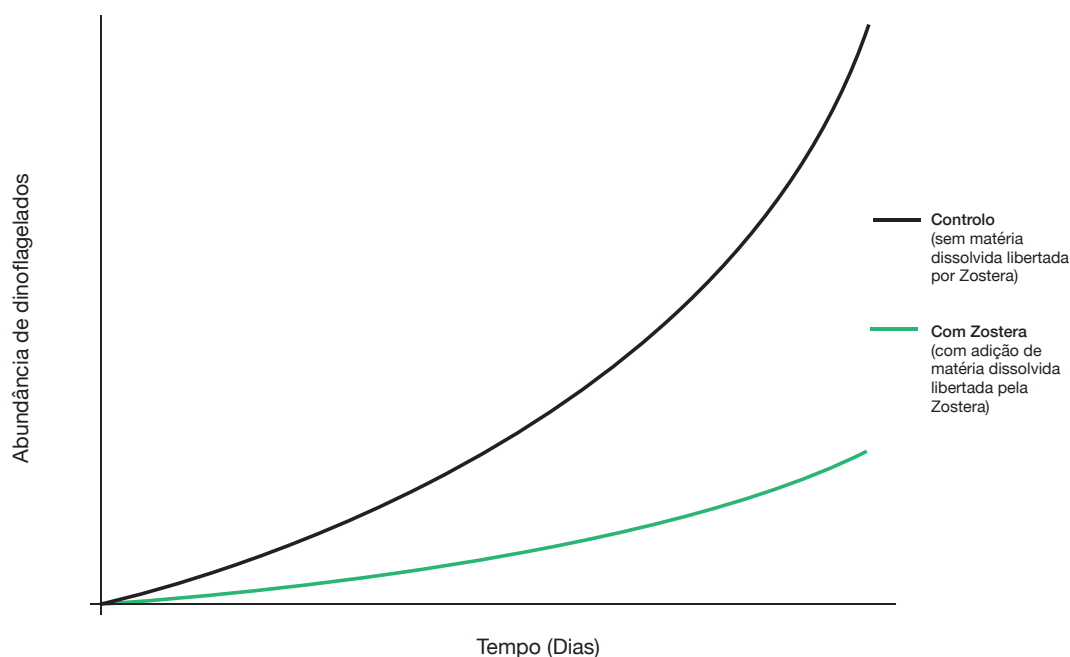
- Quais são as concentrações de cada cor?

- Qual é a relação entre a concentração de matéria libertada por Zostera e a densidade do dinoflagelado?

- Quantos dias durou a investigação?

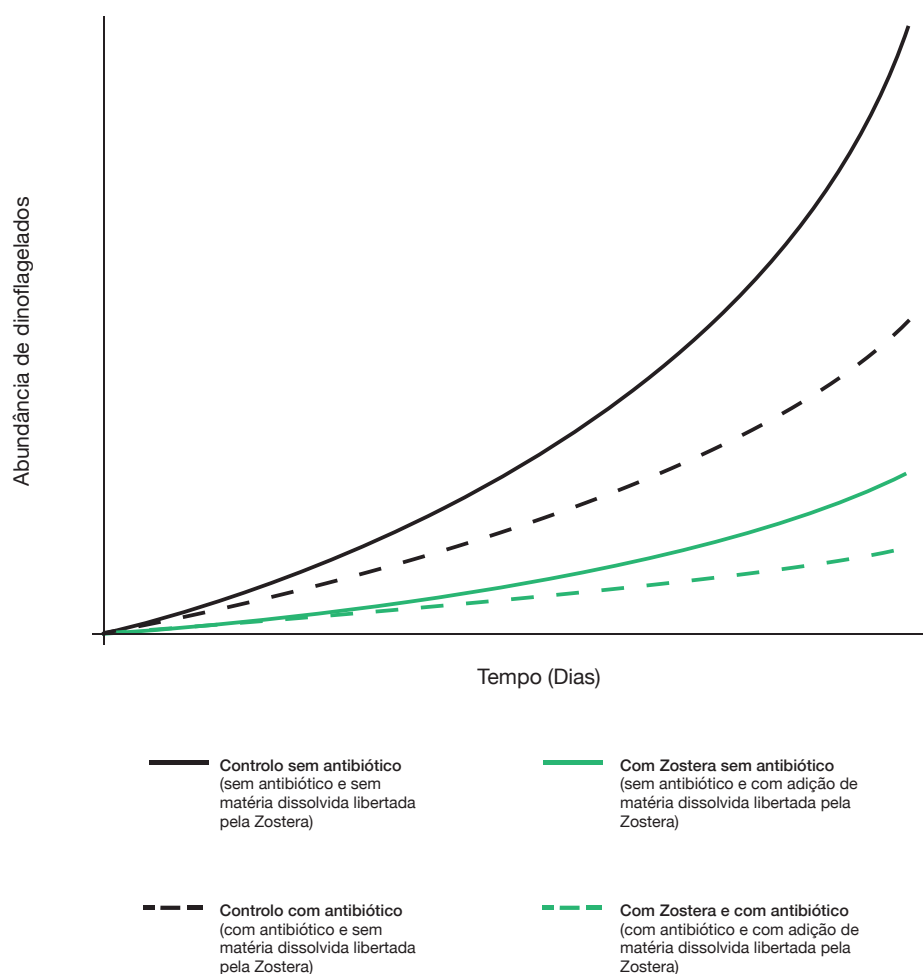
- Teria o mesmo valor se o tempo de experimentação fosse de 6 dias? Justifique a sua resposta.

- Em que medida é que os resultados apoiam ou refutam a hipótese? Justifique a sua resposta.



**b.** Os investigadores procuraram no prado várias espécies que pudessem influenciar o resultado e descobriram que havia muitas bactérias na superfície das plantas. Nessa altura, introduziram antibióticos na investigação.

- Porque é que o antibiótico é introduzido no estudo?
- Quando o antibiótico foi introduzido, repetiu-se a experiência anterior, mas desta vez adicionando mais antibiótico aos resultados expressos através dos gráficos a tracejado, que mantêm as concentrações correspondentes à sua cor, mas neste caso incorporando também antibiótico. O que é que vai motivar os investigadores com esta expansão dos testes?
- Compare os seus resultados com os resultados que estão a obter agora, tendo em conta que os resultados dos antibióticos são os representados pela linha pontilhada. Como é que o antibiótico influencia o crescimento dos dinoflagelados ao longo do tempo?



- O que é que os resultados da introdução de antibióticos nos dizem sobre o aumento das populações de dinoflagelados?

- Se os efeitos sobre a redução dos protozoários nos prados de *Zostera* se verificam até 15 m das plantas, tendo em conta os resultados da introdução de antibióticos, como explicar estes resultados?

**c.** Tendo em conta os resultados da introdução de antibióticos, formular uma conclusão justificada utilizando as palavras: composto, crescimento, libertação, bactérias.

**d.** Embora quando os dinoflagelados são cultivados apenas com compostos libertados por *Zostera* na presença de antibióticos e quando estes compostos transportam antibióticos, se obtenham efeitos sobre o crescimento dos dinoflagelados, os efeitos não são os mesmos. Exprima a sua conclusão sobre as diferenças no crescimento dos protozoários, envolvendo as palavras: inibidor, bactéria, produtor.

**e.** Tendo chegado a esta última conclusão, os investigadores decidiram remover o que vive à superfície (principalmente bactérias e algas microscópicas) e realizaram uma nova experiência, comparando o crescimento de dinoflagelados em plantas com epífitas com o de plantas sem epífitas. Verificou-se que o crescimento dos dinoflagelados era significativamente inferior nas plantas com epífitas. Tendo em conta este último teste e todos os testes anteriores, formule uma conclusão sobre os efeitos dos prados no crescimento dos dinoflagelados, utilizando estas três palavras: composto, algas, inibidor.

**6.** Tendo desenvolvido este argumento, é interessante dar-lhes a informação de que não se conhece a substância química que inibe o crescimento do *Alexandrium*. Com base neste facto, será realizado um debate em que argumentarão sobre a necessidade de investigar o que já foi descoberto para avançar na descoberta do desconhecido. Ser-lhes-á pedido que apresentem propostas para avançar na descoberta do que nos falta. Para concluir a resolução, argumentarão também sobre a importância de manter a saúde dos ecossistemas para manter a nossa saúde.

- **1.2 Questão-problema 2: As algas invasoras das ervas marinhas podem afetar a atividade inibidora dos dinoflagelados?**

Uma vez que se concluiu que a inibição do crescimento dos dinoflagelados pode ser devida à produção de substâncias solúveis e que estas podem mudar quando entram em ação outras espécies, a invasão dos prados de *Zostera* por uma alga vermelha invasora levanta uma nova questão. Esta nova questão pode ser formulada da seguinte forma: a presença de algas invasoras pode reforçar ou contrariar o efeito inibidor da *Zostera* sobre os dinoflagelados tóxicos?

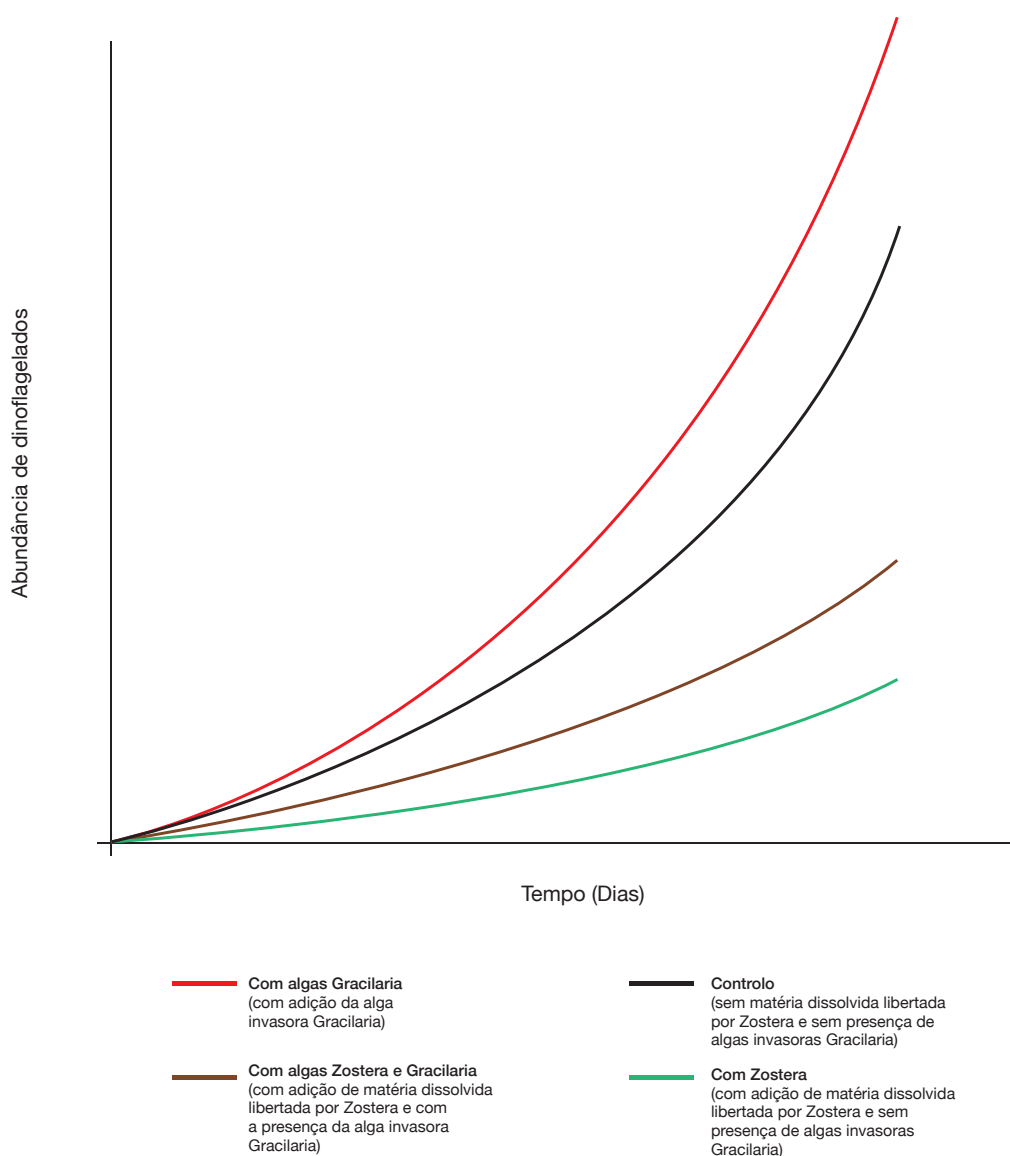




*Alga vermelha invasora Gracilaria num prado de Zostera (em cima) e seus pormenores (em baixo).*



Para responder a esta nova questão, é proposto um novo modelo que compara o crescimento do Alexandrium incubado na presença de Zostera ou na presença de algas invasoras com o do Alexandrium cultivado sem a presença destes organismos. É também incubado com Zostera e algas. Os resultados da nova experiência são apresentados no gráfico abaixo:



Depois de o problema ter sido alargado para incorporar a ocorrência variável de algas invasoras nos prados, foi realizada uma nova experiência, cujos resultados são apresentados neste gráfico. Com base nos resultados expressos no gráfico, propõe-se novamente aos professores um breve esquema formulado nestes termos:

**a.** Comparando os aumentos expressos pela linha verde (Zostera + Alexandrium dinoflagellate) com o controlo preto (apenas dinoflagellate), como é que a presença de Zostera afecta o aumento de Alexandrium dinoflagellate em comparação com o tratamento de controlo (linha verde em comparação com o controlo preto)?

**b.** Comparando agora a linha vermelha (algas Gracilaria + Alexandrium dinoflagellate), como é que a presença de Gracilaria influencia o crescimento de Alexandrium dinoflagellate em comparação com o tratamento de controlo (linha vermelha versus linha preta)?

**c.** Por fim, como é que a cultura de dinoflagelados com Zostera e algas invasoras (linha castanha) se compara ao tratamento de controlo (linha castanha comparada com o controlo a preto)?

**8.** Uma vez concluído que a invasão de algas estimula o crescimento dos dinoflagelados e diminui o efeito inibidor da Zostera, pode propor-se.

**a.** Quando um prado de ervas marinhas é colonizado por algas Gracilaria invasoras, até que ponto pode causar efeitos na saúde?

**b.** Esta alga foi introduzida nos estuários galegos através do cultivo de uma ostra asiática. Que conclusões podemos tirar sobre a conveniência de procurar novos recursos com espécies estrangeiras?

Mais uma vez, é evidente que a presença de Zostera inibe o crescimento de Alexandrium em comparação com o tratamento de controlo (linha verde versus linha preta). No entanto, a presença de algas Gracilaria estimula o crescimento deste dinoflagelado nas primeiras fases de crescimento (linha vermelha). Quando o dinoflagelado é cultivado juntamente com Zostera e algas invasoras, o efeito inibitório mantém-se, embora a sua intensidade seja menor (linha castanha).

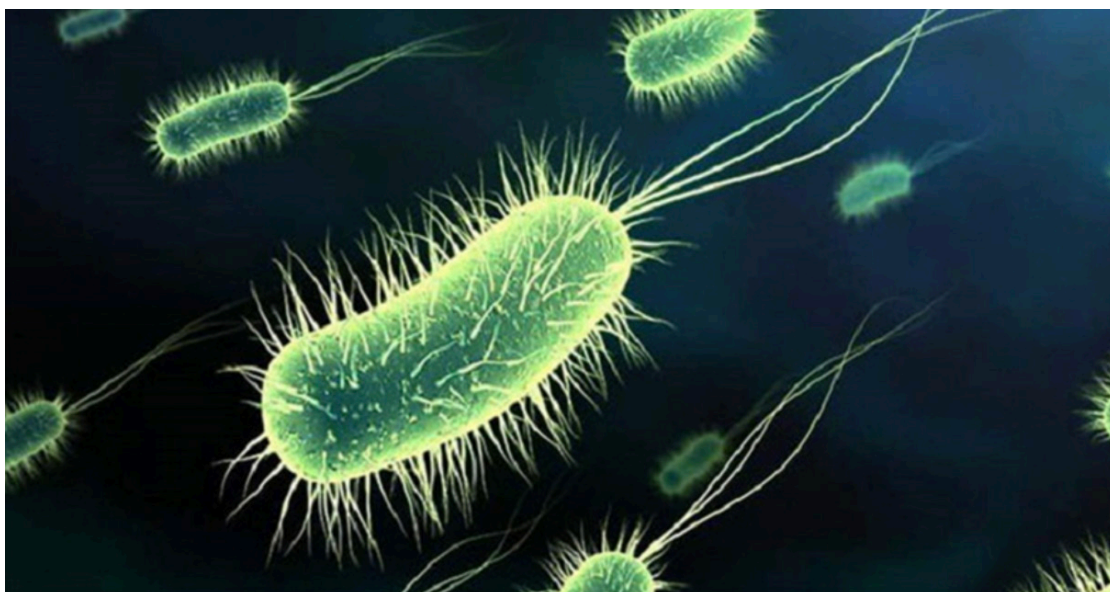


- **1.3 Questão-problema 3: Pode a Zostera ajudar a reduzir as bactérias patogénicas?**

O quadro de raciocínio em busca da solução 1 leva à conclusão de que a presença de Zostera tem a capacidade de controlar o crescimento de dinoflagelados tóxicos. A procura de mais serviços ecossistémicos dos prados de Zostera levanta a verdadeira questão sobre esta relação entre ambiente e saúde, com a abordagem “One Health” a esta questão:

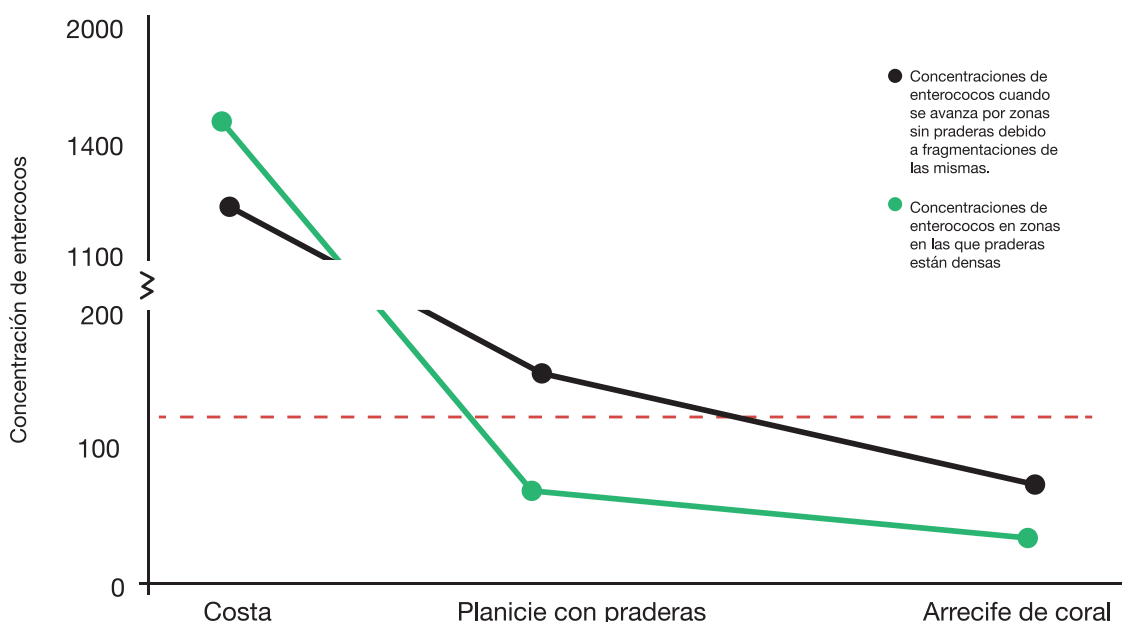
Terá a Zostera, que demonstrou inibir o crescimento de dinoflagelados, a mesma capacidade de reduzir a quantidade de bactérias patogénicas na água do mar circundante?

A fundamentação da conclusão que dá resposta a esta questão baseia-se nos seguintes dados: *“Na investigação efectuada em águas australianas, os investigadores procuraram possíveis ligações entre a Zostera e a redução de bactérias patogénicas (enterococos). Para isso, mediram a concentração de enterococos entre a zona intermédia situada entre a costa e o recife para comparar a concentração de enterococos (bactérias intestinais) nas zonas de Zostera e obtiveram os dados expressos num gráfico”.*



Fotomicrografia de bactérias enterococos patogénicas





*Pradaria de ervas marinhas entre a costa e o recife de coral*

Com a ajuda dos dados expressos no gráfico, o andaime proposto é proposto de modo a obter as justificações necessárias para chegar à conclusão desejada:

**1.** Na representação da concentração de enterococos, a linha verde refere-se a concentrações de enterococos em áreas onde a *Zostera* está presente, a linha preta refere-se a concentrações em áreas onde a pastagem está ausente, e a linha vermelha tracejada expressa níveis de bactérias patogénicas que já não atingem abundâncias que representem um risco para a saúde humana.

**a.** As concentrações de enterococos são mais elevadas, iguais ou mais baixas nas zonas onde a *Zostera* está presente (linha verde) em comparação com as zonas onde não há prados (linha preta)?

**b.** Olhando para a zona plana, como se comparam as concentrações de enterococos nas zonas onde está presente *Zostera* (linha verde) com as das zonas onde não há prados (linha preta) em relação ao limite estabelecido como risco para a saúde humana (linha vermelha a tracejado).



**2.** A conclusão a tirar, com as justificações obtidas com o esboço proposto em duas fases, é que os enterococos (bactérias intestinais) são claramente menores nas zonas onde existe *Zostera* (linha verde) em comparação com as zonas onde não há prados (linha preta). Também se deve concluir que a presença de prados faz com que os níveis de bactérias patogénicas atinjam abundâncias que não excedem o limite estabelecido como risco para a saúde humana (linha vermelha a tracejado).

Uma vez alcançada esta conclusão, o argumento prossegue com a seguinte questão: como é que a pastagem de *Zostera* pode influenciar a diminuição dos enterococos? Para que o argumento avance em direção à conclusão que responde a esta pergunta, segue-se este esquema:

- 1.** Um facto conhecido é que as pradarias de ervas marinhas são ricas em biodiversidade em termos de espécies filtrantes de microrganismos. Como é que este facto pode ter um impacto no declínio dos enterococos?
- 2.** Qual é o serviço ecossistémico das ervas marinhas para evitar que os microrganismos patogénicos cheguem até nós quando comemos crustáceos crus, como ostras ou amêijoas?

## **2. DESCRIÇÃO DO POTENCIAL DA DISCUSSÃO/ABORDAGEM DA INFLUÊNCIA NA RETENÇÃO DE CARBONO PELAS PASTAGENS DE SAGUIS NA ATENUAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS (FUNÇÃO CARBONO AZUL)**

Sabemos que estas pradarias de ervas marinhas, como as do género *Zostera*, que se encontram espalhadas por quase todos os oceanos europeus, estão em declínio a nível mundial devido a causas como as alterações climáticas, as espécies invasoras, a poluição marinha e as obras públicas. Estas ervas marinhas são essenciais para um dos serviços ecossistémicos de que necessitamos - o carbono azul. Esta função é o sequestro e fixação de carbono, uma função ecológica prioritária para a humanidade devido à importância do excesso de gases com efeito de estufa na atmosfera que provocam o aquecimento global.



*Emissões de gases com efeito de estufa numa instalação industrial*

É por isso que temos de cuidar de todas as vias de absorção de C de que necessitamos atualmente para o sequestro, como os prados de ervas marinhas, que estão atualmente em declínio a nível mundial. Para que o sequestro seja eficaz, os seres humanos não precisam de intervir nos prados de ervas marinhas durante séculos ou mesmo milhares de anos. É urgente proteger esta função porque é mais importante do que nunca atenuar as alterações climáticas, e o paradoxo é que as próprias alterações climáticas estão a contribuir para o declínio das ervas marinhas. Por conseguinte, para evitar danos a estes prados, é importante adotar medidas de conservação rigorosas para garantir que certas zonas de prados não sejam utilizadas para exploração, como a pesca de marisco ou a pesca de arrasto, e também para evitar o impacto das obras públicas e da ancoragem de navios. Estes núcleos a proteger devem ser suficientes para que estes sistemas sejam eficazes a médio e longo prazo em termos de sequestro de C para ajudar a atenuar as alterações climáticas e reduzir as fontes de poluentes.





*Levantamento científico escolar de uma pradaria de ervas marinhas em Testal*

Tendo em conta este papel do carbono azul das ervas marinhas, coloca-se a seguinte questão genuína:

- **2.1 Questão-problema 3: As zonas vegetadas protegidas da mariscagem na parte superior da zona intertidal Testal (Ría de Muros e Noia) têm uma maior capacidade de captura de matéria orgânica do que as zonas não protegidas?**

Para levar a cabo o processo de argumentação que conduzirá à conclusão que responde a esta questão, propõe-se o seguinte quadro:

1. Após a análise do processo de recolha de dados que se segue, propõe-se desenvolver um argumento que relacione os processos com os dados, justificando esses processos com os conhecimentos de base necessários, a fim de chegar à conclusão que responde à pergunta.





*Amostragem de sedimentos no âmbito do inquérito científico escolar num prado de ervas marinhas em Testal.*

Procedimento: “Foram recolhidas amostras de sedimentos superficiais nos três níveis de maré em Testal, em zonas vegetadas e não vegetadas. As amostras foram armazenadas em sacos de plástico e transferidas para o laboratório do Departamento de Ecologia da Universidade de Vigo, onde foram congeladas. Três dias depois, as amostras foram colocadas em tabuleiros de alumínio e secas a 60°C durante 48 horas numa estufa de ar forçado. Passado este tempo, os sedimentos secos foram transferidos para cadinhos de laboratório. Os cadinhos foram pesados juntamente com os sedimentos de cada amostra com uma balança de precisão (0,0001 g). Os cadinhos foram então colocados numa mufla, onde foram mantidos a 500 °C durante 5 horas. Após este período, o cadinho foi pesado de novo, juntamente com os sedimentos que permaneciam no cadinho.



Fornos de encaixe



Enxaguadores de colocação de amostras

- a.** Dado que o prado protegido se situa na parte superior da zona intertidal, com uma área que faz lembrar uma lagoa, e que não há prados na parte inferior, qual é o interesse de amostrar os três níveis da zona intertidal?
- b.** Dado que o C sequestrado é retido nas cadeias C da matéria orgânica e que é libertado um gás diferente quando a amostra é aquecida a 60°C do que quando é aquecida a 500°C, qual é o interesse de aquecer a 60°C antes da primeira pesagem?
- c.** A diferença entre as duas pesagens permite-nos extrair os dados relativos ao teor de matéria orgânica apresentados no quadro. Como foram obtidos?

Nível	Zona	% Mat Org (Média)	% Mat Org (Desvst)
Topo	Vegetação	1,26	0,05
Topo	Não-vegetado	0,57	0,03
Ambiente	Vegetação	1,12	0,14
Ambiente	Não-vegetado	0,70	0,06
Inferior	Vegetação	1,00	0,15
Inferior	Não-vegetado	0,71	0,03





- d.** Qual é o objetivo de aumentar a temperatura para 500°C entre as duas pesagens para obter os dados da tabela?
- e.** Como é que os dados permitem comparar as parcelas em termos da sua capacidade de sequestro CO<sub>2</sub> ?
- f.** Tendo em conta os dados do quadro, existem diferenças significativas entre os níveis vegetados e não vegetados e os níveis vegetados? Em caso afirmativo, podem ser expressas em termos de sequestro de carbono? Em caso afirmativo, justificar a razão da maior capacidade de sequestro, se for caso disso.
- g.** No nível superior, a pesca com marisco é proibida e os prados estão fortemente cobertos. No nível médio, a pesca com marisco afecta os prados e estes estão fragmentados e, no nível inferior, os prados são difíceis de ver porque estão muito fragmentados. A comparação dos resultados relativos às zonas vegetadas nos três níveis pode exprimir diferenças na capacidade de sequestro?

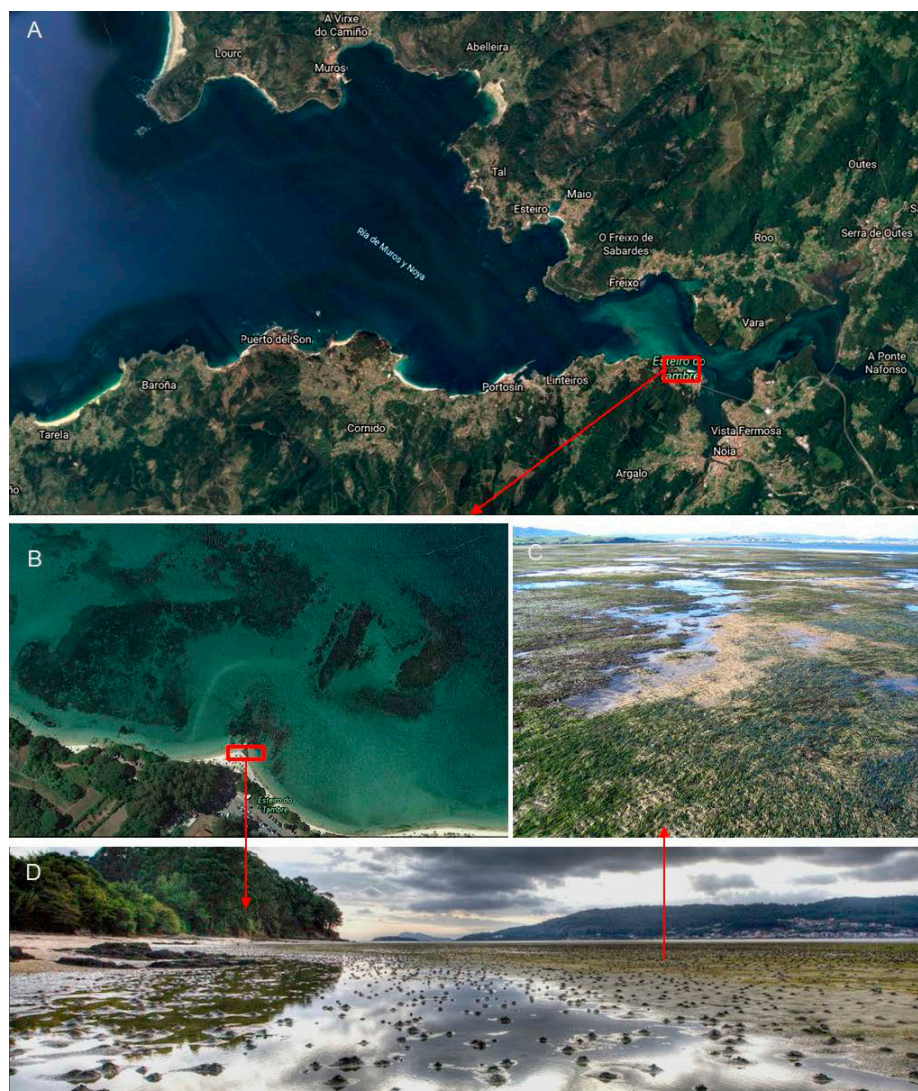


*Amostragem da biodiversidade de um prado protegido em Testal*

**2.** À medida que a integração dos dados é desenvolvida através das justificações exigidas pelos desafios, deve chegar-se a um acordo sobre a resposta à pergunta, orientando o debate para a conclusão da importância da integridade (não fragmentação devido à ausência de intervenção antropogénica) para permitir que a função de sequestro de CO<sub>2</sub> das ervas marinhas defenda a necessidade da sua proteção.

### MÓDULO 3: ESTUDO DE CASO SOBRE DISCUSSÃO /ABRODAGEM EM INQUÉRITOS CIENTÍFICOS ESCOLARES PARA RESPOSTAS ÀS ALTERAÇÕES GLOBAIS

Trata-se de um estudo de caso de uma investigação de ecologia escolar em que se desenvolveram processos de argumentação, centrados na promoção de processos de argumentação para conseguir a modelação necessária para interpretar os serviços ecossistémicos das pradarias de ervas marinhas *Zostera* no ecossistema de serviços dos crustáceos bivalves intertidais Testal na Ria Baixa de Muros e Noia (Galiza-Espanha).



Localização dos prados objeto de estudo científico - estudo escolar



Os participantes foram 30 alunos da disciplina opcional Climática no 2º ESO (13-14 anos) e os 15 alunos que escolheram no 4º ESO (15-16 anos) a disciplina Biologia e Geologia no IES Poeta Añón de Outes no ano académico 2020-2021. Trata-se de partilhar a análise dos resultados obtidos numa prática de campo para estudar os efeitos da fragmentação do prado de *Zostera noltii* sobre a biodiversidade e a capacidade de autopurificação da água na zona intertidal dos bancos de moluscos bivalves Testal na parte superior da Ría de Muros e Noia (Galiza - Espanha).

## 1. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE CAMPO

### • 1.1 Contextualização para o conhecimento situado

trabalho de campo teve lugar na manhã de 9 de abril de 2021. A discussão foi desencadeada pela pergunta: “Que espécies constituem a superfície verde sobre a qual caminhamos? Perante a resposta de que se trata de algas, foi-lhes perguntado quais as diferenças entre plantas e algas. Quando as respostas revelaram que as algas não têm raízes, foi arrancada uma planta para que, através da intuição direta da observação da realidade, pudessem identificar o facto da presença de raízes na *Zostera*. Quando se tornou claro que a *Zostera* tinha raízes, as explicações foram iniciadas com um colóquio argumentativo de 30 minutos sobre as seguintes características:

- Origem evolutiva das espécies de pradarias: adaptações ao ambiente marinho
- Estrutura de *Zostera*: controlo da estrutura do rizoma. Reprodução.
- Serviços prestados pelas pastagens: retenção de sedimentos, viveiro, sequestro de carbono, purificação da água.
- Relação entre a diversidade dos prados e da vida selvagem
- Relação entre diversidade e estabilidade
- Ameaças para os prados: poluição, alteração costeira, impacto mecânico: fundos marinhos, pesca de marisco
- Interação entre prados e zonas húmidas Impacto humano e fragmentação do habitat
- A relação fragmentada habitat-diversidade



*Contextualização da cognição localizada no Testal*

A fim de integrar de forma significativa estas características na abordagem “One Health”, o inquérito argumentativo a desenvolver utilizando os dados de campo e a sua análise na zona intertidal e no laboratório centrou-se em três variáveis principais:

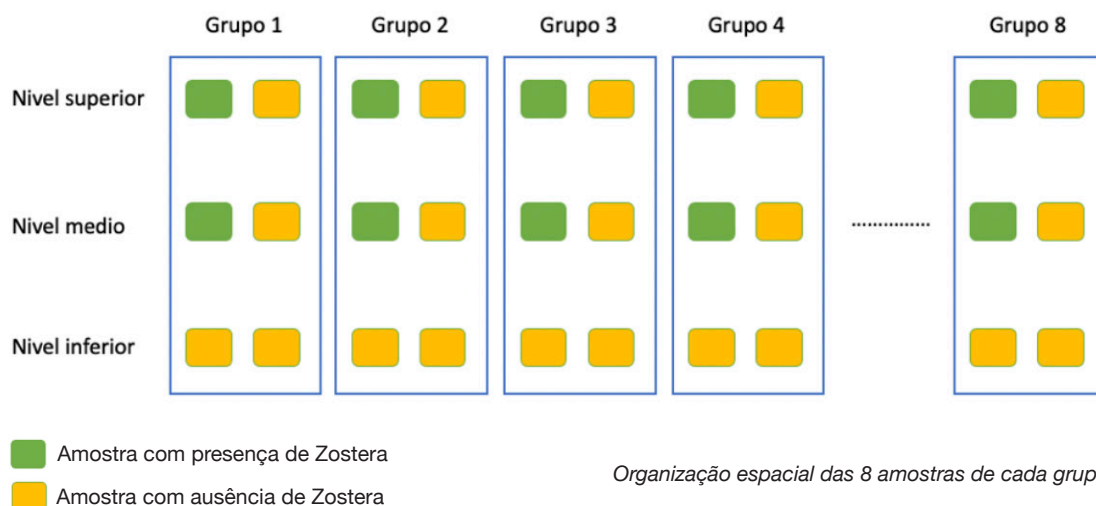
- 1.** Abundância e diversidade da fauna, número de pés de *Zostera* e biomassa (peso seco). Número de espécies faunísticas e número de indivíduos de cada espécie.
- 2.** Abundância de *Zostera*: cobertura
- 3.** Capacidade de sequestro de carbono das pastagens Capacidade de sequestro de carbono, quando presente.

A análise das três variáveis converge para conclusões que respondem à pergunta: que funções ambientais e sanitárias se poderão perder se as alterações climáticas e outros impactos ambientais conduzirem a uma regressão das pradarias de ervas marinhas como a *Zostera*?

A concretização destas conclusões implica relacionar os dados obtidos no estudo das três variáveis através de justificações, no sentido em que, se se mantiver a integridade e mesmo se se conseguir a sua extensão, se favorece a função do carbono azul e, ao aumentar a capacidade de sequestro de C, se favorece a depuração da água, o que poderia gerar um ambiente em que podem viver numerosos organismos que, por sua vez, podem servir de alimento a outros. Além disso, é provável que esta biodiversidade actue como barreira às toxinas e aos agentes patogénicos que nos chegam, como os enterococos, quando consumimos organismos que vivem nestas zonas de pastagem, como mariscos e moluscos.

### • 1.2 Organização da atividade experimental

Depois de terminadas as explicações do colóquio sobre a contextualização da cognição situada, começou a prática de campo. Para tal, os alunos foram organizados em grupos de 3 (cerca de 10 grupos). Foi delimitada uma grande área que incluirá prados densos, prados fragmentados e sedimentos nus. Serão colocados dez transectos nesta área, colocando 8 amostras em cada um (2 no nível superior, 2 no nível médio e 2 no nível inferior) a uma distância de cerca de 5 metros, tendo o cuidado de recolher uma amostra de vegetação e uma amostra de areia nos níveis superior e médio, onde existe pastagem.





Para cada amostra, procede-se a uma análise visual e tátil do sedimento e recolhe-se amostras para medir a matéria orgânica num laboratório da Universidade de Vigo, uma vez que o laboratório da escola não dispõe do equipamento de cozedura necessário. Quando a amostra coincide com o prado, anota-se o diâmetro aproximado da mancha de *Zostera* em que foi recolhida. De seguida, recolhe-se uma amostra com um caroter (tubo) de 15 cm de diâmetro. O sedimento recolhido foi colocado num peneiro de 0,5 mm de malha, que foi levado para o mar para ser lavado, a fim de retirar o máximo de sedimentos possível. O material retido na rede foi colocado num saco de plástico e codificado com o código de amostragem descrito na subsecção relativa à análise da recolha de dados sobre a variável biodiversidade no campo. Estas amostras foram armazenadas em sacos para serem levadas para o laboratório da escola para quantificação de espécies, indivíduos de cada espécie e contagem de biomassa.

Um quadrado de amostragem de 1 metro, dividido em quadrados de 20 x 20 cm, é também colocado em cada ponto de amostragem do núcleo para estimar a cobertura de *Zostera* descrita na subsecção sobre a análise de campo da variável cobertura.

- **1.3 Abundância e diversidade da fauna, número de pés de *Zostera* que permitirão o cálculo laboratorial da biomassa (peso seco)**

O inquérito sobre a abundância começava com a seguinte pergunta:



*Apresentação do problema à chegada a Testal*

As zonas onde a *Zostera* está presente são mais ricas em biodiversidade do que aquelas onde não está presente? Testam cientificamente se as condições de criação de habitat para diferentes espécies são cumpridas em Testal? Os alunos são desafiados a procurar provas que lhes permitam testar experimentalmente se isto é ou não verdade. O argumento adopta a hipótese de que as zonas de prados são melhores do que as zonas arenosas. Para testar esta hipótese, argumenta-se o que é necessário testar experimentalmente: caracterizar zonas de prado e zonas arenosas não colonizadas por plantas, utilizando um tubo cilíndrico com uma unidade de volume mínimo de amostragem.



*Técnica de amostragem para recolha de volumes de sedimentos para análise da relação entre *Zostera* e biodiversidade*



Para o efeito, é feito um transecto com uma fita métrica que parte do prado e se estende para além deste, cobrindo a zona arenosa sem plantas.



*O aluno estica uma fita métrica para definir o transecto*

São colhidas oito amostras de cada transecto a uma distância de 5 metros uma da outra. Idealmente, 4 amostras em zonas de prados e 4 amostras em zonas arenosas. Em cada um dos 8 pontos, o tubo é introduzido no sedimento.



*Amostragem com um cilindro de sedimentos*





Com cada amostra, colocar um punhado por baixo, colocá-lo num saco de rede e colocá-lo na água de modo a que apenas as plantas e os animais da amostra permaneçam no tubo de sedimentação.



*Remoção de sedimentos para reter as plantas e a vida selvagem associada*

Após a limpeza do sedimento, a amostra é transferida para um saco etiquetado com o número do transecto do equipamento, separado por um ponto do número da amostra nesse transecto: 1.1, 1.2,..... 1.8.



*Dois estudantes recolhem plantas e animais depois de os sedimentos terem sido limpos*



Cada grupo foi responsável por manter estes sacos para medir o número de espécies no trabalho de laboratório, procurando resultados que mostrassem a relação entre *Zostera* e nichos ecológicos para diferentes espécies animais.

#### • 1.4 Abundancia de *Zostera*: cobertura

Em cada ponto onde o cilindro foi inserido para recolher amostras em sacos codificados, a cobertura de *Zostera* foi também medida in situ. Para este efeito, foi utilizado um quadrado de 1 m x 1 m subdividido em pequenos rectângulos de 20 cm x 20 cm para medir a proporção de prados no quadrado total.



*Localização do mostrador de 100 quadrados para medição da cobertura*



Para efetuar a medição, colocar o mostrador no qual o tubo deve ser inserido e contar o número de pequenos quadrados em que as plantas aparecem. Como o mostrador tem 25 quadrados pequenos, se as plantas aparecerem em 5 quadrados, teremos uma cobertura de 20%.

Todas as entradas, para além de serem feitas em papel, foram feitas utilizando a aplicação de amostragem geolocalizada no sítio Web e-InnoEduCO<sub>2</sub> e estão registadas no caderno e no dispositivo móvel.



*Recolha de dados de geolocalização e do estádio*



## 2. DESENVOLVIMENTO DA ACTIVIDADE LABORATORIAL

### • 2.1 Tratamento e resultados da biodiversidade e da biomassa recolhida em sacos

As amostras recolhidas no Testal e registadas em sacos codificados foram analisadas no laboratório. Cada um dos grupos processou as 8 amostras recolhidas e codificadas no seu transecto. Inicialmente, separaram as plantas de *Zostera* contando o número de patas em cada amostra. Todas as plantas de *Zostera* foram colocadas em papel plano e deixadas a secar durante uma semana.



*Integração dos procedimentos de campo e de laboratório para obter resultados sobre os membros e a biomassa de *Zostera* e as suas relações com os taxa zoológicos, o número de espécies e o número de indivíduos por espécie*



Quanto à fauna, para cada amostra, os diferentes organismos foram separados em conjuntos de grupos taxonómicos e o número de indivíduos de cada grupo taxonómico foi quantificado.



*Partilha de resultados sobre a abundância de Zostera e a sua relação com a biodiversidade animal*

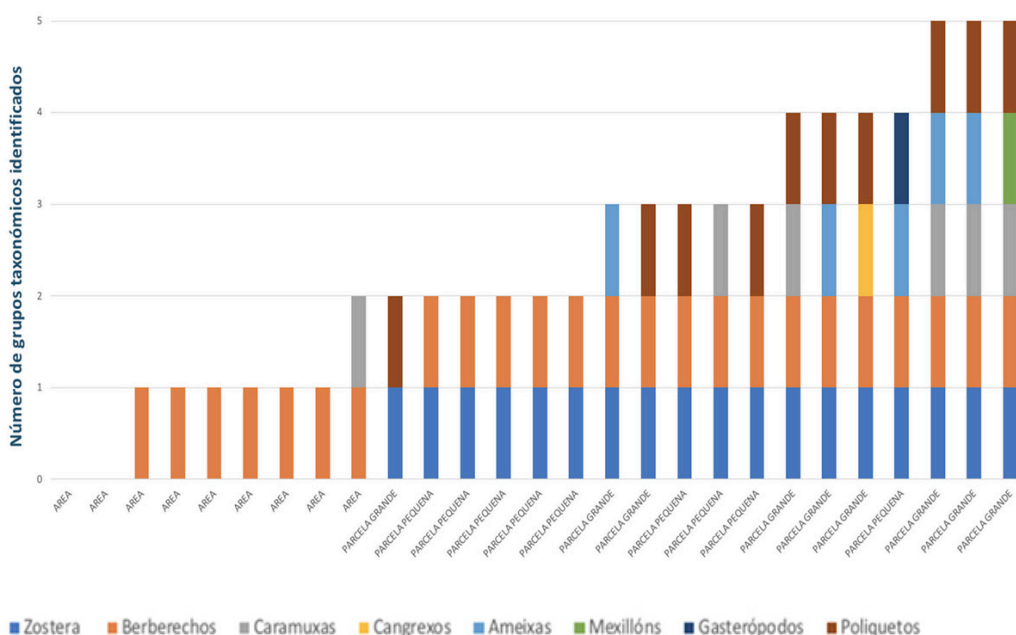
Os resultados mostram que o número de taxa é mais elevado nas manchas de Zostera do que nos sedimentos sem plantas. Por sua vez, o número de taxa aumenta quanto maiores forem as manchas.



	Sen Zosteria									Zosteria (mancha pequena)									Zosteria (manchas grandes)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Berberechos	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Ameixas	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Caramuxas	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Poliquetos	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Cangrexos	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Mexillóns	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
Gasterópodos	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	

Resultados da biodiversidade dos taxa zoológicos em função da presença e da ausência de Zosteria e, no segundo caso, em função do tamanho da mancha.

Ao mesmo tempo, verificou-se que a diversidade de táxones diminui à medida que se avança para a zona intertidal inferior, onde não há prados, e aumenta para a parte superior, onde os prados são preservados, não estão sujeitos à pesca de marisco e, portanto, não estão muito fragmentados, e as parcelas são maiores. Verificou-se igualmente que os resultados de uma maior diversidade zoológica coincidem também com os de um maior coberto medido em Testal.



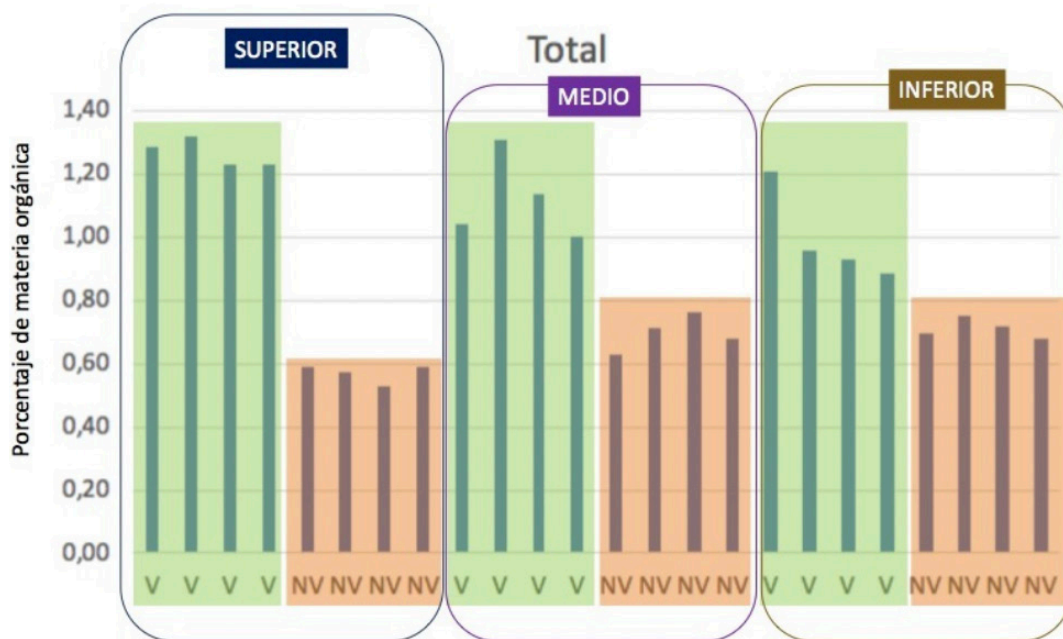
Partilha de resultados sobre a abundância de Zosteria e a sua relação com a biodiversidade animal



Após uma semana de secagem, a *Zostera* seca foi pesada para calcular a biomassa seca desta espécie em cada amostra, o que coincide com o número de patas e com o facto de, tal como o número de patas, a biomassa seca da *Zostera* ser mais elevada quando há mais taxa.

• **2.2 Resultados sobre a matéria sedimentar em parcelas vegetadas e não vegetadas nos níveis superior, médio e inferior.**

Antes da prática laboratorial, os dados relativos à matéria orgânica foram recebidos e organizados em níveis superior, médio e inferior e, dentro de cada um dos três níveis, em amostras onde ocorrem plantas e onde não ocorrem. Como se pode ver no gráfico, houve diferenças claras na matéria orgânica dos sedimentos nas três zonas: a zona superior, que está ligeiramente fragmentada pela ação humana, a zona média já está muito danificada (fragmentada pela ação humana), e na zona inferior não há pastagens. Esta análise orientou os alunos para uma compreensão ecológica da necessidade de prados não fragmentados.



V: Vegetação  
NV: Não Vegetado

Percentagem de matéria orgânica nas 4 amostras com vegetação e nas 4 amostras sem vegetação nas zonas superior, média e inferior.

Como se pode ver no ponto seguinte, em termos do raciocínio efectuado na última sessão, os alunos concluíram que onde há mais matéria orgânica é na parte vegetada da zona superior. Justificaram que nesta parte superior vegetada as plantas retêm eficientemente a matéria orgânica e depositam-na onde ela se encontra, chegando menos matéria orgânica à parte não vegetada do que às zonas média e inferior, como se pode ver no gráfico com a diferença máxima entre as zonas vegetadas e não vegetadas. A parte inferior, onde praticamente não existe vegetação, é onde a matéria orgânica se distribui de forma homogénea, razão pela qual a diferença entre a parte vegetada e a não vegetada é menor. Deste modo, no decurso da argumentação associada à análise destes gráficos, foi efectuada uma modelação que fez evoluir os modelos mentais iniciais para o funcionamento da *Zostera*, que funciona como um filtro que retém partículas de matéria orgânica. Interpretaram, utilizando a comparação com um pente, que um prado fragmentado é um pente sem dentes. Aproveitaram a oportunidade para explicar que os dados isotópicos mostram que a matéria que retém é de origem planctónica, ou seja, não acumula matéria terrestre ou *Zostera* morta em si, mas penteia o mar e tem, portanto, um papel importante de filtragem que melhora a qualidade da água.

### 3. DISCUSSÃO/ABORDAGEM EM GRUPO

#### 3.1 Contexto do intercâmbio de informações

Envolveu a participação dos alunos em actividades de campo e de laboratório. Assumi a forma de um colóquio dirigido pelo investigador principal, com o apoio do professor de matemática aplicada que trabalhou na análise dos dados. Um investigador do ensino experimental das ciências actuou como observador, cujas notas de campo forneceram os dados para a argumentação analisada nesta secção. A argumentação teve lugar durante uma aula normal (50 minutos) numa grande sala de aula. A sessão iniciou-se com a análise de gráficos obtidos com os resultados numéricos da amostragem de campo e desenvolvidos durante as aulas de matemática aplicada. O próprio professor desta disciplina iniciou a sessão tentando verificar se, a partir da análise dos gráficos, eles compreendiam as evidências expressas na representação da integração de dados. Com base na análise dos resultados expressos nos gráficos e nos argumentos expressos pelos alunos, o investigador orientou a argumentação através de questões que lhes pediam para chegar a conclusões justificadas por modelos científicos.

### • 3.2 Dados e sua análise

Os dados da análise do discurso correspondem a notas de um observador avançado na sala de aula sobre a partilha de resultados expressos em gráficos. As notas aludem às características das estratégias de estímulo à argumentação na experiência investigativa, a partir da evidência dos dados representados nos gráficos. Foram também registados dados, justificações e conclusões que expressam a evolução dos modelos de Ecologia Escolar e o seu progresso com a intervenção.

Para a análise das estratégias seguidas na investigação, foi realizada uma revisão da literatura de intervenções de natureza semelhante, em que o discurso oral foi orientado para a modelação e a elicitación de argumentos em que os dados são ligados a conclusões que fornecem respostas justificadas a questões baseadas nos modelos conceptuais dos alunos. Estes modelos têm de evoluir, com o próprio desenvolvimento do discurso e o apoio do perito, dos modelos mentais iniciais com que os alunos chegam, para modelos mais evoluídos, consistentes com os modelos científicos.

### • 3.3 Análise dos resultados extraídos das notas de campo

A intervenção foi orientada como investigação-ação com um observador no terreno. Foi orientada para a análise da forma como a argumentação desenvolvida na partilha integra dados-chave para chegar a conclusões que envolvem processos de modelação. É interessante saber como estes desenvolvimentos de modelos derivados da relação de dados-chave se desenvolveram através de justificações que põem em jogo o conhecimento numa abordagem de andaime conversacional. Esta intervenção didática é gerada durante a interação social levada a cabo pelo investigador principal e desenvolvida através de um sistema linguístico de argumentação científica oral, com uma transposição didática do método científico como referência para o andaime, o que aproxima o estilo de intervenção didática do perito científico ao da investigação própria da Didática das Ciências. Este andaime conversacional decorre da atividade de mediação do professor no exercício de uma função de apoio tutorial para gerar aprendizagens em Ecologia. O andaime conversacional que o cientista articulou foi orientado para acções de ajustamento da ajuda dada pelo cientista no seu papel de mediador entre os modelos conceptuais iniciais dos alunos (Greta e Moreira, 1998) e as possibilidades da sua evolução para modelos mais próximos dos da Ecologia, de modo a que o cientista promotor da argumentação se pudesse adaptar ao estado atual dos conhecimentos dos alunos, aos esquemas experienciais prévios, às diferenças individuais, às estratégias e aos estilos de aprendizagem.



Ao fazê-lo, adaptou o seu plano de andaimes aos princípios estabelecidos por Blachowicz et al. (2006). Ao fazê-lo, o seu andaime permitiu-lhe descrever explicitamente as estratégias utilizadas para desenvolver o argumento, incluindo quando e como as utilizar, fazendo demonstrações implícitas através das estratégias de argumentação do método científico para avançar para uma modelação bem sucedida.

Ao desenvolver o andaime conversacional orientado para o modelo, o cientista modifica a sua linguagem à medida que interage com os alunos, seguindo a noção de andaime de Wood, Bruner e Ross (1976). Ele procurou ajudas metafóricas analógicas no sentido da utilização e extensão deste conceito por Bruner (1980). Isto levou-o a adotar na prática ajudas ao desenvolvimento de estratégias de argumentação que levassem os próprios alunos a descobrir caminhos para a modelação cognitiva (Bandura, 1971), desenvolvendo estratégias de argumentação que facilitassem a maturação dos modelos cognitivos iniciais. Para o efeito, a linha de argumentação do trabalho de campo prático foi seguida através da orientação e recapitulação do investigador que conduziu a argumentação. Através do andaime conversacional desenvolvido, procurou-se reconhecer as necessidades do que foi feito no terreno, bem como clarificar os objectivos das actividades, esclarecer eventuais dúvidas e fornecer as chaves metodológicas seguidas. Este andaime conversacional procurou ferramentas para alcançar o desenvolvimento de competências cognitivas e metacognitivas proporcionadas pelo professor que forneceu feedback constante, e ofereceu-se para alcançar uma aprendizagem possível e desejável naquele contexto.

### • 3.3.1 Argumentação e modelação da relação entre o coberto vegetal e a biodiversidade

Um dos argumentos que surge neste discurso diz respeito à relação entre cobertura e diversidade. Os alunos partem da representação gráfica para tirar conclusões sobre essa representação. Apoiam-se na representação gráfica da cobertura e da abundância de cada espécie, mostrando que quanto maior for a cobertura, maior será a diversidade. No entanto, a relação entre os dados não está correcta na justificação, pois a evidência de uma menor cobertura é percebida como uma maior diversidade de espécies. O pesquisador faz com que eles contem as espécies para que percebam que a evidência é a mesma e faz com que eles procurem diferenças na equitabilidade. Com base nesta observação de maior equidade de espécies onde há maior cobertura, o investigador leva-os a aproximarem-se da concetualização de erro.

Embora não parecessem ter preconceitos claros sobre este conceito, concluíram que quando há poucas plantas, o aparecimento de plantas maiores introduz um erro maior no valor do tamanho médio das plantas. Na mesma linha, concluíram também que se alguém se enganou na média, esse erro é mais importante do que na área com maior cobertura, porque neste último caso foram efectuadas mais medições devido à presença de mais plantas.

Avançar o conceito de mais diversidade com o mesmo número de espécies, onde há mais equidade, não provou ter modelos mentais iniciais. O cientista parte da evidência de que há o mesmo número de espécies na área mais coberta e na área mais fragmentada para perguntar se, dada a evidência de que as espécies estão mais “distribuídas” na área mais coberta, se pode concluir que há mais diversidade. A resposta de um dos alunos mostrou a sua resistência em alterar o seu modelo cognitivo inicial, reiterando mais uma vez que a área com mais abundância de plantas é mais diversa. Perante esta repetição da mesma conclusão, que não era congruente com os dados sobre o número de espécies diferentes e, portanto, não estava de acordo com o modelo científico, o guia especialista actuando como tutor, gerando os andaimes necessários, pediu uma justificação que lhe permitisse responder com esta conclusão. Perante este desafio, o aluno respondeu, aludindo a dados específicos da espécie, que há mais crocodilos onde há mais pastagens porque há mais comida. Um segundo aluno interveio para desenvolver esta justificação, referindo que há mais crocodilos onde há mais pasto. Justificou que quanto mais coberto, mais galos, crustáceos e poliquetas. Para os obrigar a argumentar utilizando modelos e teorias de conhecimentos básicos em Ecologia e Biologia Espacial nas suas justificações, o investigador que actuou como tutor, conduzindo a argumentação modelar, perguntou se os crocodilos comem plantas, ao que o aluno indicou que filtram. Dada a perplexidade geral na procura de respostas, e para reforçar ainda mais a argumentação com base na utilização dos conhecimentos de base envolvidos, o investigador pergunta se os lagartos e os poliquetas “enfiam” as plantas. O aluno conclui, com base no que lhe parece lógico, assumindo que não dispõe de dados, que nenhum destes grupos zoológicos se alimenta de plantas.

Um terceiro aluno, diferente, argumenta com base num suposto aumento da biodiversidade com base num suposto aumento do número de espécies, o que acaba por ser mais uma prova de que a influência da equidade na biodiversidade não entra na sua análise a um nível explícito. Mas é possível que tenha uma presença implícita, pois é evidente que os gráficos mostram as mesmas espécies em ambos os casos, mas com uma equidade mais clara em prados com cobertura mais ou menos fragmentada, e é possível que seja esta evidência visual que influencie a conclusão de que uma maior cobertura significa também uma maior biodiversidade.

O segundo aluno, por ordem de intervenção durante o colóquio, no desejo de ligar a justificação aos modelos conceptuais de referência, recorre à analogia com as árvores, referindo que, a outra escala, muitas espécies vivem em árvores. Isto leva o investigador, no papel de líder especialista do colóquio, a usar a analogia planta-árvore *Zostera* para perguntar - Porque é que há mais diversidade numa floresta do que num deserto? O segundo aluno responde recorrendo a modelos de relações intra-específicas: -Por causa das relações inter-específicas. O moderador aproveita a oportunidade para desenvolver o modelo concetual implícito na analogia planta-árvore com a frase: -Em ecologia dizemos que elas geram lugares onde podem viver. Em resposta, o mesmo aluno intervém para dizer: - Filtros de prados.

### • 3.3.2 Abordagem e modelação da capacidade de filtração e da sua relação com o pH

Ao apresentar ao aluno o conceito de filtração, o investigador aproveitou a oportunidade para explorar os primeiros modelos conceptuais deste serviço do ecossistema das ervas marinhas. Em seguida, desafiou o segundo aluno, que participou na partilha, a explicar a ideia, ao que o aluno respondeu: -As ervas marinhas filtram os agentes patogénicos. Pediu-lhe então que dissesse o que pensava ser necessário fazer para provar que as ervas marinhas filtram. O aluno respondeu que daria dois passos: 1) Consultar a literatura e 2) Ir ao local para investigar se esta hipótese se concretiza, medindo o pH.

O aparecimento do modelo de pH relacionado com a medição da capacidade de filtração era interessante para a linha de argumentação que o cientista procurava, pelo que orientou o seu andaime de conversação para procurar conclusões justificadas por modelos científicos sobre a relação entre a medição do pH e a medição da capacidade de filtração. Para avançar nesta linha, perguntou se o pH seria mais ácido quanto mais filtrada fosse a água. O aluno respondeu dando uma resposta que concluía uma clara oposição a esta possível relação, concluindo que a água filtrada seria mais básica do que a água não filtrada. Este facto deu origem ao andaime discursivo projetado. À medida que o discurso avançava, o cientista desafiou o aluno a justificar por que razão as plantas tornam a água mais básica. Esta questão foi respondida pelo terceiro aluno que tomou a palavra no início do colóquio para introduzir o modelo científico de absorção de CO<sub>2</sub> na justificação.



### • 3.3.3 Abordagem e modelação da capacidade dos prados com a função de sumidouros de CO<sub>2</sub>

O surgimento deste modelo concetual pelo terceiro aluno que falou durante a partilha proporcionou uma oportunidade para introduzir o papel destes ecossistemas na mitigação das alterações climáticas através da capacidade das plantas para remover o dióxido de carbono. Assim, esta contribuição foi utilizada pelo investigador para abrir uma nova linha de andaimes conversacionais no grupo, de modo a proporcionar oportunidades para avançar com o modelo. Assim, ele pediu-lhe que justificasse o que ela diz que se torna mais básico porque absorve mais CO<sub>2</sub>. Na linha de garantir que o modelo concetual evolui adequadamente, o investigador pediu-lhe que respondesse como é que o facto de a água filtrada ser mais básica pode afetar os moluscos. A resposta do aluno foi que “esmaga” as conchas. O moderador fê-lo ver a incoerência do seu modelo inicial, opondo-se ao que o aluno tinha dito e fornecendo-lhe o conhecimento de base que corresponde ao modelo científico, explicando que o facto de a água ser mais básica protege as conchas. O aluno mostra-se então ágil na reestruturação do seu modelo mental, relacionando os conhecimentos científicos que acabara de assimilar com o que acontece quando se utilizam conchas de bivalves. Esta aplicação do modelo recentemente desenvolvido com o contributo do cientista à utilização de conchas em parcelas de cultura foi expressa pelo aluno da seguinte forma: -É por isso que deitamos conchas na quinta!!!!. O moderador refere como ponto de comparação o facto de o pH da água do mar ser mais básico do que o dos solos.

A seguir, o cientista, continuando o seu papel de tutor especialista que lidera a argumentação para a modelação necessária para interpretar os serviços ecossistémicos das ervas marinhas, desafia os alunos perguntando-lhes o que significa o facto de as plantas filtrarem. No andaime discursivo que concebeu, procurou centrar a argumentação necessária para concluir que as raízes são capazes de fixar sedimentos. Com base nesta informação, pediu aos alunos que pensassem em conceber uma experiência para relacionar o pH, a basicidade da água e o substrato. O seu andaime avançou esta suposta proposta experimental, pedindo-lhes que pensassem numa experiência destinada a concluir se há mais ou menos bactérias fecais onde há prados e onde não há prados. Conclui a sua formulação da questão pedindo-lhes uma hipótese. O aluno que falou primeiro na sessão de partilha retoma a palavra com a sua hipótese expressa da seguinte forma: - Haverá menos bactérias fecais onde houver mais plantas. A sua estratégia de andaime é então orientada para o controlo das variáveis, perguntando-lhe se nesta suposta experiência só terá em conta o número de plantas ou se terá de considerar algo mais. O aluno responde que o tamanho também deve ser tido em conta.

Quando a variável tamanho apareceu no modelo construído com o argumento, o investigador perguntou-lhes se achavam que as plantas podiam ser pesadas. Isto deu origem a uma resposta interessante do ponto de vista da amostragem como técnica experimental em ecologia. O aluno, que era a chave do segundo argumento, perguntou se as plantas seriam pesadas uma a uma ou todas juntas. A esta questão, o cientista respondeu que teriam de encontrar uma forma de incluir o peso de todos eles em conjunto.

O andaime concebido pelo investigador avançou, procurando a evolução do padrão das plantas como alimentadoras de filtros, para uma evidência que percepcionaram através do cheiro no trabalho de campo, que é o cheiro derivado de sedimentos anóxicos. Questionou-se então sobre a origem desta perceção. O terceiro aluno que participou na discussão voltou a afirmar que, onde há prados, os seres vivos crescem e reproduzem-se melhor porque as plantas limpam a água e removem o CO<sub>2</sub>. O cientista acrescentou que também retém os sedimentos. O aluno que foi o primeiro a falar durante a discussão acrescentou que as raízes removem o CO<sub>2</sub> e filtram a poluição.

Por fim, o investigador perguntou-lhes se tinham ficado surpreendidos ou nada surpreendidos, ou se a análise tinha alguma utilidade para eles. O aluno 3 respondeu que ficou surpreendido com tantas diferenças entre o prado e o sedimento sem plantas

### • 3.4 Conclusões

- O andaime conversacional de inspiração científica utilizado pelo professor revelou-se eficaz na promoção de processos de modelação baseados na argumentação sobre a importância ecológica das pradarias de *Zostera*.
- A necessidade de desenvolver os conceitos de erro e de participação equitativa no conceito de biodiversidade, que exigiu um andaime planeado pelo investigador especialista, evidenciou a fragilidade da utilização destes conceitos-chave da Ecologia nas ciências escolares.

- O modelo de pH está a revelar-se valioso para os alunos relacionarem com a medição da capacidade das ervas marinhas para absorverem dióxido de carbono e, por conseguinte, mitigarem as alterações climáticas, mas esse modelo não existe no currículo do ensino secundário. A estratégia de andaime do perito deixa uma fórmula interessante para abordar este conceito ao nível do currículo de ciências do ensino básico, especialmente em contextos de conhecimento situado em que os alunos sabem que as conchas estão a ser adicionadas ao solo. A este respeito, é importante o desafio colocado pelo andaime de conversação do professor, que compara o pH do mar com o dos campos de cultivo. Sem entrar no desenvolvimento algorítmico do modelo, é possível associar a acidez a um elevado nível de protões e desenvolver a reação química ao nível da proficiência curricular da matéria de física e química no SSE do 3º e 4º ano de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.
- A conceção do andaime de conversação do professor é ágil, flexível e com reorientações rápidas e relevantes para mover o argumento na direção exigida pelos modelos conceptuais em evolução.
- As oportunidades de fazer ecologia escolar no próprio ecossistema e de analisar os seus próprios dados permitem aos alunos falar de ecologia de uma forma adequada, com base na ecologia escolar que praticaram na zona intertidal, o que facilita a aprendizagem de uma boa ecologia com base na ciência que desenvolveram.
- Os três alunos que seguiram os desafios do andaime conversacional do investigador tutor especialista tornaram-se agentes de aprendizagem de qualidade, proporcionando uma formação significativa e relevante no avanço dos seus modelos mentais iniciais para modelos mais evoluídos na orientação dos modelos de referência da Ecologia.



## BIBLIOGRAFIA

---

Bandura, A. (Ed.). (2017). Psychological modeling: Conflicting theories. Transaction Publishers.

Bruner, J. S. (1980). The Social Context of Language Acquisition: Witkin Memorial Lecture. Princeton, NJ: Educational Testing Services.

Gil, D., & Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI: obstáculos y propuestas de actuación. Revista Investigación en la Escuela, 43, 27-37.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. Caderno catarinense de ensino de física. Florianópolis. Vol. 15, no. 2 (ago. 1998), p. 107-120.

Bruner, J.S. (1980). The Social Context of Language Acquisition. Witkin Memorial Lecture. Princeton, NJ: Educational Testing Services.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines.

## MARCO CIENTÍFICO GENERAL Y ATLÁNTICO

---

Barañano, C., Fernández, E. Méndez, G. (2018). Clam harvesting decreases the sedimentary carbon stock of a Zostera marina meadow. Aquatic Botany. 146: 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.12.002>

Barañano, C., Fernández, E., Sónora, F., Méndez, G., Alfonso, M.X. 2021. Descubre tu estuario: las praderas olvidadas. Un proyecto de investigación escolar en praderas marinas. Universidade de Vigo. ISBN: 978-84-8158-922-1.



## QUADRO CIENTÍFICO GERAL E ATLÂNTICO

---

Boese, B.L. (2002). Effects of recreational clam harvesting on eelgrass (*Zostera marina*) and associated infaunal invertebrates; in situ manipulative experiments. *Aquatic Botany*. 73: 63-74. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00004-9)

Constanza, R., d'Arge, R. de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Duarte, C.M., Chiscano, C.L. (1999). Seagrass biomass and production: A reassessment. *Aquatic Botany* 65: 159-174. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00038-8)

Fernandes, M., Bryars, S., Mount, G., Miller, D. (2008). Seagrasses as a sink for wastewater nitrogen: The case of the Adelaide metropolitan coast. *Mar. Poll. Bull.* 58: 303-308.

Follett, E., Hays, C.G., Nepf, H. (2019). Canopy-mediated hydrodynamics contributes to greater allelic richness in seeds produced higher in meadows of the coastal eelgrass *Zostera marina*. *Frontiers in Marine Science*. 6: 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00008>

Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Whitfield, P.E. (2000). Temporal dynamics of seagrass landscapes: A preliminary comparison of chronic and extreme disturbance events. *Biologia Marina Mediterranea*. 7: 373-376.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbá, N., Holmer, M., Mateo, M.A. et al. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nat. Geosci.* 5(7): 505-509. <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>

García-Redondo, V., Bárbara, I., Díaz-Tapia, P. (2019). *Zostera marina* meadows in the northwestern Spain: distribution, characteristics and anthropogenic pressures. *Biodiversity and conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01753-4>

## QUADRO CIENTÍFICO GERAL E ATLÂNTICO

---

Green, E.P., Short, F.T. Eds. (2003). World Atlas of Seagrasses. Berkeley. University of California Press.

de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F. et al. (2012). Ecosystem Services. 1: 50-61.

Hemminga, M., Duarte, C.M. (2000). Seagrass Ecology. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

Heck, K.L., Hays, C., Orth, R.J. (2003). A critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. Mar. Ecol. Prog. Ser. 253: 123-136.

Lamb, J.B., van de Water, J.A.J.M., Bourne, D.G., Altier, C., Hein, M.Y. et al. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes and invertebrates. Science. 355: 731-733.

Norlund, L.M., Koch, E.W., Barbier, E.B., Creed, J.C. (2016). Seagrass ecosystem services and their variability across genera and geographical regions. PLoS ONE. 11(10): e0163091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163091>

Norlund, L.M., Unsworth, R.K.F., Gullstrom, M., Cullen-Unsworth, L.C. (2017). Global significance of seagrass fishery activity. Fish and Fisheries. <https://doi.org/10.1111/faf.12259>.

Olsen, J.L., Rouzé, P., Verhelst, P., Lin, Y.C., Collen, J. et al. (2016). The genome of the seagrass *Zostera marina* reveals angiosperm adaptation to the sea. Nature. 530: 331-335. <https://doi.org/10.1038/nature16548>

Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W. et al. (2006). A global crisis for seagrass ecosystems. Bioscience. 56: 987-996. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2)



## QUADRO CIENTÍFICO GERAL E ATLÂNTICO

---

Ruiz, G.M., Fofonoff, P.W., Carlton, J.T., Wonham, M.J., Hines, A.H. (2000). Invasion of coastal marine communities in North America: Apparent patterns, processes, and biases. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 31: 481-531. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.481>

Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A., Otero, M.M. (Eds.). (2015). Atlas de las praderas marinas de España. IEO/IEL/UICN. Murcia-Alicante-Málaga. 681 pp.

Unsworth, R.K.F., Williams, B., Jones, B.L., Cullen-Unsworth, L.C., (2017). Rocking the boat: damage to eelgrass by swinging boat moorings. *Frontiers in Plant Science*. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01309>.

Walker, D.I., Kendrick, G.A., McComb, A.J. (2006). Decline and recovery of seagrass ecosystems: the dynamics of change. En: Larkum A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. Eds. *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Dordrecht (The Netherlands). Springer.

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnike, S., et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 106 (30): 12377-12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

Troncoso, J. (2017). Resilience of *Zostera marina* L. habitats and response of the macroinvertebrate community to physical disturbance caused by clam harvesting. *Marine Biology Research*. <https://doi.org/10.1080/17451000.2017.1307989>

## MAR NEGRO

---

Bat L., Gökkurt O., Sezgin M., Ustun F., Sahin F., 2009. Evaluation of the Black Sea Land Based Sources of Pollution the Coastal Region of Turkey. *The Open Marine Biology Journal*, 3: 112-124.

Borja, A., Dauer, D.M., 2008. Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: comparing methodologies and indices. *Ecological Indicators* 8, 331–337.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. and Greve T.M., 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. A publication by the EU project Monitoring and Managing of European Seagrasses (M&MS) EVK3-CT-2000-00044.

Crespin S. J., Simonetti J. A., 2016. Loss of ecosystem services and the decapitalization of nature in El Salvador. *Ecosystem Services*, 17, 5-13.

Dauer, D. M., 1993. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin* 26 (5), 249-257.

Cogălniceanu, D., 2007. *Ecologie Şi Protecția Mediului*, Program postuniversitar de conversie profesională pentru cadrele didactice din mediul rural, Ministerul Educației și Cercetării, Proiectul pentru Învățământul Rural.

Ellis E.C., 2015. Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85(3), 287-331.

Ellis E.C., Pascual U., Mertz O., 2019. Ecosystem services and nature's contribution to people: negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38 (2019), 86-94.

Gunderson L.H., 2000. Ecological Resilience—In Theory and Application, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31(1), 425-439.

## MAR NEGRO

---

Haines-Young Roy, Potschin Marion, 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being, Chapter Six. In: Raffaelli, D. & C. Frid (eds.): Ecosystem Ecology: a new synthesis. BES Ecological Reviews Series, CUP, Cambridge.

Halpern B.S., Frazier M., Afflerbach J., Lowndes J.S., Micheli F., O'Hara C., Scarborough C., Selkoe K.A., 2019. Recent pace of change in human impact on the world's ocean. Sci. Rep., 9 (1),1-8.

Jitar O., Teodosiu C., Oros A., Plavan, G. & Nicoara M., 2015. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea. New Biotechnology, 32(3): 369–378.

Halcrow U.K. et al., 2011-2012. Master Plan 'Protection and Rehabilitation of the coastal zone'.

Kaewsrikhaw R., Upanoi T., Prathep A., 2022. Ecosystem Services and Vulnerability Assessments of Seagrass Ecosystems: Basic Tools for Prioritizing Conservation Management Actions Using an Example from Thailand. Water, 14, 3650.

Kremen C., 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecological Letters, 8, 468-479.

Laterra P., Barral P., Carmona A., Nahuelhual L., 2016. Focusing Conservation Efforts on Ecosystem Service Supply May Increase Vulnerability of Socio-Ecological Systems. PLoS ONE 11(5), e0155019.

MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington D.C.



## MAR NEGRO

---

Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K., Jarvis L., Kremen C., Herrero M., Rieseberg L.H., 2018. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual Reviews of Plant Biology*, 69, 789-815.

Søndergaard M. & Jeppesen E., 2007. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1089-1094

United Nations, 2020. The sustainable development goals report 2020. United Nations.

Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... & Watson, J. E., 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature communications*, 7(1), 12558.

Watson K., Galford G., Sontter L., Koh I., Ricketts T.H., 2019. Effects of human demand on conservation planning for biodiversity and ecosystem services. *Conservation Biology*, 33(4), 942-952.

Zhao Y., Wu J., He C. et al., 2017. Linking wind erosion to ecosystem services in drylands: a landscape ecological approach. *Landscape Ecology*, 32, 2399-2417.

## MAR BÁLTICO

---

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 1997. Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *Journal of Sea Research* 37, 153–166.

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 2000. Zoobenthic community establishment and habitat complexity – the importance of seagrasses shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Marine Ecology Progress Series* 205, 123–138.

Czarnecka, P., Dąbrowska, A., Igielska, M., Janas, U., Kendzierska, H., 2013. Znaczenie łąk podwodnych w Zatoce Gdańskiej. Conference: Young Scientists conference World Water Day, Conference paper.

Dąbrowska, A. H., Janas, U., Kendzierska, H., 2016. Assessment of biodiversity and environmental quality using macrozoobenthos communities in the seagrass meadow (Gulf of Gdańsk, southern Baltic). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(2), 286.

Gonciarz, M., Wiktor, J., Tatarek, A., Węgleński, P., Stanković, A. 2014. Genetic characteristic of three Baltic *Zostera marina* populations. *Oceanologia*, 56(3), 549–564.

Heck Jr., K. L., Hays, G., Orth, R. J., 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress series*, 253, 123–136.

Hemminga, M. A., Duarte, C. M., 2000. *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.

Herringshaw, L.G., Sherwood, O.A., Mcllroy, D., 2010. Ecosystem engineering by bioturbating polychaetes in event bed microcosms. *PALAIOS*, 25, 46–58.

Howard, R. K., Short, F. T., 1986. Seagrass growth and survivorship under the influence of epiphyte grazers. *Aquatic Botany*, 24, 287–302.

## MAR BÁLTICO

---

Janas, U., Bonsdorff, E., Warzocha, J., Radziejewska, T., 2017. Deep soft seabeds. Biogeochemical cycles, Springer, 359–385.

Jankowska, E., De Troch, M., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczyk, M., 2018. Modification of benthic food web structure by recovering seagrass meadows as revealed by trophic makers and mixing models. Ecological Indicators, 90, 28–37.

Jankowska, E., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczyk, M., 2019. Stabilizing effects of seagrass meadows on coastal water benthic food webs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 510, 54–63.

Leidenberger, S., Harding, K., Jonsson, P.R., 2012. Ecology and distribution of the Isopod genus *Idotea* in the Baltic Sea: key species in a changing environment. Journal of Crustacean Biology, 32(3), 359–381.

Levinton, J., 1995. Bioturbators as Ecosystems Engineers: Control of the Sediment Fabric, Inter-Individual Interactions, and Material Fluxes. [w:] Jones C., Lawton J. H., (red.), Linking species & ecosystems, Springer- Science+Business Media, Dordrecht, 29–36.

Miernik, N. (2019). Charakterystyka i funkcje ekologiczne organizmów tworzących łąki podwodne *Zostera marina* Zatoki Puckiej. Tutoring Gedanensis, 4(2), 17–20.

Nelson, W.G., Bonsdorff, E., 1990. Fish predation and habitat complexity: Are complexity thresholds real? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 141, 183–194.

Philippart, C. J. M., 1995. Effect of periphyton grazing by *Hydrobia ulvae* on growth of *Zostera noltii* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. Marine Biology 122, 431–437.

Short F. T., Polidoro B., Livingstone S.R., Carpenter K.E., Bandeira S., Bujang J. S., Zieman J. C., 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species, Biological Conservation., 144 (7), 1961–1971.



## MAR BÁLTICO

---

Sokołowski, A., Wołowicz, M., Asmus, H., Asmus, R., Carlier, A., Gasiunaite, Z., Gremare, A., Hummel, H., Lesutiene, J., Razinkovas, A., Renaud, P. E., Richard, P., Kędra, M., 2012. Is benthic food web structure related to diversity of marine macrobenthic communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 108, 76–86.

Sundin, J., Jacobsson, O., Belgrund, A., Rosenqvist, G., 2011. Straight-nosed pipefish *Nerophis ophidion* and broad-nosed pipefish *Syngnathus typhle* avoid eelgrass overgrown with filamentous algae. *Journal of Fish Biology*, 78, 1855–1860.

Włodarska-Kowalczyk, M., Jankowskam E., Kotwicki, L., Bałazy, P., 2014. Evidence of Season-Dependency in Vegetation Effects on Macrofauna in Temperate Seagrass Meadows (Baltic Sea), *PLoS ONE*, 9(7).

O apoio da Comissão Europeia à produção desta publicação não constitui uma aprovação do seu conteúdo, que reflete apenas as opiniões dos autores, e a Comissão não pode ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita da informação nela contida.



ALEXANDRU IOAN CUZA  
UNIVERSITY of IAȘI