

EXPEDIÇÃO CAMINHO DAS ÁGUAS UFPR

Rosana Moreira da Rocha
(Organizadora)
2025

EXPEDIÇÃO CAMINHO DAS ÁGUAS



Organização:

Rosana Moreira da Rocha

Capa:

Pedro Curcel

Revisão:

Rosana Moreira da Rocha

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

EX96

Expedição caminho das águas / Organização : Rosana Moreira da Rocha. – [Curitiba] : UFPR, 2025.
1 recurso eletrônico ; PDF (161 p.: il. color.)

e-ISBN 978-65-5458-420-3

Obra vinculada ao Setor de Ciências Biológicas,
Universidade Federal do Paraná.

1. Ambiente aquático. 2. Água - Conservação. 3. Biologia - Estudo e Ensino. 4. Pesquisa. I. Rocha, Rosana Moreira da, 1962-. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas.

CDD (22. ed.) 577.6

Bibliotecária: Giana Mara Seniski Silva CRB-9/1406

E-ISBN 978-65-5458-420-3



Este livro está sob a licença Creative Commons, que segue o princípio do acesso público à informação. O livro pode ser compartilhado desde que atribuídos os devidos créditos de autoria. Não é permitida nenhuma forma de alteração ou a sua utilização para fins comerciais.

br.creativecommons.org



EXPEDIENTE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

REITOR Marcos Sfair Sunye

VICE-REITORA Camila Girardi Fachin

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PRÓ-REITORA Edneia A. S. R. Cavalieri

PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO E CULTURA

PRÓ-REITORA Andréa Berriel Mercadante

Mayara Elita Braz Carneiro (Gestão 2024)

SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

DIRETOR Thales Ricardo Cipriani

VICE-DIRETOR Marcelo de Meira Santos Lima

PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós Graduação em Biologia Celular e Molecular | PPGBIOCEL

Programa de Pós Graduação em Botânica | PPGBOT

Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação | PPGECO

Programa de Pós Graduação em Zoologia | PPGZOO

Programa de Pós Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional | PROFBIO

MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS

COORDENADOR Fernando Antonio Sedor

EQUIPE Adial Ribeiro Godoy Junior | Elis Regina Ribas | Elizabete Maia | Isabelle Gonçalves Ferreira | Juliana Barbosa Ferrari | Julio Amatuzzi | Rodrigo Arantes Reis | Sibelle Trevisan Disaro



EXPOSIÇÃO

ORGANIZAÇÃO Rosana Moreira da Rocha

PESQUISA, CRIAÇÃO E CONTEÚDO

Aliciane de Almeida Roque | PPGBIOCEL
Aline Miranda Nagatomi de Oliveira | Ciências Biológicas
Ananda Karla Alves Neundorf | PPGECO
Ana Paula Freire dos Santos | PPGZOO
Ana Paula Nascimento Corrêa | PPGECO
Andre Andrian Padial | PPGECO
Beatriz de Carvalho Costa | Ciências Biológicas
Bruna Franciscon de Oliveira | PPGECO
Diego Dias Sudul | PPGECO
Elisa Gomes Pinheiro Kiipper | Ciências Biológicas
Emydio Leite de Araujo Monteiro Filho | PPGZOO
Érica Ribeiro | Ciências Biológicas
Felipe Schaly | PPGBIOCEL
Fernando de Campos Guerreiro | PPGECO
Flavia Sant'Anna Rios | PPGECM | PROFBIO
Gabriel Paes Rodrigues | Ciências Biológicas
Gabriela Schultz da Silva | PPGECO
Gabryel Willian Leandro | Ciências Biológicas
Giovana Fagundes França | Ciências Biológicas UNESPAR
Gisele Carolina Marquardt | PPGBOT
Gustavo dos Santos Cardoso | PPGECO
Helena Ody Neves | PPGZOO
Ingrid Lavínia Malosti Vieira | Ciências Biológicas
João Mateus Zepson Capucho | Ciências Biológicas
Joice Dissenha Gonçalves | PPGZOO
Jonathan Rene Arzão Molina | PPGECO
Júlia Beatriz Ferreira Carvalhal Santos | Medicina
Leticia Malinoski | PPGECO
Lilian Tonelli Manica | PPGECO | PPGZOO
Luana Poças de Paulo | PPGECO
Lucélia Donatti | PPGECO | PPGECO | PPGBIOCEL
Luís Fernando Fávaro | PPGECO | PPGZOO
Manuela Cristina Antunes | Ciências Biológicas



Marcelo Pedrosa Gomes | PPGBOT | PPGECO
Marcos Soares Barbeitos | PPGZOO
Maria Julia de Lima Nunes | Ciências Biológicas
Maria Letícia B. G. Lopes | PPGECO
Mariliza Vieira da Costa | PPGBIOCEL
Maritana Mela Prodocimo | PPGBIOCEL
Mayara Pereira Neves | PPGZOO
Mycaela Machado Nobre | Ciências Biológicas
Nicole Geraldine de Paula Marques Witt | PPGECO
Paula Carolina Ferreira | PPGBOT
Pietro Fagundes Faucz | Ciências Biológicas
Rafael Germano da Silva | Ciências Biológicas
Roberta Pozzan | PPGBIOCEL
Rosana Moreira Rocha | PPGECO | PPGZOO | PROFBIO
Samuel Martins de Assis | Ciências Biológicas
Sibelle Trevisan Disaró | MCN | LaFMA
Tabata D'Maiella Freitas Klimeck | PPGZOO
Vinícius Castro Burgo | Ciências Biológicas

PRODUÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Esther Martins | ASPEC

IDENTIDADE VISUAL E DESIGN DA EXPOSIÇÃO

Guile Cordeiro | Pedro Curcel

PUBLICAÇÃO

ORGANIZAÇÃO Rosana Moreira da Rocha

ESTAÇÃO VERTEBRADOS

Helena Odi
Érica Ribeiro
Tabata D'Maiella Freitas Klimeck
Lilian Tonelli Manica
Emydio Leite de Araujo Monteiro Filho



ESTAÇÃO MATA CILIAR

Rosana Moreira Rocha

ESTAÇÃO BIOINDICADORES

Aliciane de Almeida Roque

Aline Miranda Nagatomi de Oliveira

Beatriz de Carvalho Costa

Felipe Schaly

Fernando de Campos Guerreiro

Gabriela Schultz da Silva

Gisele Carolina Marquardt

Manuela Cristina Antunes

Mariliza Cristine Vieira da Costa

Maritana Mela Prodócimo

Melina Luzia Gunha Marques

Paula Carolina Ferreira

Roberta Pozzan

ESTAÇÃO FITORREMEDIAÇÃO

Leticia Malinoski

Nicole Geraldine de Paula Marques Witt

Marcelo Pedrosa Gomes

ESTAÇÃO PLÁSTICOS

Bruna Franciscon de Oliveira

Maria Letícia B. G. Lopes

Diego Dias Sudul

Rafael Germano da Silva

Samuel Martins de Assis

Luis Fernando Fávaro

ESTAÇÃO ESTUÁRIO

Gustavo dos Santos Cardoso

Elisa Gomes Pinheiro Kiipper

Gabriel Paes Rodrigues

Maria Julia de Lima Nunes

Andre Andrian Padial



ESTAÇÃO PEIXES

Mayara Pereira Neves
Ana Paula Freire dos Santos
Gabryel Willian Leandro
Ingrid Lavínia Malosti Vieira
João Mateus Zepson Capucho
Mycaela Machado Nobre
Pietro Fagundes Faucz
Vinícius Castro Burgo

ESTAÇÃO FORAMINÍFEROS

Tabata D'Maiella Freitas Klimeck
Joice Dissenha Gonçalves
Giovana Fagundes França
Sibelle Trevisan Disaró

ESTAÇÃO COSTÃO ROCHOSO

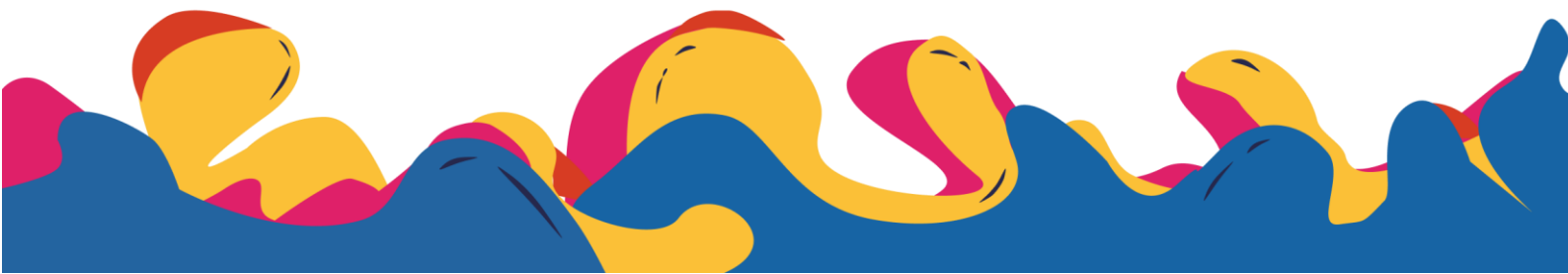
Luana Poças de Paulo
Jonathan Rene Arzão Molina
Rosana Moreira da Rocha

ESTAÇÃO ANTÁRTICA

Flavia Sant'Anna Rios
Júlia Beatriz Ferreira Carvalhal Santos
Ana Paula Nascimento Corrêa
Ananda Karla Alves Neundorf
Lucélia Donatti

ESTAÇÃO CORAIS

Marcos Soares Barbeitos



SUMÁRIO

EXPEDIENTE	2
PREFÁCIO	8
APRESENTAÇÃO	10
MATA CILIAR	12
VERTEBRADOS	13
BIOINDICADORES	36
FITORREMEDIÇÃO	58
PLÁSTICOS	78
ESTUÁRIOS	87
PEIXES	95
FORAMINÍFEROS	101
COSTÃO ROCHOSO	119
CORAIS	141
ANTÁRTICA	149



PREFÁCIO

O significado da importância da água é multidimensional e passível de ressignificação, estando associado tanto à sobrevivência e saúde quanto à dignidade, inclusão social e, é claro, ao meio ambiente. Embora possamos enxergar toda essa diversidade de interpretações quanto ao valor intrínseco da importância da água em nossa sociedade, é inequívoca a confluência dessas compreensões em direção à necessidade de preservação imediata desse recurso natural. É consenso que a água está sob constante ameaça, seja pelo crescimento populacional desordenado e intensa atividade industrial nos centros urbanos, ou pelas crescentes demandas de consumo por parte de setores tecnológicos da pecuária e também da agricultura. Em conjunto, estamos diante de uma sociedade que, mundialmente, consome e polui os maiores volumes de água já vistos na história da humanidade, fato este que, indubitavelmente, produz resultados nefastos para o agravamento dos impactos de mudanças climáticas, colocando em xeque o mais importante recurso natural de nosso planeta.

Diante deste cenário de escassez, assim como a deterioração da qualidade devido à poluição e à contaminação das águas, é luminosa e necessária a iniciativa deste livro “Expedição Caminho das Águas”, assim como de sua exposição congênere. Neste livro, estão apresentados, com riqueza de detalhes, capítulos que se debruçam sobre os diferentes ambientes aquáticos e seus temas centrais, tais como: Mata Ciliar, Vertebrados, Bioindicadores, Fitorremediação, Plásticos, Estuários, Peixes, Foraminíferos, Costão Rochoso, Corais, e sobre a Antártica. Tamanha abrangência temática é referendada pelos mais instigantes e atualizados estudos presentes na literatura, e que preenchem as páginas desta obra, sempre com uma linguagem acessível e agradável a todos os públicos. Além disso, destaca-se também a profusão de ilustrações e quadros informativos que oferecem um didatismo cativante e inspirador, fruto do meticuloso trabalho colaborativo de docentes, técnicos e estudantes do curso de Ciências Biológicas e de inúmeros



Programas de pós-graduação do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná.

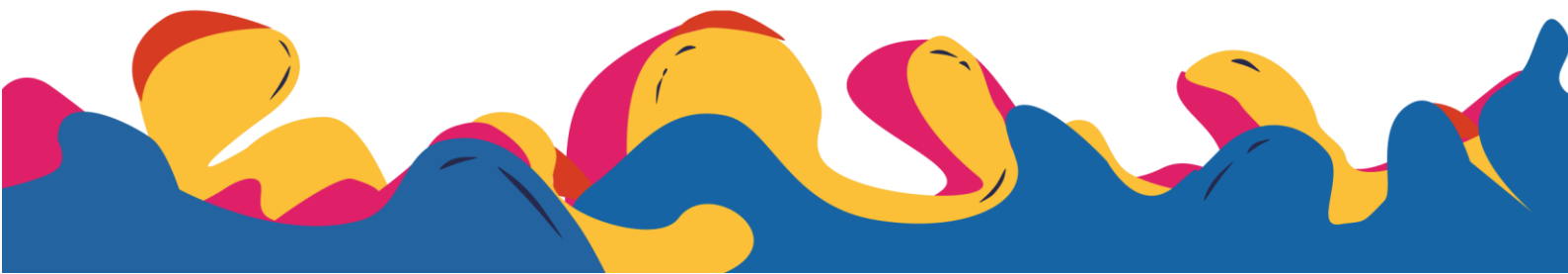
Para além da rica contextualização biológica aqui trazida, é fundamental refletir que esta obra se insere dentro de uma abordagem estratégica essencial que é a da educação ambiental. Em nosso tempo, deve-se estabelecê-la em posição prioritária para compor os currículos escolares, tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio. Embora relativamente jovem, a educação ambiental precisa, cada vez mais, migrar de um modelo de abordagem isolada e fragmentária para ser, definitivamente, encarada diante de sua natureza absolutamente transversal e estruturante. Só por meio da educação ambiental, de fato, poderemos construir um pensamento coletivo que vá além de uma mera intuição de preservação, quase de senso comum, para, de fato, a consolidação e aplicação de conceitos sólidos, cientificamente comprovados, em prol do meio ambiente e da conservação. Desse modo, as discussões, em sociedade, de metas ambientais de restauração e preservação não serão meras formulações abstratas, mas sim férteis construções de consensos com a efetiva propositura de soluções que terão maiores chances de sucesso. Portanto, este livro se encaixa como uma importante ação de difusão de conhecimentos científicos no âmbito das melhores práticas de educação ambiental.

Encerro esta breve reflexão citando o ambientalista Chico Mendes (1944-1988) que com seu engajamento e sensibilidade definiu com maestria a relevância desta luta em favor do meio ambiente: “No começo pensei que estivesse lutando para salvar seringueiras, depois pensei que estava lutando para salvar a Floresta Amazônica. Agora, percebo que estou lutando pela humanidade”.

Desejo uma agradável e proveitosa leitura!

Marcelo de Meira Santos Lima

Vice-Diretor do Setor de Ciências Biológicas (gestão 2022-2026)



APRESENTAÇÃO

Este livro acompanha a exposição “Expedição Caminho das Águas”, que surge a partir de um edital da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação do Ministério da Educação (MEC), para financiar o desenvolvimento de projetos de extensão pelos programas de Pós-Graduação brasileiros. No Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná doze programas de Pós-Graduação realizam pesquisas de ponta em áreas como meio ambiente, biodiversidade e saúde, formando mestrandos e doutorandos para atuar nas mais variadas atividades. Na extensão, nossa principal vocação é a Educação, e é a partir do ensino em espaços formais e não-formais que buscamos interagir com a sociedade, compartilhando o conhecimento gerado em nossos laboratórios de pesquisa.

A exposição “Expedição Caminho das Águas” é a primeira de quatro exposições que poderão ser visitadas no saguão do Museu de Ciências Naturais da UFPR a partir de 2025 e posteriormente em outras unidades. Ela apresenta, de maneira lúdica, como a água é integrante essencial de diferentes ambientes, desde o continente na forma de rios e lagoas, passando pela planície costeira, onde os rios formam estuários que se encontram e interagem com os ambientes marinhos. Pelo ambiente marinho nos conectamos, ainda, ao continente Antártico. Todos esses ambientes são estudados por diferentes laboratórios no Setor de Ciências Biológicas da UFPR e aqui o/a visitante ou leitor/a poderá se sentir no papel do/a cientista que busca responder as perguntas que nos fazemos no dia a dia sobre a natureza.

Na exposição e neste livro, apresentamos os ambientes representados, focando organismos e suas adaptações, processos ecológicos, serviços ambientais e as possíveis ameaças a que estes ambientes estão sujeitos. Além da informação, atividades lúdicas na forma de jogos, desafios, e entretenimento buscam encantar e sensibilizar visitantes e leitores para as questões ambientais e sua importância para a qualidade da vida humana.



Em cada capítulo são apresentados os laboratórios envolvidos no desenvolvimento da exposição, conteúdos e referências mais aprofundadas do tema, e sugestões de atividades a serem desenvolvidas por professores durante a exposição ou em sala de aula.

Que o caminho das águas nos leve a momentos de aprendizado e reflexão, de maneira lúdica e prazerosa!

Rosana Moreira da Rocha (organizadora)



MATA CILIAR

MATA CILIAR

ENTRE A TERRA E A ÁGUA



Morretes, foto: James Roper

AMBIENTES DE TRANSIÇÃO

Os ecossistemas não são isolados um dos outros. As transições entre dois ecossistemas são chamadas ecótonos, e podem ser mais ou menos abruptas. Nos ecótonos pode haver trocas de organismos e de recursos de um ecossistema para outro. Já ouviu falar de peixes da Amazônia que comem frutas das árvores ribeirinhas?



Aparados da Serra, foto: James Roper

MATAS CILIARES

A floresta que acompanha as margens de rios e lagos é chamada mata ou floresta ciliar ou floresta ripária. O código florestal considera essas florestas como Área de Preservação Permanente (artigo 4º) e devem ter de 30 a 500 metros de largura, dependendo do tamanho do corpo de água. Na fotografia ao lado vemos um ecossistema de campo lado-a-lado com a floresta ciliar.



Parque Estadual do Tainhas, RS, foto modificada: Ponevina, CC BY-SA 3.0

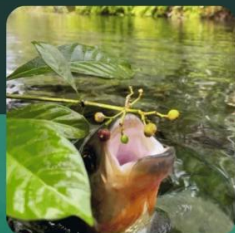
COMBATENDO A EROSÃO

Florestas ciliares são importantes aliadas no combate à erosão, pois as raízes agregam o solo e as copas das árvores impedem que as gotas de chuva atinjam o solo diretamente, evitando a lixiviação durante tempestades com ventos e chuvas intensas. Desta forma, também atuam como filtros que impedem que as águas dos rios fiquem barrentas.

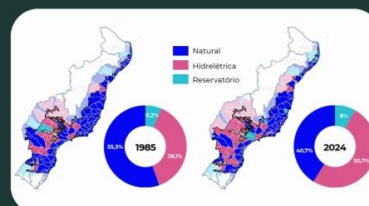
SERVIÇOS AMBIENTAIS

Ecossistemas de águas continentais dependem dos ciclos das chuvas. Com as mudanças climáticas e o aumento da temperatura da Terra, os rios estão secando!! No Brasil perdemos quase 4% da cobertura de água em 2024, em relação à média histórica! As florestas são essenciais para manter a umidade da atmosfera e o ciclo das chuvas. As florestas ciliares também causam sombreamento nas margens dos corpos de água e criam microhabitats que favorecem diferentes espécies de animais, a biodiversidade.

No Mato Grosso do Sul a piraputanga (*Brycon hilarii*) salta para pegar os frutos do cafeeiro-da-mata e atua na dispersão da planta. Foto José Sabino CC 4.0



CORPOS DE ÁGUA NATURAIS E ARTIFICIAIS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA



MAPBIOMAS 2025 Panorama da superfície de água do Brasil 1985-2024.

Quase metade dos corpos de água no Bioma Mata Atlântica já são artificiais – reservatórios de água para uso residencial ou para geração de energia elétrica.

VERTEBRADOS

Helena Ody Neves¹, Érica Ribeiro³, Tabata D'Maiella Freitas Klimeck¹, Lilian Tonelli Manica^{1,2}, Emydio Leite de Araujo Monteiro Filho^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Zoologia - Universidade Federal do Paraná

² Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná

³ Graduação em Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná



Laboratório de Biologia e Ecologia de Vertebrados - LabBEV

Coordenação: Prof. Dr. Emygdio Leite de Araujo Monteiro Filho

Situado no Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o LabBEV foi fundado no ano de 1991, e atualmente está vinculado ao programa de Pós-Graduação em Zoologia da instituição. Além de suas atividades no LabBEV, o Prof. Emygdio é também coordenador do acervo da Coleção Didática de Vertebrados o Departamento de Zoologia e pesquisador associado e diretor no Instituto de Pesquisas Cananéia (IPEC), onde desenvolve, há mais de três décadas, estudos com *Sotalia guianensis* (boto-cinza).

As atividades do LabBEV incluem a manutenção do acervo de vertebrados, que atualmente conta com mais de 100 animais taxidermizados, dentre eles aves, répteis e mamíferos, e aproximadamente 7 mil animais preservados em meio líquido. A coleção, que se destaca como uma das mais relevantes do Brasil, tem como fim o ensino e a pesquisa de alunos de graduação e pós graduação de diversos cursos, como Ciências



Biológicas, Medicina Veterinária, Zootecnia, Engenharia Florestal e Agronomia. As pesquisas realizadas no LabBEV são voltadas para a área de ecologia e biologia de vertebrados terrestres e aquáticos, incluindo felídeos selvagens, marsupiais, tartarugas, jacarés, roedores e mamíferos marinhos, em especial *S. guianensis*.

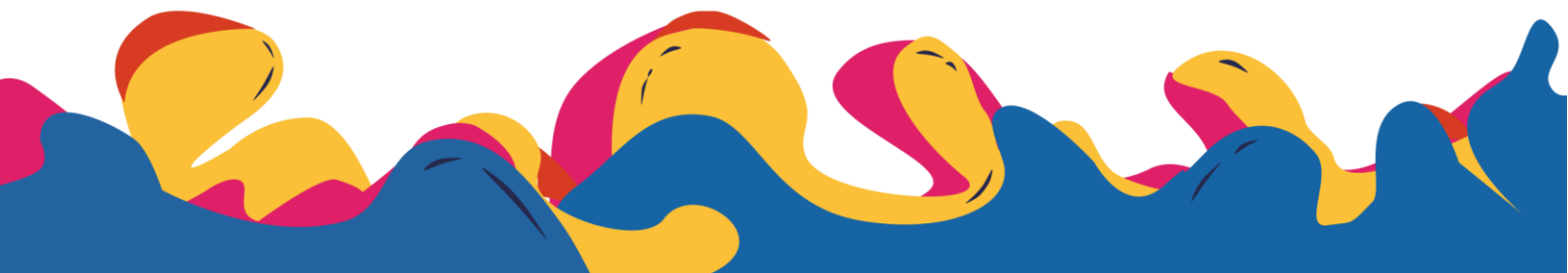


**Laboratório de Ecologia
Comportamental e Ornitologia - LECO**

Coordenação: Dra. Lilian T. Manica e Dr.
André C. Guaraldo

Situado no Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o LECO foi fundado em 2014 e é vinculado aos Programas de Pós-Graduação em Zoologia, e em Ecologia e Conservação da UFPR. Além da coordenação do LECO, a professora Lilian atua como editora associada da revista científica *Ornithology* e integrou o comitê executivo da *Animal Behavior Society*. Em suas orientações, desenvolve pesquisas que exploram as interações entre comportamento, ecologia e evolução de aves neotropicais, com ênfase em seleção sexual, comunicação animal, interações hospedeiro-parasito e conservação. Já o professor André, antes de integrar o corpo docente da UFPR, foi professor do departamento de Zoologia da UFJF e ocupou o cargo de 1º Secretário da Diretoria da Sociedade Brasileira de Ornitologia por duas gestões (2020–2021 e 2022–2023). Suas orientações envolvem temas como migração, ecologia de aves, reprodução, frugívora e dispersão de sementes por aves.

As pesquisas desenvolvidas no LECO concentram-se no comportamento e nas interações ecológicas das aves, com foco especial nas espécies da Mata Atlântica. Um dos principais objetivos é compreender como as aves se comunicam e escolhem parceiros sexuais por meio de comportamentos reprodutivos, como as exibições cooperativas do Tangará (*Chiroxiphia caudata*). Nessa linha, são estudados aspectos como bioacústica



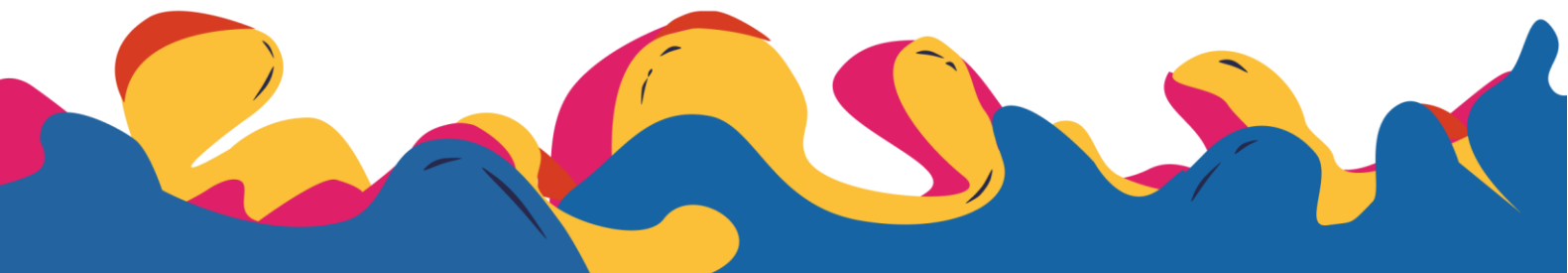
(vocalizações), coloração da plumagem e outros sinais que influenciam a escolha de parceiros para reprodução.

Os integrantes do LECO também investigam como parasitos, como os causadores da malária aviária, afetam a saúde, a aparência e o comportamento das aves. Outras frentes de pesquisa incluem o estudo de aves migratórias e urbanas, bem como suas interações com espécies vegetais ameaçadas de extinção — como o caso do Grimpeiro (*Leptasthenura setaria*) e sua relação com a Araucária (*Araucaria angustifolia*). O laboratório também utiliza dados de ciência-cidadã e bancos de dados online como ferramentas complementares em seus estudos.

O que é um Vertebrado? Onde eles vivem?

Os vertebrados pertencem ao subfilo Vertebrata ou Craniata, formando um grupo de animais que compartilham um ancestral comum exclusivo, ou seja, possuem uma origem evolutiva comum, portanto, dizemos se tratar de um grupo monofilético de organismos. Algumas destas características são bem conhecidas: o crânio, uma estrutura óssea ou cartilaginosa que protege o encéfalo, e as vértebras, elementos osteo-cartilaginosos que substituem a notocorda e envolvem a medula espinhal, formando a coluna vertebral. Como pertencem ao Filo Chordata, durante o desenvolvimento embrionário, também apresentam quatro características que são novidades evolutivas deste filo: notocorda, tubo neural dorsal, endóstilo e cauda pós-anal. A maior parte dos vertebrados também apresenta um endoesqueleto, formado de cartilagem (tubarões) ou ósseos (anfíbios, répteis, aves e mamíferos). Mesmo os agnatos mais basais, como o peixe-bruxa (Myxini) e as lampreias (Petromyzontida), exibem vértebras rudimentares que os incluem no subfilo Vertebrata.

Dentre os vertebrados encontram-se os peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos, que podem ocupar diferentes ambientes. Atualmente, há vertebrados que utilizam o espaço aéreo, que vivem em rios, mares, florestas, desertos, ambientes polares e nas



cidades. Esses animais colonizaram quase todos os tipos de ambientes no planeta, demonstrando uma incrível capacidade adaptativa!

Origem Evolutiva dos Vertebrados

A origem dos vertebrados remete aos oceanos, há milhões de anos, quando o planeta Terra era muito diferente. Os registros fósseis indicam que os primeiros vertebrados surgiram no Cambriano Inferior, há cerca de 525 milhões de anos, representados pelos ostracodermos, peixes desprovidos de mandíbulas, recobertos por placas dérmicas. No Devoniano (419,2 e 358,9 m.a.), a diversificação dos peixes com mandíbula (placodermos, condrictes e osteíctios) abriu o caminho para a transição para ambientes terrestres e a origem das linhagens de anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Fatores como a evolução de nadadeiras articuladas, modificações na estrutura da cintura pélvica e escapular foram cruciais para esse processo.



Mesmo após a conquista do ambiente terrestre muitos vertebrados continuam dependentes do ambiente aquático para realizar seu ciclo de vida, como é o caso de muitos peixes e anfíbios.

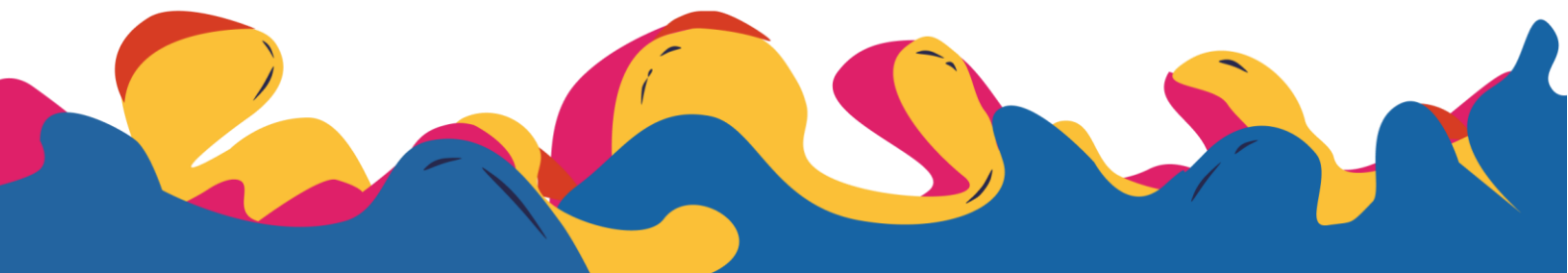
Diversidade de Hábitats

Atualmente, mais de 70.000 espécies de vertebrados habitam os rios, lagos, oceanos, florestas [EF1], desertos, montanhas, regiões polares e ambientes urbanos. Em terra firme, aves e mamíferos, [EF2] dominam florestas e savanas, lagartos e roedores ocupam desertos. As aves desenvolveram adaptações ao voo (ossos pneumáticos finos e fortes, penas, sacos aéreos).

Nos ecossistemas aquáticos, encontram-se peixes de água doce e salgada, anfíbios em fase larval, tartarugas, crocodilianos, serpentes, aves e mamíferos (peixe-boi, golfinhos e baleias, focas e leões-marinhos).

As aves também estão intimamente ligadas com esse habitat, pois muitas espécies com adaptações à vida aquática, apesar de viverem à superfície de lagos, rios e oceanos, utilizam esse para o descanso e obtenção de alimento. Em regiões polares, ursos, focas e algumas aves como por exemplo os pinguins possuem estratégias fisiológicas e comportamentais para sobreviver à baixas temperaturas. A concepção de micro-habitats (e.g. como brejos, manguezais e recifes de coral) amplia ainda mais os ambientes ocupados pelos vertebrados.

Atualmente 71% da superfície terrestre é coberta pelos oceanos e eles abrigam uma grande diversidade de vida em seus diferentes micro-habitats. Nós, como humanos, apesar de não vivermos diretamente no oceano, também somos muito dependentes dele, como fonte de alimento, transporte. É por isso que, de 2021 a 2030, a ONU (Organização das Nações Unidas) declarou como a Década do Oceano, para estimular a ciência



oceânica e gerar conhecimento para um desenvolvimento sustentável desse vasto ecossistema.

O que caracteriza um mamífero?

Os mamíferos, classe Mammalia, distinguem-se por um conjunto de sinapomorfias (característica homóloga que é compartilhada por dois ou mais táxons e que se originou no ancestral comum mais recente desses táxons): presença de glândulas mamárias que produzem leite para alimentar filhotes, pelos em alguma fase do ciclo de vida, dentição heterodonte com especializações como incisivos, caninos, pré-molares e molares, e três ossículos (martelo, bigorna e estribo) no ouvido médio.

A classe divide-se em monotremados (Prototheria), que são mamíferos que ainda põem ovos; marsupiais (Metatheria), cujos embriões completam o desenvolvimento em uma bolsa abdominal (marsúpio); e placentários (Eutheria), com gestação prolongada e placenta complexa.



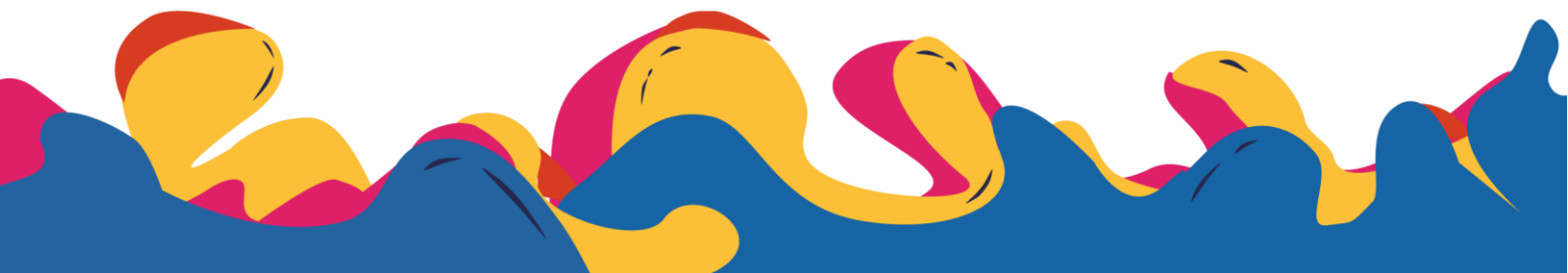
Baleia e golfinhos: Quem são os cetáceos?

As baleias, botos e golfinhos são o maior grupo de mamíferos marinhos e se enquadram em um grupo que cientificamente chamamos de “cetáceos”. Assim como os demais mamíferos produzem leite, ao nascerem podem possuir vestígios de pelos na região rostral (“bico”) e são endotérmicos, ou seja, podem controlar a própria temperatura corporal. Esse grupo diferencia-se, no entanto, por viver exclusivamente em ambiente aquático, voltando à superfície para respirar e às vezes para descansar. Nascerem sob a água, sem precisar recorrer à terra, e é lá onde realizam todo o seu ciclo de vida: crescem, reproduzem e morrem.

Há outro grupo de mamíferos aquáticos que é tão bem adaptado à vida na água quanto os cetáceos: os sirênios, conhecidos popularmente como “peixes-boi”.

Outro grupo de mamíferos marinhos, mas nesse caso com hábito anfíbio, ou seja, passam a maior parte da vida na água, mas também ocupam periodicamente praias e costões rochosos são os pinípedes, grupo que engloba as focas, leões-marinhos e morsas.

Apesar de compartilharem o mesmo habitat e possuírem semelhanças morfológicas, esses grupos não são parentes próximos. O parente mais próximo dos cetáceos é, na verdade, o hipopótamo. Juntos, fazem parte de um grupo maior, chamado de Artiodactyla, que inclui também os cervos, os bovinos, caprinos, suínos, girafas, entre outros. Essa descoberta só foi possível através de análises utilizando DNA e também com estudo de fósseis, que mostraram que as baleias e os hipopótamos possuem um ancestral comum que viveu há cerca de 55 milhões de anos. Para viver em ambiente aquático, os cetáceos passaram por diversas modificações ao longo dos anos e atualmente contam com um corpo hidrodinâmico, duas nadadeiras dianteiras, nadadeira caudal horizontalmente lobada, ausência de membros posteriores visíveis (possuem



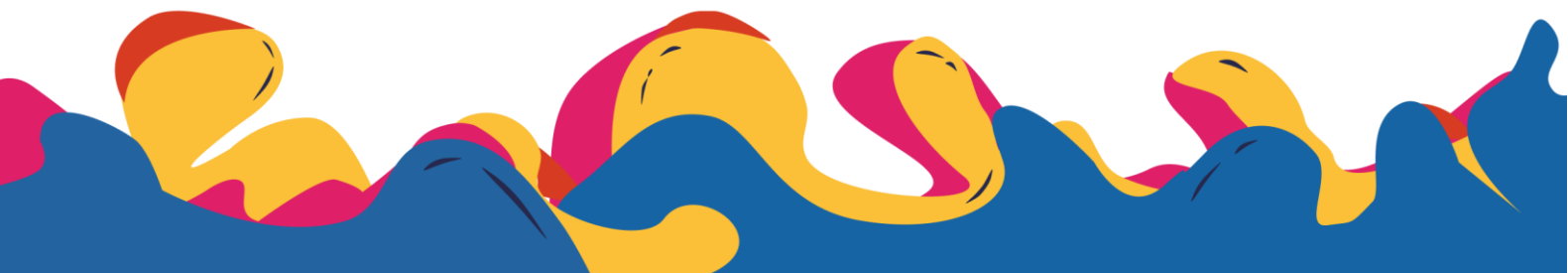
membros posteriores vestigiais) e orifícios respiratórios estrategicamente posicionados no topo da cabeça. A maioria também apresenta uma nadadeira dorsal.

Há cerca de 90 espécies de cetáceos viventes, e eles são divididos em dois grupos: Mysticeti e Odontoceti. Os misticetos são o que chamamos popularmente de “baleias”, são grandes, pesados, não possuem dentes, mas sim barbatanas na porção superior da boca, que utilizam para filtrar o alimento. Há 14 espécies viventes de misticetos reconhecidas pelo Comitê de Taxonomia da Sociedade de Mamíferos Marinhos (The Society for Marine Mammalogy), espalhados entre oceanos e mares polares e tropicais, sendo que destas 9 espécies podem ser encontradas no Brasil.

Outro grupo de cetáceos são os Odontoceti, conhecidos popularmente como “golfinhos” ou “baleias-dentadas”, um grupo extenso e diverso globalmente distribuído entre oceanos polares e tropicais, e até mesmo em água doce. Diferenciam-se principalmente pela presença de dentes adaptados para uma alimentação à base de peixes, lulas e crustáceos, e pela presença de um órgão sensorial localizado na parte superior da cabeça, responsável pela detecção de obstáculos e presas por meio de ecolocalização. Esse grupo é composto por animais muito diferentes entre si, com tamanhos diversos, podendo variar entre gigantes cachalotes (*Physeter macrocephalus*), de 12 a 18 metros, até as pequenas toninhas (*Pontoporia blainvillei*), de apenas 1,5 m. Há 76 espécies de odontocetos reconhecidas pelo Comitê de Taxonomia da Sociedade de Mamíferos Marinhos, sendo que destas pelo menos 47 possuem registro no Brasil.

Cetáceos do Brasil

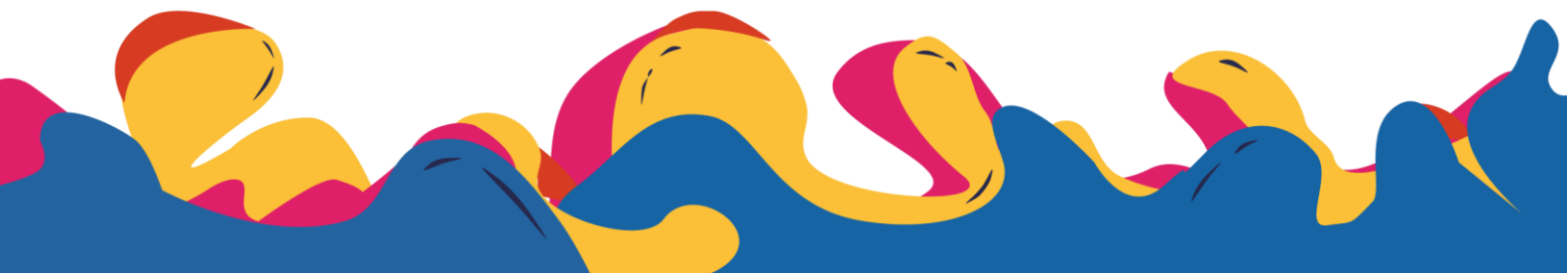
Dentre as espécies que visitam nosso litoral destacam-se a baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), que anualmente migra da Antártica durante o inverno em busca das águas tropicais do litoral atlântico brasileiro, concentrando-se principalmente no litoral do nordeste e sudeste, sendo o Banco de Abrolhos, no sul da Bahia, a principal área de reprodução da espécie. As baleias-francas (*Eubalaena australis*) também são visitantes



frequentes do nosso litoral durante os meses de inverno, e ficam tão próximas do litoral que podem ser avistadas a partir das praias. Assim como as jubartes, essas baleias migram de áreas próximas à Antártica em busca de águas mais quentes do litoral sul brasileiro, concentrando-se principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo ocasionalmente também avistada nos litorais do Paraná e São Paulo. É no litoral brasileiro que elas se reproduzem e cuidam dos seus filhotes, e durante os meses de julho a novembro, as praias se transformam em verdadeiros “berçários” desses animais.

Outras baleias também são frequentemente registradas no Brasil, geralmente durante o período de migrações, como a Baleia-Fin (*Balaenoptera physalus*), também chamada de “baleia comum”, Baleia Sei (*Balaenoptera borealis*), Baleia-de-Bryde (*Balenoptera edeni*), Baleia-de-Omura (*Balaenoptera omurai*), Baleia-Minke-Comum (*Balenoptera acutorostrata*), Minke-Antártica (*Balaenoptera bonaerensis*) e mais raramente a grande Baleia-Azul (*Balaneoptera musculus*), considerada o maior animal vivo do planeta e o mais pesado que já existiu.

A cachalote, muitas vezes chamada de “baleia”, não é uma baleia “de verdade”. Ela, assim como a Orca (*Orcinus orca*), são, na verdade, odontocetos: possuem dentes e um órgão de ecolocalização. Os cachalotes vivem em grandes profundidades nos oceanos de todo o mundo, inclusive no Brasil. São dificilmente avistadas devido aos seus hábitos de mergulho profundo, mas ocasionalmente ocorrem avistagens e encalhes no litoral Brasileiro. As orcas pertencem à família Delphinidae, estão distribuídas no mundo todo e podem ser encontradas na costa brasileira. São eficientes predadoras e alimentam-se de uma variedade de animais marinhos incluindo peixes, focas, leões-marinhos, pinguins, lulas, tubarões e até outras baleias. Vivem em grupos matriarcais com culturas únicas. Essas populações são denominadas “ecótipos”, e diferem entre si quanto às suas adaptações, vocalizações e comportamento. Cada grupo é especializado em um tipo de caça específico, que as mães ensinam para os filhotes.



Há outros botos e golfinhos da família Delphinidae que são residentes do país, entre eles destacam-se: o golfinho-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*), uma das espécies mais famosas do mundo; o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) um pequeno cetáceo distribuído desde a América Central até o litoral de Santa Catarina; o golfinho rotador (*Stenella longirostris*), uma espécie muito acrobática frequentemente avistada em águas tropicais do Arquipélago de Fernando de Noronha.

As palavras “boto” e “golfinho” são sinônimos: não há características morfológicas e genéticas que os diferencie, apenas representam diferenças culturais entre populações humanas que usam mais uma ou outra. Um mesmo animal pode ser chamado por golfinho ou boto em lugares diferentes, como por exemplo o *T. truncatus*, que é conhecido tanto como “golfinho-nariz-de-garrafa”, quanto como “boto-da-tainha”, em diferentes localidades.



QUAIS ESPÉCIES DE BALEIAS E GOLFINHOS OCORREM NA COSTA DO BRASIL?

Na costa brasileira ocorrem 47 espécies, como a baleia-franca, baleia-jubarte, boto-cinza e orca.

NOME DA ESPÉCIE: *Sotalia guianensis*
OUTROS NOMES POPULARES: boto, estuarine dolphin, guiana dolphin.
DISTRIBUIÇÃO: costa atlântica neotropical, de Honduras na América Central até o sul do Brasil (Estado de Santa Catarina) na América do Sul.
HABITAT: estuarino e costeiro.

NOME DA ESPÉCIE: *Eubalaena australis*
OUTROS NOMES POPULARES: baleia-franca-austral, baleia-verdadeira, ballena franca austral, southern right whale.
DISTRIBUIÇÃO: águas tropicais, temperadas e circumpolares do Hemisfério Sul.
HABITAT: costeiro.

NOME DA ESPÉCIE: *Megaptera novaeangliae*
OUTROS NOMES POPULARES: baleia-corcunda, ballena jorobada, ballena yubarta, humpback whale.
DISTRIBUIÇÃO: águas tropicais, temperadas e polares de todos os oceanos.
HABITAT: costeiro e oceânico.

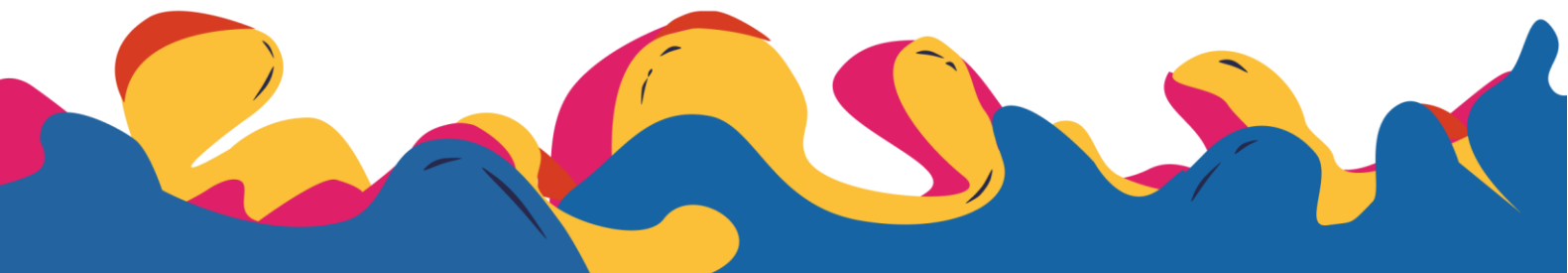
As toninhas (*Pontoporia blainvillei*), distribuídas no litoral sul e sudeste, são as únicas representantes vivas da família Pontoporiidae, sendo a espécie de Odontoceti mais ameaçada no Brasil, classificada como vulnerável pela IUCN. Além de serem as menores dentre as espécies brasileiras, são bastante discretas e, por isso, são de difícil detecção. Suas populações vêm diminuindo principalmente devido à caça acidental em redes de pesca.

O que caracteriza um Réptil?

A palavra “réptil” refere-se a um grupo de animais de classe Saurópsida, que incluiu as ordens Testudines (tartarugas), Squamata (lagartos e serpentes), Crocodylia (crocodilos e jacarés), Rhynchocephalia (tuatara) e outros grupos já extintos. Esta classe é considerada um grupo parafilético pois, ao excluir as aves, não inclui todos os descendentes de seu ancestral comum mais recente, uma vez que as aves são descendentes de répteis e, portanto, ambos os grupos compartilham um ancestral comum exclusivo e possuem uma origem evolutiva comum.

Os répteis pertencem ao clado Amniota, com aves e mamíferos, sendo caracterizados pela produção de um ovo típico, denominado “ovo amniótico”. O ovo amniótico distingue-se por possuir uma casca porosa e quatro membranas internas que protegem o embrião e permitem trocas gasosas, uma adaptação que permitiu que esse grupo conquistasse a independência do ambiente aquático.

Na era mesozoica, entre 252 e 66 milhões de anos atrás, ocorreu o apogeu dos répteis, em que se diversificaram em diferentes formas aquáticas e terrestres. Foi durante esse período que uma variedade de répteis gigantes, os dinossauros, dominaram a terra. No entanto, no final da Era houve uma extinção em massa e muitas espécies desapareceram. Os sobreviventes diversificaram-se e originaram os répteis atuais, entre eles várias espécies de lagartos, serpentes, tartarugas e crocodilianos.



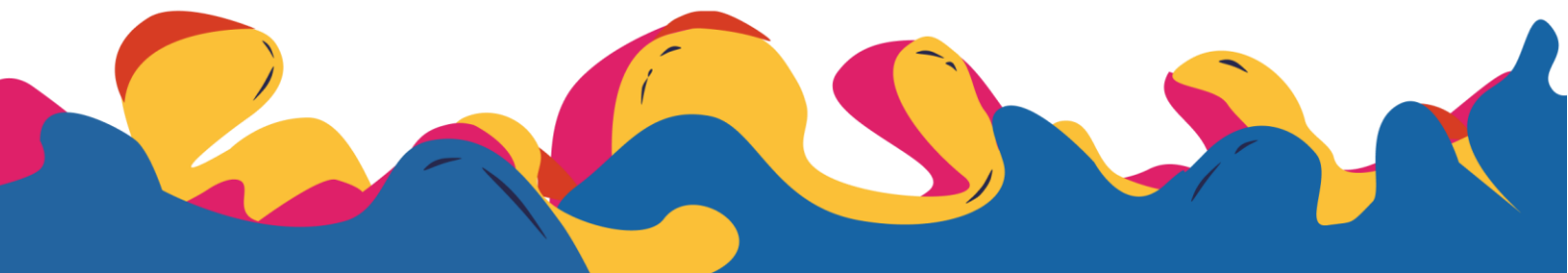
Com quase 9.500 espécies viventes, a classe Saurópsida ocupa uma grande variedade habitats aquáticos e terrestres, graças às adaptações que permitiram a conquista de diferentes ambientes, destacando-se: presença de uma epiderme revestida por escamas ou placas queratinizadas, que minimiza a perda de água; sistema circulatório fechado que pode apresentar coração com três ou quatro câmaras. Essas adaptações permitiram aos répteis ocupar habitats tão diversos quanto desertos, florestas, zonas costeiras e regiões alagadiças.

Tartarugas Marinhas do Brasil

As tartarugas marinhas, assim como cágados e jabutis, pertencem à ordem Testudines dentro da classe Reptilia. São animais caracterizados pela ausência de dentes e presença de um bico córneo, por uma carapaça dorsal e um plastrão ventral. A carapaça das tartarugas é formada a partir de uma fusão entre as costelas, as vértebras e os ossos dérmicos.

As espécies marinhas diferenciam-se das de água doce por possuírem membros em forma de nadadeiras e carapaça achatada e hidrodinâmica, que utilizam para se locomover na água, onde passam a maior parte da sua vida. Somente as tartarugas marinhas fêmeas voltam à terra para desova. Percorrem amplamente todos os oceanos. A vida na água permite que se tornem maiores e mais pesadas que os jabutis e cágados. Há sete espécies de tartarugas marinhas distribuídas em todo o mundo, das quais cinco espécies ocorrem no litoral brasileiro:

- *Chelonia mydas* (tartaruga-verde): é uma espécie herbívora, frequenta áreas de vegetação marinha e recifes de corais em toda a costa brasileira, com relatório de desova em praias do Nordeste e algumas ilhas oceânicas.
- *Eretmochelys imbricata* (tartaruga-de-pente): distingue-se por sua carapaça ornamentada de placas ósseas imbricadas e por uma dieta preferencialmente coralívora;



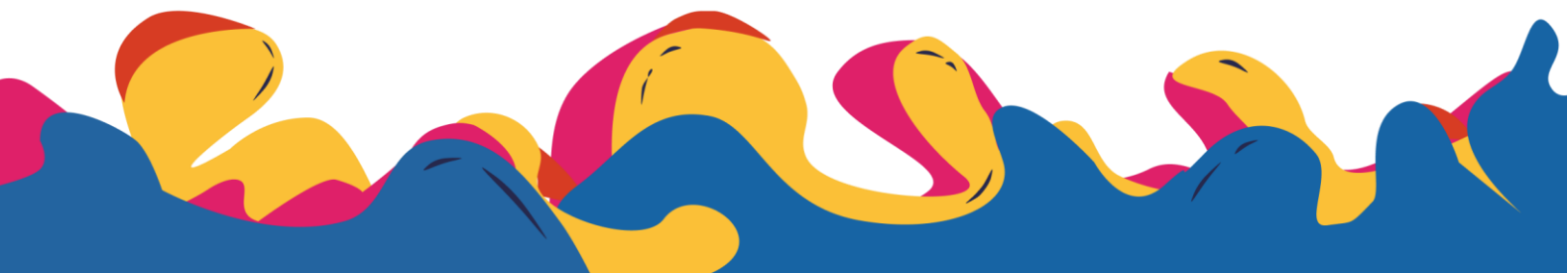
ocorre na área costeira de diversos estados, com área de alimentação e descanso conhecidas no Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas.

- *Lepidochelys olivacea* (tartaruga-oliva): a menor das espécies, altamente migratória, ocorre desde o Maranhão até o Rio Grande do Sul e nidifica em grandes agregações na costa da Bahia.

- *Dermochelys coriacea* (tartaruga-de-couro): maior espécie de Testudines, podendo atingir 2 m de comprimento e pesar até 725 kg. Dotada de carapaça flexível de pele e tecido adiposo, percorre amplas rotas oceânicas. Apesar de ocorrer em vários estados brasileiros, há grandes registros de encalhes no Rio Grande do Sul.

- *Caretta caretta* (tartaruga-cabeçuda): onívora e com cabeça robusta. Indivíduos adultos ocorrem desde o Pará até o Rio Grande do Sul, e nidificam em praias do nordeste e sudeste.

As tartarugas recorrem à costa brasileira para desova, abrigo, alimentação e crescimento. Por possuírem hábitos alimentares e comportamentais distintos, habitam locais diversos durante as diferentes fases de vida. O período de postura de ovos no Brasil concentra-se entre os meses de setembro e abril nas praias costeiras, e entre dezembro e julho nas ilhas oceânicas, variando conforme a espécie e localização. As praias do nordeste e sudeste e as ilhas oceânicas de Trindade, Atol das Rocas e Fernando de Noronha são as principais áreas de desova no país.



O QUE CARACTERIZA UM RÉPTIL?

Os répteis são caracterizados pela presença de mandíbula com vários ossos e presença de um côndilo occipital.



Vista posterior do crânio de tartaruga

côndilo occipital

QUAIS ESPÉCIES DE TARTARUGAS MARINHAS OCORREM NA COSTA DO BRASIL?

Na costa brasileira, ocorrem cinco das sete espécies de tartarugas marinhas existentes no mundo: a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*), a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*), a tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*) e a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*).



NOME DA ESPÉCIE: *Lepidochelys olivacea*
OUTROS NOMES POPULARES: Oliva.
DISTRIBUIÇÃO: mares tropicais e sub-tropicais, oceanos Pacífico, Índico e Atlântico.
HABITAT: principalmente águas rasas, mas também em mar aberto.



NOME DA ESPÉCIE: *Caretta caretta*
OUTROS NOMES POPULARES: Tartaruga-cabeçuda ou Tartaruga-mestiça.
DISTRIBUIÇÃO: zonas tropicais e subtropicais de todos os oceanos, e às vezes também utiliza águas temperadas.
HABITAT: variável ao longo do ciclo de vida.

As tartarugas marinhas são importantes bioindicadores da saúde dos ecossistemas costeiros e oceânicos. Esses animais realizam longas migrações entre áreas de alimentação e locais de reprodução, retornando com precisão às praias onde nasceram. Ameaças incluem captura acidental em pescarias, poluição marinha, perda de habitat em áreas de desova e mudanças climáticas que alteram a determinação sexual dos filhotes. Programas de monitoramento de ninhos e estratégias de conservação internacional, como o Protocolo de Cartagena (CITES), são cruciais para a proteção dessas espécies.

O que caracteriza as Aves? Quais suas adaptações?

As aves são vertebrados que surgiram de uma antiga linhagem de dinossauros terópodes, a mesma que inclui gigantes como o *Tyrannosaurus rex*. Entretanto, enquanto



estes foram extintos, as aves permanecem até hoje nos contando sobre suas incríveis adaptações, muitas das quais voltadas ao voo e que lhes permitiram explorar diferentes ambientes e modos de vida. As aves atuais são divididas em dois grupos, as Paleognathae (do grego palaios = antigo + gnathos = mandíbula), que inclui as aves não-voadoras (como a ema e o casuar) com palato ósseo rígido (estrutura localizada no céu da boca), e as Neognathae (do grego neos = novo + gnathos = mandíbula), aves que apresentam um palato ósseo móvel e flexível - característica que lhes permitiu explorar uma ampla variedade de hábitos alimentares. Esse grupo inclui tanto espécies voadoras (como passarinhos, patos e gaviões), quanto espécies que perderam a capacidade de voar (como os pinguins).

Algumas características das aves são únicas, como a presença de penas, que servem para dar formato ao corpo, proteger contra o frio e calor, auxiliar no voo, atrair parceiros reprodutivos e camuflar. Outras características deixaram seus corpos mais leves e eficientes ao voo, entre elas estão os ossos pneumáticos (com cavidades aéreas no seu interior), a redução no número e fusão de ossos (sinsacro, fúrcula, ossos dos membros anteriores e posteriores) sacos aéreos (anexos ligados ao pulmão e aos ossos pneumáticos, e que armazenam ar), ausência de bexiga urinária, excreção de ácido úrico, e somente um ovário funcional nas fêmeas. As aves voadoras possuem o osso do esterno quilhado, formando uma estrutura maior que permite a aderência de volumosos músculos associados ao bater das asas. Contudo, existem aves que não possuem a capacidade de voar, como é o caso das ratitas (emas, avestruzes, casuares e kiwis), elas não têm o esterno quilhado, pois não há musculatura associada ao voo, e também, seus ossos são mais pesados e densos (não-pneumáticos). E os pinguins, que apesar de terem quilha no esterno, tiveram suas asas modificadas em nadadeiras e se especializaram no nado ao longo da evolução.



O QUE CARACTERIZA UMA AVE?

São vertebrados que ao longo da história evolutiva, se especializaram no voo.

ALÉM DAS ASAS, O QUE AS TORNOU EXÍMIAS VOADORAS?

- Penas
- Ossos pneumáticos
- Sacos aéreos
- Ausência de bexiga urinária

Todas essas características deixam seus corpos mais leves e aerodinâmicos.
Também existem aves que não voam, como os pinguins, avestruzes e kiwis.

Larus michahellis

Egretta thula

Spheniscus magellanicus

As aves se destacam pela variedade de tamanhos, cores e formas, existindo mais de 11 mil espécies descritas no planeta. Estão presentes em todos os ambientes, e exploram os mais variados recursos alimentares. Seus corpos podem nos contar muito sobre tais características, como os pés com membranas interdigitais presentes em aves de hábito aquático (patos, biguás, albatrozes e atobás), e bicos com pontas em forma de gancho, presentes em aves predadoras que precisam puxar e rasgar a carne de suas presas (falcões, águias e corujas). Muitas possuem comportamento migratório, como os trinta-réis, e saem de um local de invernada para um local de reprodução, geralmente farto de alimento e recursos. As migrações podem ser longas e intercontinentais, ou mais curtas dentro de um mesmo país ou continente. Algumas aves migram para diferentes altitudes, como é o caso do sabiá-una na Mata Atlântica. As aves podem utilizar a posição dos astros ou mesmo o campo magnético da terra para se guiarem e saberem qual

caminho seguir. Algumas são extremamente fiéis ao período e local de chegada, como é o caso do falcão-peregrino.



SABIA QUE O BRASIL ABRIGA A TERCEIRA MAIOR DIVERSIDADE DE AVES NO MUNDO?

A maioria das aves no Brasil é residente, outras estão apenas de passagem para descansar, procurar alimentos e se reproduzir.

SÃO AS AVES MIGRATÓRIAS!

As aves migratórias realizam viagens ao longo do planeta, voando em bandos, como os trinta-réis, ou solitários, como o príncipe.

Pyrocephalus rubinus

Thalasseyus sp.

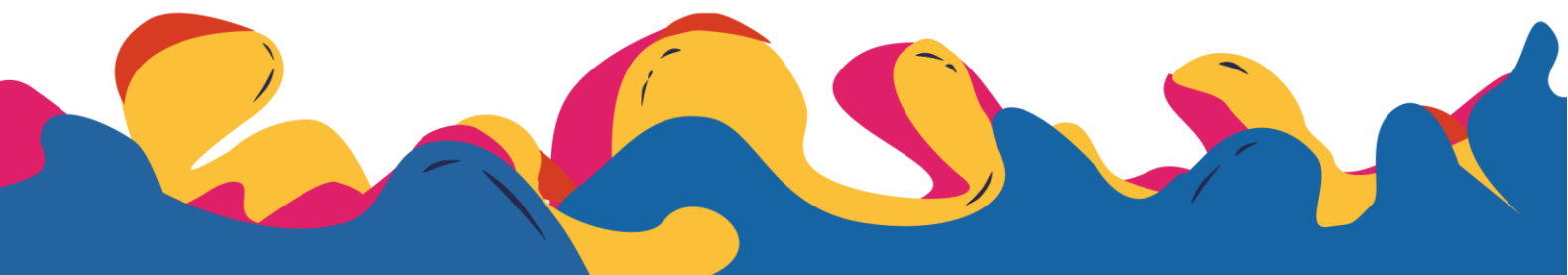
Apesar de representarem grande parte da biodiversidade de vertebrados do mundo, abrigam um grande número de espécies ameaçadas de extinção, com 164 espécies já extintas. As aves correm perigo, principalmente, pelo desmatamento e a fragmentação de habitats causados por ações humanas, como a agropecuária e a expansão urbana. Além disso, queimadas, poluição e a captura ilegal (seja para consumo ou comércio) também contribuem para o declínio das populações. Algumas espécies são mais propensas a desaparecer, seja por maior sensibilidade às mudanças, por apresentarem populações naturalmente menores, ou mesmo espécies consideradas raras.

Aves do Brasil

O Brasil abriga 1971 espécies de aves distribuídas por todos os biomas e muitas têm suas vidas diretamente ligadas à água - como as espécies marinhas e limícolas, que usam a região entremarés e/ou ambientes alagados rasos. Outras vivem em regiões próximas a corpos d'água, como em matas ciliares, manguezais e restingas de praias. Desta forma, a avifauna brasileira é fundamental para os ecossistemas aquáticos, visto que muitas espécies dependem diretamente desses ambientes para alimentação, reprodução, migração e abrigo. Desta forma, as aves podem ser usadas como indicadoras da saúde destes habitats. Um exemplo é o pato-mergulhão (*Mergus octosetaceus*), espécie do Cerrado, criticamente ameaçada de extinção, que só sobrevive em regiões altamente preservadas com cursos d'água em condições limpas e equilibradas.

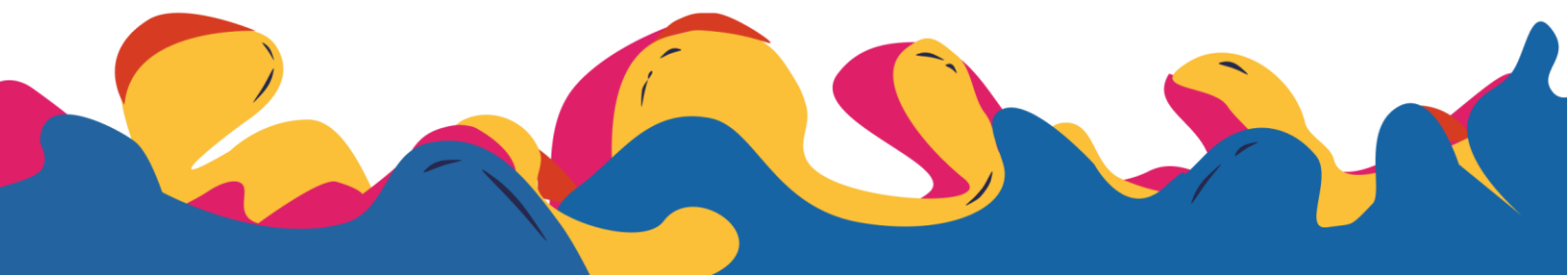
Entre as aves marinhas, podemos citar as que vivem nas regiões praianas, como as gaivotas (*Larus dominicanus*) que sobrevoam barcos à procura de peixes, as fragatas (*Fregata magnificens*), que sobrevoam em bandos enormes no alto do céu, as batuíras-de-bando (*Charadrius semipalmatus*) e garça-branca-pequena (*Egretta thula*), que costumam ficar na faixa de areia onde as ondas quebram, em busca de pequenos invertebrados. Também podemos citar os pinguins-de-magalhães (*Sphenicus magellanicus*), que são totalmente adaptados à vida marinha e ao nado, e as aves pelágicas que vivem em alto mar pescando e raramente pousam em terra firme, principalmente para se reproduzir, como os albatrozes (*Thalassarche* sp.).

As aves limícolas são aquelas que vivem nas margens de corpos d'água, como lagoas, rios e banhados, e entre elas podemos citar membros da ordem Charadriiformes (jaçanãs, maçaricos e batuíras), Gruiformes (saracuras e galinhas-d'água), Pelecaniformes (socós, guarás e garças) e Ciconiiformes (tuiuius e cegonhas). Estas aves dependem de zonas úmidas para caçar e se reproduzir. Geralmente, apresentam pernas, dedos, pescoço e bico longos, perfeitos para viver e forragear em áreas alagadas. Estas aves integram a fauna de ambientes essenciais para a proteção e manutenção de ecossistemas



aquáticos. As matas ciliares, por exemplo, evitam a erosão e protegem os rios do assoreamento, além de atuar como filtro natural contra sedimentos e poluentes. Elas são habitadas por pequenos passarinhos, como o pula-pula-ribeirinho (*Myiothlypis rivularis*), e por martins-pescadores, que pousam nos galhos sob as águas à espera de peixes para se alimentar.

Os manguezais são também ecossistemas costeiros ricos e vitais, onde a água doce se encontra com a água do mar e propicia um refúgio para muitas espécies de aves que vêm se alimentar da fartura de recursos, como crustáceos e peixes. Um exemplo de ave do manguezal é o guará (*Eudocimus ruber*), ave símbolo de Guaratuba (“terra de muitos guarás”) praia no litoral paranaense. Por fim, as restingas são as barreiras naturais que protegem o avanço do mar para dentro das cidades, e elas abrigam uma diversidade de espécies de aves, como o belíssimo tiê-sangue (*Ramphocelus bresilia*), ave símbolo da Ilha do Mel, e as corujas-buraqueiras (*Athene cunicularia*).





Assim, as aves da fauna brasileira não são apenas parte da nossa imensa biodiversidade, mas guardiãs dos ecossistemas, indicadoras da saúde ambiental e peças fundamentais no equilíbrio da vida. Para protegê-las, é preciso proteger os seus habitats - preservar a saúde e a limpeza das águas, fonte principal da vida no mundo.

COMO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS AFETAM OS VERTEBRADOS AQUÁTICOS?

Alteram habitats, afetam a disponibilidade de alimento e aumentam o estresse fisiológico, prejudicando a sobrevivência e reprodução dos vertebrados.



O lixo descartado incorretamente impacta os ecossistemas aquáticos, as cadeias alimentares e a saúde dos animais.

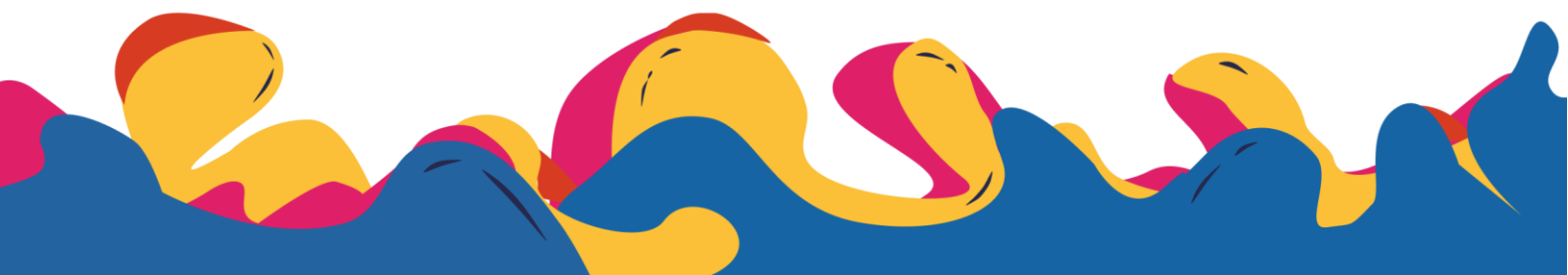


Os plásticos se acumulam na água e se degradam em microplásticos, poluindo o ambiente. Esses fragmentos acabam sendo ingeridos por animais, como peixes, tartarugas e baleias, podendo chegar à nossa alimentação.

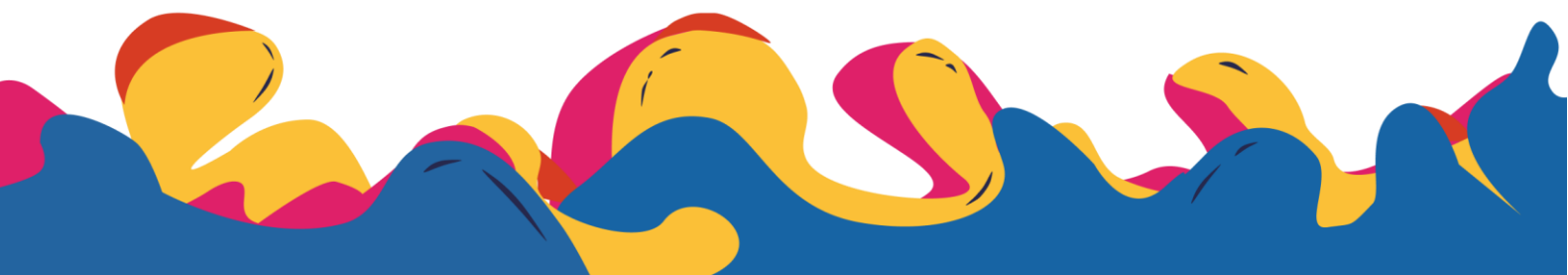
Referências

- Berta, A., Sumich, J. & Kovacs, K., 2015. *Marine mammals: evolutionary biology*. 3rd ed. [S.l.]: Academic Press.
- Castro, P. & Huber, M. E., 2012. *Biologia Marinha*. 8th ed. Porto Alegre: AMGH. Available at: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580551037/> [Accessed 10 Jul. 2025].
- Committee on Taxonomy, 2023. *List of marine mammal species and subspecies*. Society for Marine Mammalogy. Available at: <https://www.marinemammalscience.org/species-information/list-marine-mammal-species-subspecies/> [Accessed 16 May 2025].
- Domingues, I. R. & Santos, M. C. O., 2022. *Toninha: um pequeno cetáceo ameaçado de extinção*. São Paulo: LABCMA / Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. (E-book).

- Espírito Santo, S. M., Franco, D. & Groch, K., 2013. Analysis of the distribution patterns of southern right whale off the southern Brazilian coast. *Neotropical Biology and Conservation*, 8(3), pp. 143–149. <https://doi.org/10.4013/nbc.2013.83.04>
- Gonçalves, M. I. C., Sousa-Lima, R. S., Teixeira, N. N., Carvalho, G. H., Danilewicz, D. & Baumgarten, J. E., 2018. Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground. *Biota Neotropica*, 18(4), art. e20180567. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0567>
- Guaraldo, A. C., Bczuska, J. C. & Manica, L. T., 2022. *Turdus flavipes* altitudinal migration in the Atlantic Forest: The Yellow-legged Thrush is a partial altitudinal migrant. *Avian Biology Research*, 15(3), pp. 117–124.
- Hickman, C. P. Jr. et al., 2016. *Princípios Integrados de Zoologia*. 16th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- ICMBio, 2011. *Plano de Ação Nacional para Conservação dos Mamíferos Aquáticos – Pequenos Cetáceos*. Brasília: ICMBio.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) & Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2017. *Sumário Executivo – Plano de Ação Nacional para a Conservação das Tartarugas Marinhas: 2º ciclo (2017-2023)*. Brasília: ICMBio/MMA.
- Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III – Aves, 1st ed.
- Lovette, I. J. & Fitzpatrick, J. W. (eds.), 2016. *Handbook of Bird Biology*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- MG.Biota: Boletim Técnico Científico da Diretoria de Biodiversidade do IEF – MG, 2011. v. 4, n. 3. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas.
- Monteiro Filho, E. L. A. & Monteiro, K. D. K. A., 2008. *Biologia, ecologia e conservação do boto-cinza*. 1st ed. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica.
- Monteiro-Filho, E. L. A. et al., 2021. *Guia ilustrado de mamíferos marinhos do Brasil*. 2nd rev. ed. Cananéia: Instituto de Pesquisa de Cananéia (IPEC).
- Pacheco, J. F. et al., 2021. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee—second edition. *Ornithology Research*, 29(2), pp. 94–105. Available at: <https://link.springer.com/10.1007/s43388-021-00058-x> [Accessed 28 Jul. 2025].



- Reeves, R. R., Smith, B. D., Crespo, E. A. & Notarbartolo di Sciara, G. (comps.), 2003. *Dolphins, whales and porpoises: 2002-2010 conservation plan for the world's cetaceans*. Gland: IUCN.
- Reis, E. C. & Goldberg, D. W., 2017. Biologia, ecologia e conservação de tartarugas marinhas. In: Reis, E. C. & Curbelo-Fernandez, M. P. (orgs.). *Mamíferos, quelônios e aves: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste*, vol. 7, pp. 63–89. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Rendell, L. & Whitehead, H., 2001. Culture in whales and dolphins. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(2), pp. 309–324; discussion 324–382. <https://doi.org/10.1017/S0140525X0100396X>
- Sick, H., 1997. *Ornitologia brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira.
- Sokolov, V., Lecomte, N., Sokolov, A., Rahman, M. L. & Dixon, A., 2014. Site fidelity and home range variation during the breeding season of peregrine falcons (*Falco peregrinus*) in Yamal, Russia. *Polar Biology*, 37(11), pp. 1621–1631. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00300-014-1548-0> [Accessed 15 Aug. 2025].
- Totterdell, J. A. et al., 2022. The first three records of killer whales (*Orcinus orca*) killing and eating blue whales (*Balaenoptera musculus*). *Marine Mammal Science*, 38(3), pp. 1286–1301. <https://doi.org/10.1111/mms.12906>
- Zappes, C. A., Danielski, M. L. & Di Benedetto, A. P. M., 2020. Etnoecologia comportamental da baleia-franca-austral *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) por meio do conhecimento ecológico local de pescadores artesanais na Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca, Sul do Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais*, 15(3), pp. 601–616. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i3.183>
- Zerbini, A.N., Secchi, E., Crespo, E., Danilewicz, D. & Reeves, R., 2017. *Pontoporia blainvillei* (errata version published in 2018). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*: e.T17978A123792204. Available at: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T17978A50371075.en> [Accessed 11 Jul. 2025].



BIOINDICADORES: OS DETETIVES DA NATUREZA

Aliciane de Almeida Roque¹; Aline Miranda Nagatomi de Oliveira²; Beatriz de Carvalho Costa²; Felipe Schaly¹; Fernando de Campos Guerreiro³; Gabriela Schultz da Silva³; Gisele Carolina Marquardt^{2,4,5}; Manuela Cristina Antunes²; Mariliza Cristine Vieira da Costa¹; Maritana Mela Prodócimo¹; Melina Luzia Gunha Marques⁴; Paula Carolina Ferreira^{2,5}; Roberta Pozzan¹

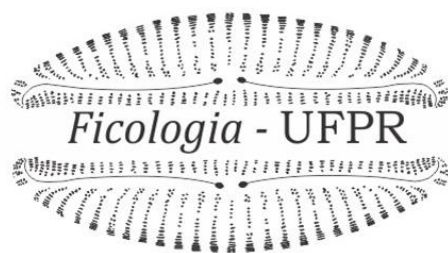
¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, Laboratório de Toxicologia Celular, Departamento de Biologia Celular, Universidade Federal do Paraná;

² Laboratório de Ficologia, Departamento de Botânica, Universidade Federal do Paraná;

³ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Laboratório de Toxicologia Celular, Departamento de Biologia Celular, Universidade Federal do Paraná;

⁴ ProfBio – Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional

⁵ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Paraná

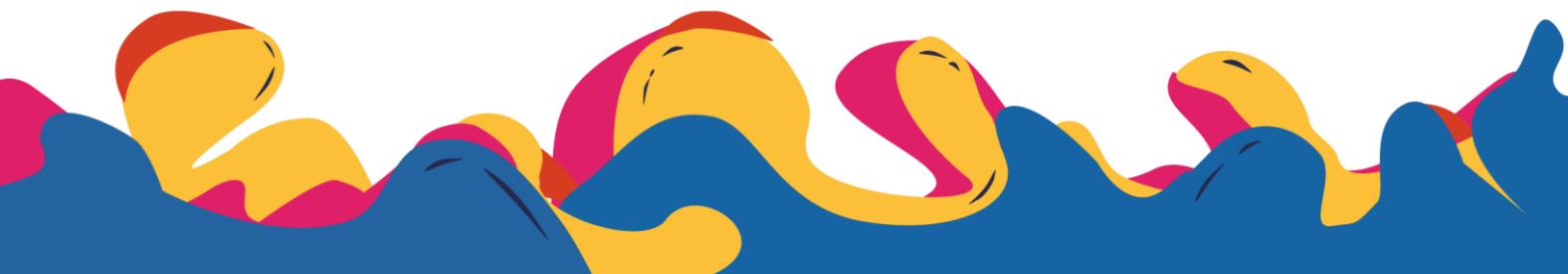


Laboratório de Ficologia – UFPR

Coordenação: Dra. Gisele Carolina Marquardt

O Laboratório de Ficologia da UFPR desenvolve pesquisas e atividades de ensino voltadas à taxonomia e biologia de microalgas que habitam ambientes de água doce e marinha. Mantemos parcerias com instituições nacionais e internacionais para mapear a diversidade de diatomáceas, foco de nossas pesquisas, que se distribuem nas seguintes linhas:

- Taxonomia e Biodiversidade: Identificação e descrição de espécies de diatomáceas em ambientes dulciaquícolas e marinhos, integrando abordagens morfológicas e moleculares.
- Biologia Molecular: Análise de marcadores genéticos para estudos de diversidade de diatomáceas.
- Ecologia Aquática: Uso de diatomáceas como bioindicadoras da qualidade da água em rios, reservatórios e estuários do Paraná e de outras regiões do Brasil.



- Paleoecologia: Reconstrução de ambientes pretéritos por meio da análise de frústulas de diatomáceas preservadas em sedimentos.



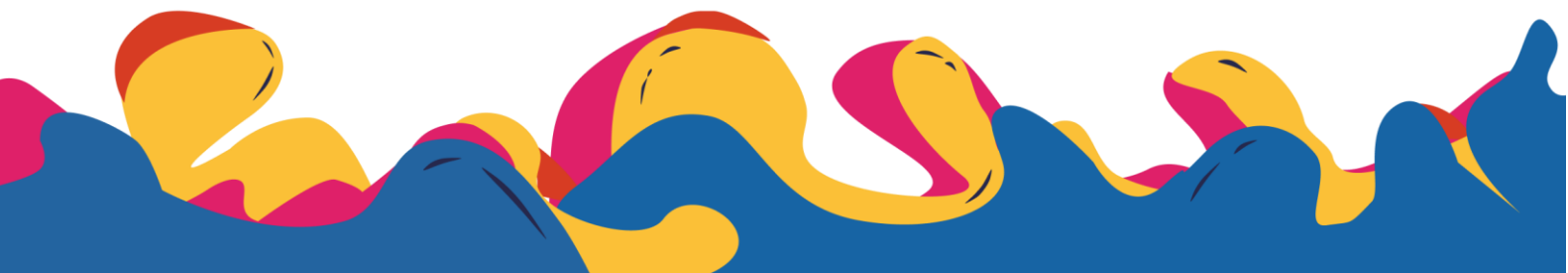
Grupo de Toxicologia Celular - UFPR

Coordenadores: Dr. Ciro Alberto De Oliveira Ribeiro, Dra. Claudia Feijó Ortolani Machado, Dr. Francisco Filipak Neto, Dr. Marco Antonio Ferreira Randi, Dra. Maritana Mela Prodocimo

O Grupo de Toxicologia Celular da UFPR desenvolve pesquisas e atividades de ensino e extensão voltadas à compreensão dos efeitos de diferentes contaminantes ambientais sobre diversos organismos modelo. Atuando nas áreas de Ecotoxicologia, Toxicologia Ambiental, Mecanismos Celulares de Toxicidade e Embriotoxicologia. Nossas linhas de pesquisa incluem:

- Biomonitoramento e avaliação de risco em ambientes aquáticos.
- Efeito de poluentes ambientais no desenvolvimento embrionário.
- Efeito de poluentes orgânicos no prognóstico do câncer.
- Biotecnologia (produção de kits de imunodiagnóstico).

Hoje é um laboratório de referência na área de Toxicologia Celular e conta com parcerias com diversos grupos nacionais e internacionais.



Bioindicadores: Os Detetives da Natureza

Você sabia que alguns seres vivos conseguem “investigar” a saúde do meio ambiente? Eles são chamados de **bioindicadores** e funcionam como verdadeiros detetives da natureza. Estes organismos podem ser plantas, animais ou até microrganismos, que ajudam a revelar se um rio, um lago, o solo ou até o ar estão em boas condições ou passando por problemas. Esses organismos são sensíveis às mudanças no ambiente. Por exemplo, algumas algas, alguns peixes e alguns moluscos, só vivem em águas muito limpas. Se eles desaparecem ou mudam de comportamento é um sinal de que algo não vai bem. Já outras espécies aparecem justamente quando há muita **poluição**, como um alerta vermelho de que o ambiente está desequilibrado. Ao observar esses seres vivos e como eles estão se comportando, os cientistas conseguem perceber sinais sutis de que algo está mudando no ambiente. Muitas vezes, os problemas

BIOINDICADORES

Bioindicadores são seres vivos que ajudam a revelar a qualidade do ambiente em que vivem.



Como “detetives da natureza”, eles mostram sinais de problemas ambientais que muitas vezes não são visíveis a olho nu. Por exemplo, algumas microalgas só são observadas em ambientes com água limpa, enquanto outras somente quando há poluição.

Mudanças no comportamento ou na presença desses organismos funcionam como alertas naturais, permitindo que os cientistas identifiquem precocemente alterações na saúde da água.

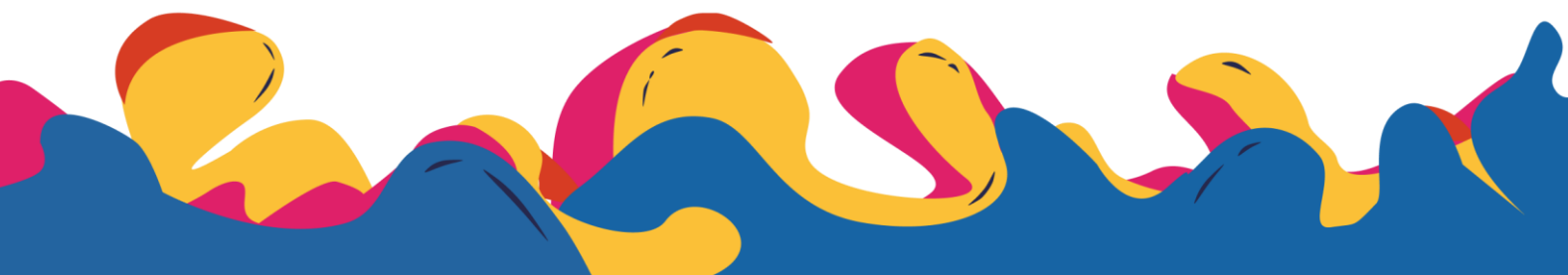


O Laboratório de Ficologia da UFPR desenvolve pesquisas e atividades de ensino voltadas à taxonomia e biologia de microalgas que habitam ambientes de água doce e marinha. Investigamos especialmente as diatomáceas, microalgas essenciais para os ecossistemas aquáticos, explorando aspectos de sua taxonomia, ecologia, paleoecologia e genética em rios, reservatórios e estuários do Paraná e de outras regiões do Brasil.



GRUPO DE TOXICOLOGIA CELULAR - UFPR

O Grupo de Pesquisa em Toxicologia Celular da UFPR desenvolve atividades de pesquisa, ensino e extensão voltadas para diversas áreas da Toxicologia, incluindo Ecotoxicologia, Toxicologia Ambiental, Mecanismos Celulares de Toxicidade e Embriotxicologia. O principal objetivo dos trabalhos é compreender como toxinas e poluentes impactam diferentes tipos celulares, organismos, populações e ecossistemas. Assim, os conhecimentos gerados pelo grupo visam contribuir para a preservação ambiental e a promoção da saúde pública.



ambientais não são visíveis a olho nu, mas os bioindicadores conseguem perceber essas alterações logo no início.

Por exemplo, a análise das algas microscópicas, como as **diatomáceas**, permite identificar sinais precoces de desequilíbrio na água. Variações nas espécies e em suas quantidades podem indicar o enriquecimento por nutrientes, antecipando eventos como a floração de algas, quando a água adquire um aspecto esverdeado e turvo. Além disso, as algas reagem a mudanças no pH, na salinidade, nos níveis de oxigênio dissolvido e à presença de poluentes, funcionando como indicadores sensíveis da qualidade e das condições gerais do ambiente aquático.

Alguns peixes também são excelentes bioindicadores. Um exemplo é o **surubim-do-Iguaçu**, um peixe que só consegue viver em rios com boa qualidade de água e correnteza forte. Sua presença é um ótimo sinal de que o ambiente está equilibrado. Por outro lado, a **tilápia**, um peixe resistente e que se adapta fácil a diferentes condições, costuma aparecer mesmo em ambientes poluídos ou degradados. Se vemos muitas tilápias e poucas espécies locais (nativas), isso pode indicar que o ambiente está sofrendo com a poluição ou a perda de espécies nativas.

Por isso, prestar atenção aos bioindicadores é uma forma inteligente de cuidar da natureza e entender o que ela está tentando nos dizer.

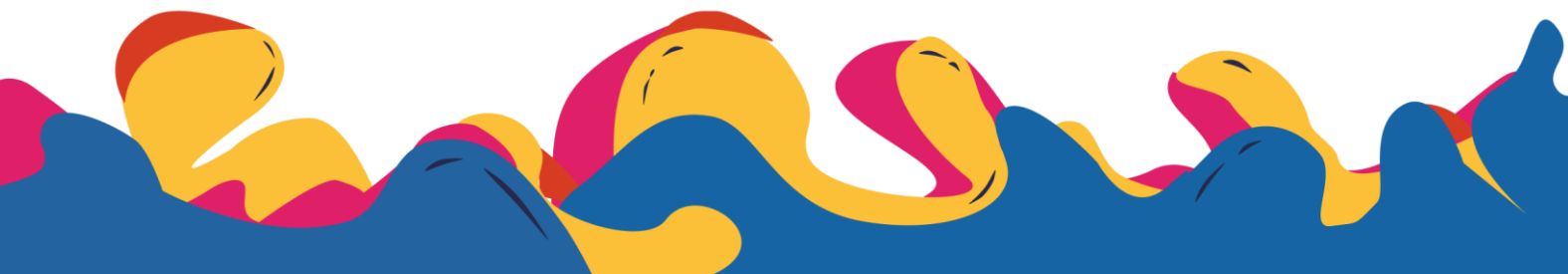
Como as microalgas revelam a saúde dos ecossistemas?

As algas são organismos uni ou multicelulares, fotossintetizantes, que desempenham um papel essencial nos ecossistemas aquáticos (Bicudo & Menezes, 2018). Podem ser encontradas nos mais diversos ambientes aquáticos, como em água doce (rios, lagos e poças temporárias), água salgada (oceanos e costões rochosos), água salobra (estuários e manguezais) e ambientes extremófilos (gêiseres e geleiras).

Além disso, possuem diferentes hábitos de vida:



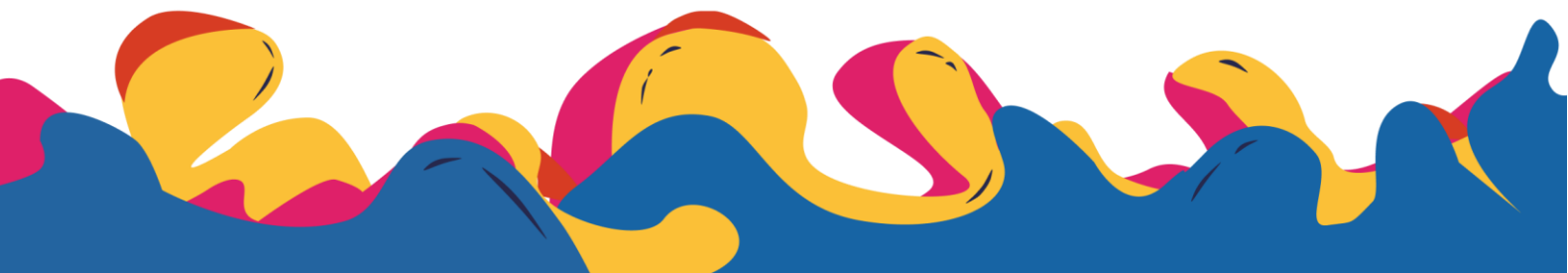
Planctônicas (flutuando na água, como o fitoplâncton, base da cadeia alimentar);



- Bentônicas (fixas em rochas ou sedimentos);
- Epífitas (sobre plantas aquáticas);
- Endossimbiontes (como as zooxantelas, que vivem dentro de corais).

Como dito anteriormente, a qualidade ambiental de rios, lagos e oceanos pode ser avaliada por meio de uma técnica fascinante: a bioindicação. Essa abordagem utiliza organismos vivos, como microalgas, para detectar alterações nos ecossistemas, indicando desde poluição até mudanças na temperatura, pH ou disponibilidade de nutrientes. Diatomáceas, cianobactérias, clorofíceas e euglenófitas são algumas das microalgas mais utilizadas nesse tipo de monitoramento. Elas apresentam algumas características que as tornam ideais para o papel de bioindicadores (Smol & Stoermer, 2010; Bellinger & Sigee, 2015):

- Resposta rápida – ciclos de vida curtos permitem que reajam quase instantaneamente a perturbações ambientais;
- Ampla distribuição – presentes em quase todos os ambientes aquáticos, facilitando comparações entre regiões;
- Diversidade ecológica – cada espécie tem preferências específicas por condições como luz, nutrientes e pH, funcionando como um "termômetro" natural;
- Facilidade de análise – podem ser estudadas por microscopia e técnicas moleculares, tornando o monitoramento acessível;
- Sensibilidade a impactos – reagem de forma previsível à eutrofização, metais pesados, acidificação e poluição orgânica.



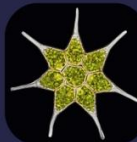
BIOINDICADORES

DO AQUÁRIO PARA A CIÊNCIA:
CONHEÇA ALGUNS BIOINDICADORES***Corbicula fluminea* Müller, 1774**

Nome popular: Amêijoia-asiática ou mexilhão-asiático

O que bioindica?

Poliuição na água (metais pesados e poluentes orgânicos);
Desequilíbrio ecológico (por ser espécie invasora);
Qualidade da água (filtra e acumula contaminantes)
Crédito de imagem: Fernando De Campos Guerreiro

***Monactinus simplex* (Meyen) Corda, 1839**

Grupo: Chlorophyta - algas verdes

O que bioindica?

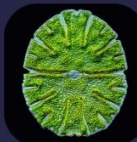
Associada a altas concentrações de fósforo na água
Sua presença pode sinalizar ambientes poluídos
Crédito de imagem: Chris Carter; AlgaeBase

***Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824**

Nome popular: Jundiá

O que bioindica?

Qualidade da água (espécie nativa, sensível a poluentes)
Presença de poluição em altas concentrações; Efeitos de
substâncias tóxicas em estudos de ecotoxicologia.
Crédito de imagem: Felipe Schaly

***Micrasterias denticulata* Brébisson ex Ralfs, 1848**

Grupo: Chlorophyta - algas verdes

O que bioindica?

Muito sensível a mudanças físico químicas na água,
especialmente à acidez, concentração de nutrientes e
poluentes; Ocorre preferencialmente em águas pouco
poluídas
Crédito de imagem: Chris Carter; AlgaeBase

***Astyanax bifasciatus* Garavello & Sampaio, 2010**

Nome popular: Lambari-do-rabo-vermelho

O que bioindica?

Espécie resistente, com níveis moderados de poluição;
Indicador de degradação ambiental quando se observa
aumento de sua abundância em detrimento de espécies
mais sensíveis
Crédito de imagem: Baumgartner *et al.* 2012 - CC BY-NC-SA
3.0.

***Cosmarium commissulare* Brébisson ex Ralfs, 1848**

Grupo: Chlorophyta - algas verdes

O que bioindica?

Ocorre em águas levemente ácidas a neutras e com baixa
condutividade, sendo considerada indicadora de águas
limpas ou pouco poluídas.
Crédito de imagem: Chris Carter; AlgaeBase

***Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758**

Nome popular: Tilápia-do-Nilo

O que bioindica?

Poliuição orgânica e excesso de nutrientes (eutrofização);
Ambientes degradados (espécie exótica e invasora); Usada
em laboratório para testar contaminantes
Crédito de imagem: Baumgartner *et al.* 2012 - CC BY-NC-SA
3.0.

***Desmodesmus subspicatus* (Chodat) E.Hegewald & A.W.F.Schmidt, 2000**

Grupo: Chlorophyta - algas verdes

O que bioindica?

Comum em águas ricas em nutrientes (nitrogênio e
fósforo); Indicadora de impacto antrópico, como esgoto,
fertilização e escoamento agrícola.
Crédito de imagem: Chris Carter; AlgaeBase

***Steindachneridion melanodermatum* Garavello, 2005**

Nome popular: Surubim-do-Iguaçu

O que bioindica?

Sensível a alterações de habitat e qualidade da água;
Indicador de ambientes conservados; Util em programas
de conservação e monitoramento da bacia do Rio Iguaçu.
Crédito de imagem: Baumgartner *et al.* 2012 - CC BY-NC-SA
3.0.

***Fragilaria socia* (J.H.Wallace) Lange-Bertalot, 1980**

Grupo: Bacillariophyta - diatomáceas

O que bioindica?

Indicadora de aumento de nutrientes (especialmente
fósforo), podendo proliferar em lagos poluídos; Tolerante
a variações sazonais de pH e condutividade
Crédito de imagem: LaLiberte & Vaccarino; Diatoms of
North America

***Danio rerio* Buchanan-Hamilton, 1822**

Nome popular: Paulistinha, Zebrafish ou Peixe-Zebra

O que bioindica?

Sensível a hormônios, pesticidas, metais e microplásticos;
Curto período de desenvolvimento e transparência
embrionária; Permite avaliações moleculares e
comportamentais
Crédito de imagem: Roberta Pozzan

***Navicula capitatoradiata* H.Germain ex Gasse, 1986**

Grupo: Bacillariophyta - diatomáceas

O que bioindica?

Tolerantes à poluição, ocorrendo em águas ácidas com
muitos nutrientes; Apresenta ampla tolerância a
diferentes faixas de pH, condutividade e níveis de oxigênio
Crédito de imagem: Rushforth & Spaulding; Diatoms of
North America

***Poecilia reticulata* Peters, 1859**

Nome popular: Barrigudinho

O que bioindica?

Espécie resistente, bioindicador de ambientes impactados
Usada em experimentos com hormônios e agrotóxicos,
para avaliação de toxicidade aguda e crônica
Crédito de imagem: Felipe Schaly

***Cocconeis tropicoacuta* L.F.Costa & C.E.Wetzel, 2019**

Grupo: Bacillariophyta - diatomáceas

O que bioindica?

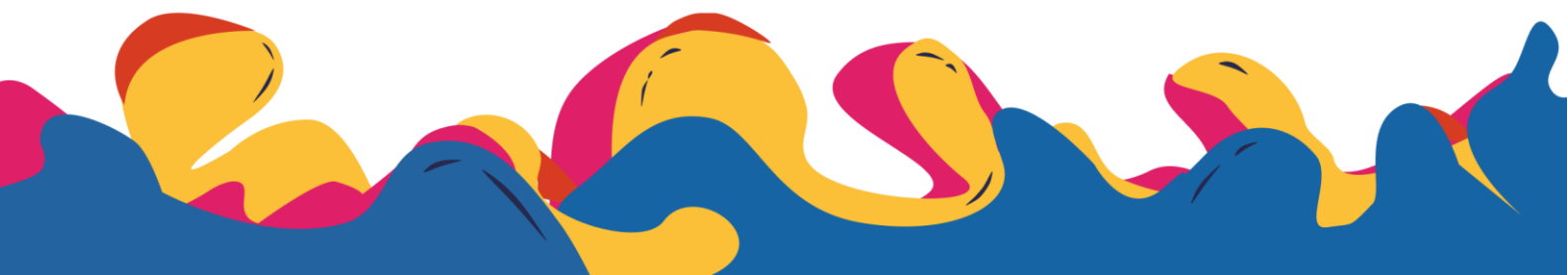
Típica de ambientes pouco poluídos, caracterizados por
baixa disponibilidade de nutrientes e reduzida produção
de matéria orgânica
Crédito de imagem: Costa *et al.* 2020. Botany letters 167

Ciência e Conservação

Pesquisadores utilizam as algas como ferramentas versáteis em diversas áreas da ciência e na gestão ambiental:

- Avaliação da qualidade da água - analisando a composição das comunidades de algas para detectar poluição por metais pesados, esgotos domésticos e industriais, ou contaminação por agrotóxicos (Stevenson, 2014);
- Monitoramento de mudanças climáticas - estudando alterações na distribuição de espécies sensíveis à temperatura e à acidificação dos corpos d'água (IPCC, 2022);
- Restauração ecológica - utilizando algas como bioindicadoras para avaliar o sucesso de projetos de recuperação de ecossistemas aquáticos degradados (Palmer et al., 2016);
- Desenvolvimento de políticas ambientais - fornecendo dados científicos para a criação de leis e regulamentações sobre qualidade da água e conservação de ecossistemas (European Union, 2000);
- Prevenção de riscos à saúde pública - monitorando florações de algas tóxicas que podem contaminar fontes de água potável e áreas de recreação (Who, 2021);
- Pesquisas paleoambientais - analisando diatomáceas em sedimentos para reconstruir condições ambientais do passado (Battarbee et al., 2003);
- Educação ambiental - algas podem ser utilizadas em projetos pedagógicos para demonstrar os efeitos da poluição de forma visual e acessível.

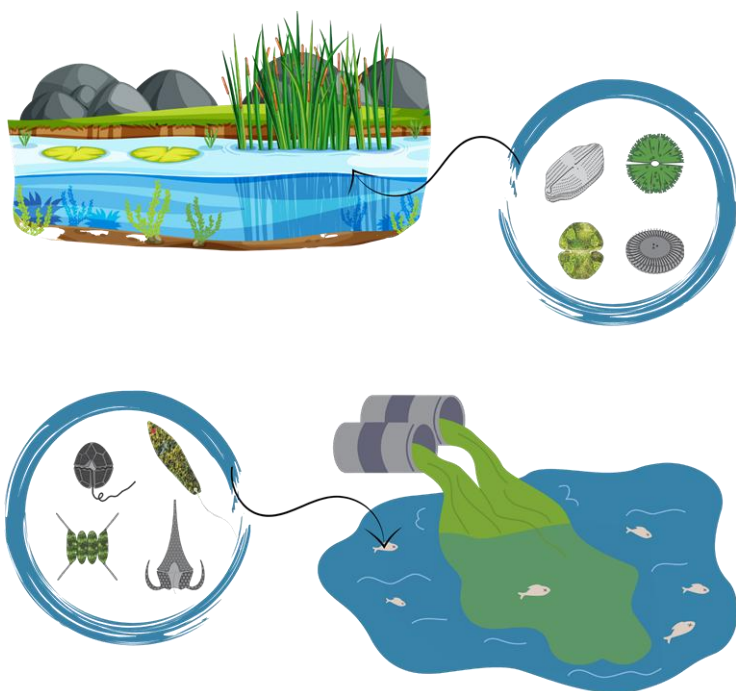
Essas aplicações demonstram como esses organismos microscópicos se tornaram indispensáveis para a compreensão e proteção dos ecossistemas aquáticos em todo o mundo.



Como as algas revelam a saúde dos rios e lagos

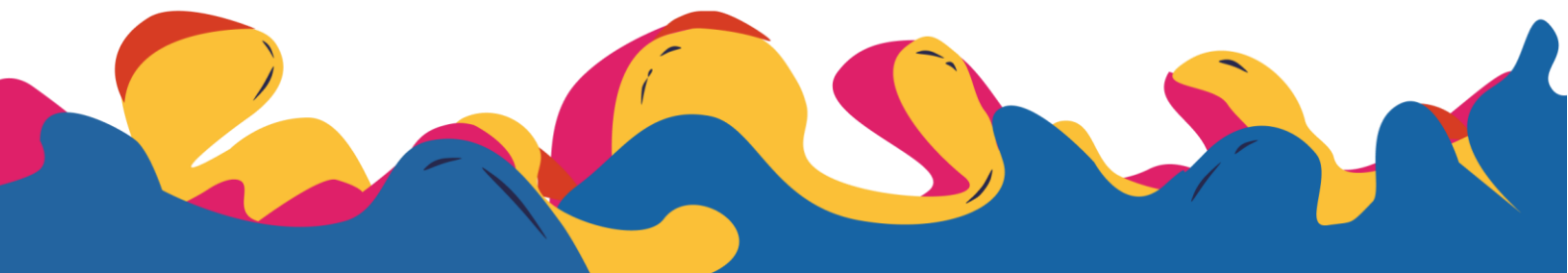
As algas são verdadeiras "sentinelas aquáticas" – sua presença, ausência ou comportamento podem nos contar detalhes surpreendentes sobre a qualidade da água. Como isso funciona? Esses organismos respondem rapidamente a mudanças ambientais, funcionando como um alerta precoce para poluição, desequilíbrios ecológicos e até riscos à saúde humana.

Por exemplo, espécies sensíveis, como *Encyonema aquasedis* Marquardt A. Rocha & C.E. Wetzel geralmente são encontradas em ambientes limpos, bem oxigenados e com poucos nutrientes (Stevenson et al., 2014). Por outro lado, espécies tolerantes, como *Nitzschia palea* (Kützinger) W. Smith, dominam em locais poluídos, indicando degradação (Stevenson et al., 2014).



Determinadas espécies são consideradas sensíveis e só se desenvolvem em águas limpas, bem oxigenadas e com baixa carga de nutrientes, enquanto outras são tolerantes ou mesmo indicadoras de poluição, prosperando em ambientes degradados (Who, 2021).

A eutrofização é o processo derivado do enriquecimento em nutrientes em um meio aquático, provocando desequilíbrios neste ecossistema. Este processo provém do enriquecimento em nutrientes no meio aquático (especialmente compostos de azoto e fósforo), que resulta essencialmente de lixiviados de solos agrícolas, descargas urbanas e



industriais ou da criação de gado. Consequentemente, há uma tendência para a formação de blooms (crescimento exacerbado) de microalgas que aumentam a turbidez da água, depletam a concentração de oxigênio e reduzem a biodiversidade (Pinto & Antunes, 2020).

Diatomáceas como *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing toleram águas poluídas e com pH variável, já espécies como *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing preferem águas ácidas e limpas (Stevenson et al., 2014). Algas como *Chlorella* Beyerinck e *Scenedesmus* Meyen acumulam chumbo, cádmio e mercúrio que são metais pesados, participando ativamente da biorremediação dos ambientes aquáticos (Kumar et al. 2015).

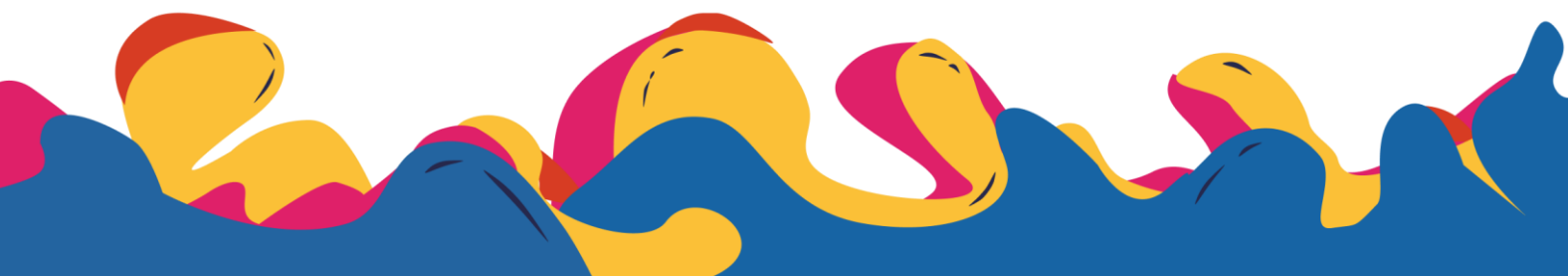
Diatomáceas: bioindicadoras por excelência

Dentre os grupos de algas, as diatomáceas (classe Bacillariophyceae) são amplamente reconhecidas como os melhores bioindicadores para ambientes aquáticos. O grupo é caracterizado, principalmente, por possuir a parede celular impregnada por dióxido de silício, denominada frústula.



Por que as diatomáceas são tão especiais?

- Suas frústulas permanecem intactas por milhares de anos nos sedimentos, permitindo que cientistas investiguem como era o ambiente no passado. Essa área da ciência é chamada paleoecologia (Smol, 2008);
- Cada espécie reage de forma única a mudanças no ambiente (Stevenson et al. 2014) e são bastante sensíveis;
- Possuem tolerâncias ecológicas conhecidas. Por exemplo, *Gomphonema parvulum* é tolerante à poluição orgânica, mas *Encyonema aquasedis* tem preferência por águas limpas e bem oxigenadas (Stevenson et al., 2014; Marquardt et al., 2016);





Respondem a índices biológicos já estabelecidos, como o Índice de Diatomáceas de Poluição (IDP), que classifica a qualidade da água com base nas espécies presentes (Stevenson et al., 2014).

Curiosidades

As algas produzem ~50% do oxigênio da Terra – mais do que todas as florestas tropicais juntas! (NASA Ocean Biology).



Países da Europa usam diatomáceas para cumprir a Diretiva-Quadro da Água (European Union, 2000).

No Brasil, a CETESB usa diatomáceas para monitorar a qualidade da água de rios como o Tietê!



Como os peixes revelam a saúde dos ecossistemas?










Os peixes são considerados excelentes indicadores da saúde dos ecossistemas aquáticos, pois suas populações, distribuição e características biológicas refletem diretamente a qualidade da água e a integridade do ambiente. Alterações nas comunidades, como a redução da diversidade de espécies, mudanças no comportamento ou o surgimento de doenças, podem indicar desequilíbrios ambientais, frequentemente



associados à poluição, degradação de habitats ou outros fatores de estresse ecológico (EPA, 1997; Oliveira Ribeiro et al. 2022; Pinna et al. 2023).

Peixes podem ser encontrados nos mais diversos ambientes aquáticos, de água doce (rios, lagos, córregos e reservatórios), em ambientes estuarinos em água salobra com ou sem manguezais associados, e em água salgada (praias, recifes e oceanos).

Além disso, possuem diferentes hábitos de vida:






-  Bentônicos (associados ao fundo de rios, lagos ou oceanos, geralmente deslocando-se pouco e se alimentando de organismos que vivem no sedimento ou sobre ele);
-  Nectônicos (nadadores ativos, capazes de se deslocar contra as correntes, ocupando principalmente a coluna d'água);
-  Litorâneos ou costeiros (Habitantes de águas rasas próximas à costa, incluindo manguezais, estuários e recifes);
-  Pelágico-costeiros (vivem na coluna d'água, mas próximo às regiões costeiras);
-  Pelágico-oceânicos (passam a vida em mar aberto, longe da costa);
- Estuarinos (vivem em áreas de transição entre rios e mar, tolerando variações de salinidade);
-  Migradores (Anádromos: vivem no mar e sobem para rios para se reproduzir e
-  Catádromos: vivem em água doce e vão ao mar para se reproduzir);
-  Abissais ou batipelágicos (habitam as regiões profundas dos oceanos, com pouca ou nenhuma luz);
-  Recifais (vivem associados a recifes de corais ou rochosos).

Por que os peixes são excelentes bioindicadores?

Os peixes também são excelentes bioindicadores porque reúnem uma combinação de características biológicas, ecológicas e tróficas que os tornam sensíveis a alterações no ambiente, mas também capazes de integrá-las ao longo do tempo.




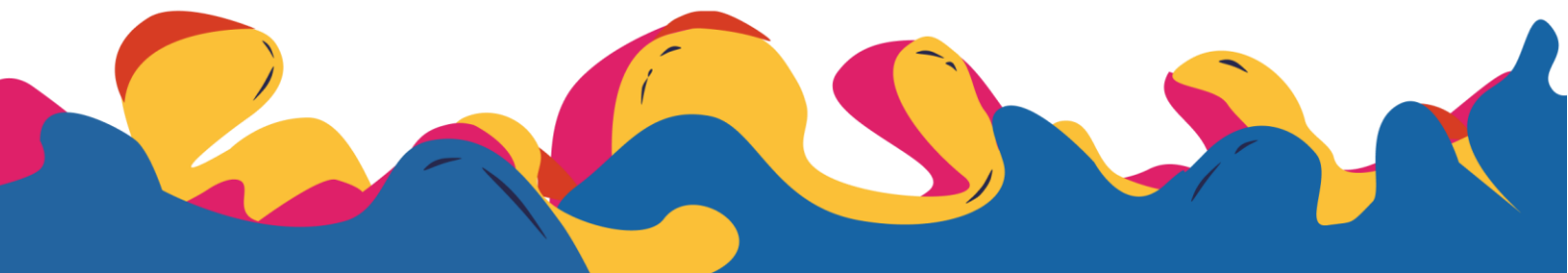
As principais características que os tornam ideais para o papel de bioindicadores, são:






-  Posição na cadeia alimentar – Muitos peixes ocupam níveis tróficos intermediários ou superiores, acumulando efeitos de mudanças que ocorrem em níveis mais baixos, como fitoplâncton e invertebrados (Okwuosa et al. 2019);
-  Longevidade – Ao viverem meses ou anos, eles refletem não apenas impactos imediatos, mas também condições ambientais de médio e longo prazo (Guerrero-Aguilar et al. 2022);
-  Sensibilidade a múltiplos estressores – Poluição química, alterações de temperatura, mudanças no pH, turbidez, perda e habitat e presença de espécies invasoras podem afetar seu crescimento, reprodução, comportamento e sobrevivência (Okwuosa et al. 2019);
-  Facilidade de observação e amostragem – Populações de peixes podem ser monitoradas por métodos padronizados (redes, armadilhas, pesca elétrica), permitindo comparações temporais e espaciais (Hammerl et al. 2024);
-  Respostas detectáveis – Alterações na diversidade, abundância, estrutura etária, condição corporal ou presença de doenças funcionam como sinais claros de desequilíbrios ambientais (Araújo et al. 2018).

Ciência e Conservação

Pesquisadores utilizam os peixes como ferramentas versáteis em diversas áreas da ciência e na gestão ambiental:

-  Avaliação da qualidade da água - são bioindicadores sensíveis a poluentes e alterações químicas, físicas e biológicas da água. A presença, ausência ou alteração em sua comunidade indica qualidade ambiental (Okwuosa et al. 2019);



-  Monitoramento de mudanças climáticas - alterações nos padrões de distribuição, reprodução e fenologia de peixes refletem impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas aquáticos (Pinsky et al. 2013);
-  Restauração ecológica - podem ser usados para avaliar a eficácia de restaurações ambientais, indicando se os habitats recuperados estão sustentando comunidades aquáticas saudáveis (Palmer et al. 2014);
-  Desenvolvimento de políticas ambientais - dados sobre a saúde das populações de peixes subsidiam a criação de políticas para proteção ambiental, como zonas de conservação e controle de poluição (Dudgeon et al. 2006);
-  Prevenção de riscos à saúde pública - peixes bioacumulam contaminantes (ex.: metais pesados, pesticidas), funcionando como indicadores da contaminação ambiental que pode afetar humanos via consumo (Burger & Gochfeld, 2005);
-  Educação ambiental - são usados em programas educativos para promover a conscientização sobre conservação, ecologia aquática e impactos humanos (Jacobson et al. 2007).

Essas aplicações demonstram como esses organismos, que estão amplamente distribuídos por toda a biosfera, se tornaram indispensáveis para a compreensão e proteção dos ecossistemas aquáticos em todo o mundo.

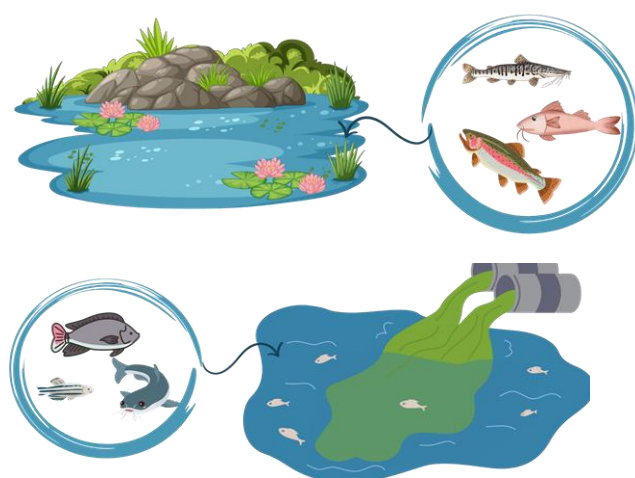
Como os peixes revelam a saúde dos rios e lagos

Os peixes atuam como "guardas dos ecossistemas aquáticos" – sua presença, diversidade e comportamento revelam muito sobre a saúde de rios e lagos. Como isso acontece? Os peixes são sensíveis às mudanças na qualidade da água, na disponibilidade de alimento e na estrutura do habitat, reagindo a poluentes, alterações na temperatura e na oxigenação. Quando as condições se deterioram, as populações de peixes podem diminuir, apresentar espécies invasoras ou sinais de estresse, funcionando como



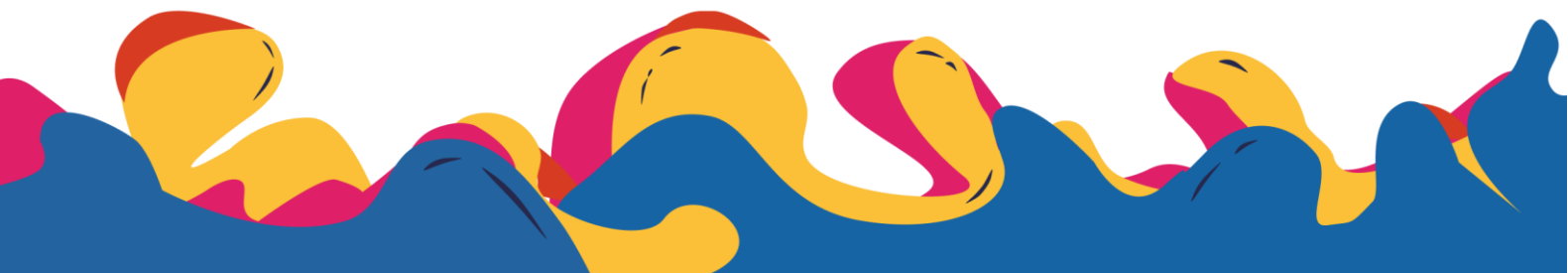
indicadores vivos que alertam para problemas ambientais e riscos à biodiversidade e à saúde humana.

Espécies sensíveis, como o lambari-de-duas-pintas *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758), são encontradas preferencialmente em águas limpas, bem oxigenadas e com pouca poluição, funcionando como indicadores de ecossistemas saudáveis (Batista et al. 2024). Por outro lado, espécies tolerantes, como o acará cascudo *Cichlasoma amazonarum* (Kullander), dominam ambientes impactados, indicando degradação ambiental e alteração da qualidade da água (Vieira & Shibatta, 2007);



Determinadas espécies são consideradas sensíveis e só se desenvolvem em águas limpas, enquanto outras são tolerantes ou a poluição, sobrevivendo mesmo em ambientes degradados.

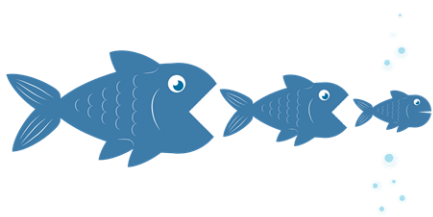
O excesso de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo oriundos de esgoto e atividades agrícolas, promove o crescimento excessivo de plantas aquáticas e fitoplâncton, afetando a disponibilidade de oxigênio e habitat. Peixes como *Hypostomus* spp. (bagres) podem proliferar em ambientes eutrofizados, enquanto espécies sensíveis desaparecem (Andrade et al., 2020). Após eventos de eutrofização, a decomposição da biomassa provoca queda no oxigênio dissolvido. O curimatá (*Prochilodus lineatus* Valenciennes) demonstra estresse e redução populacional em ambientes hipóxicos, enquanto espécies do gênero mais tolerante *Corydoras*, podem sobreviver em condições de baixo oxigênio (Pollock et al., 2007). Alguns peixes bioacumulam metais tóxicos como mercúrio, chumbo e cádmio, funcionando como sentinelas da contaminação ambiental.



As espécies de tucunaré (*Cichla* spp.) apresentam níveis elevados de metais em tecidos quando expostos a ambientes contaminados, sinalizando riscos à saúde dos ecossistemas e dos humanos (Souza et al., 2025).

Curiosidades

Muitos peixes ocupam diferentes níveis da cadeia alimentar, mudanças em suas populações podem indicar problemas em outros níveis, como diminuição do plâncton ou aumento de algas tóxicas.



Peixes predadores acumulam contaminantes presentes em suas presas, o que pode levar a níveis tóxicos para eles e para quem os consome — um alerta importante para a saúde humana também.

A presença ou ausência de espécies invasoras pode indicar mudanças profundas no ecossistema, muitas vezes associadas a poluição, alteração do habitat ou introdução acidental de organismos.



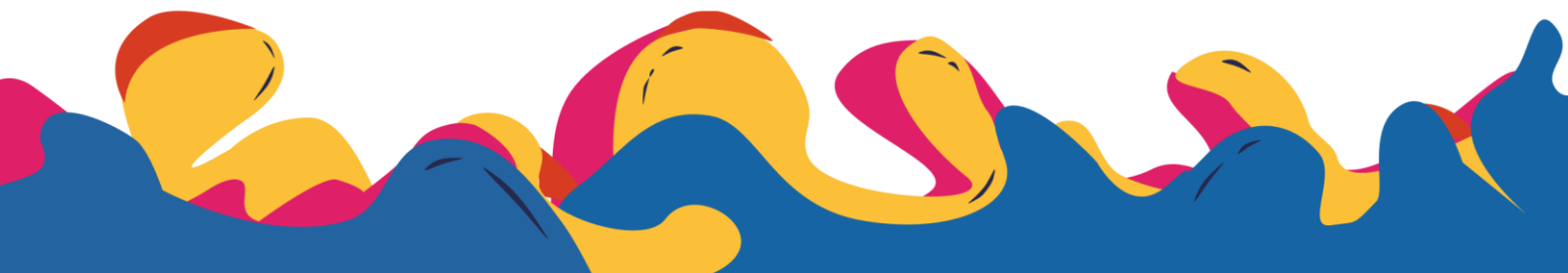
Considerações finais

O uso de algas e peixes como bioindicadores é uma ferramenta científica poderosa, que alia sensibilidade biológica, baixo custo e grande aplicabilidade em diversos ecossistemas aquáticos. Por meio da análise da composição, abundância e saúde das populações destes organismos, cientistas, gestores ambientais e educadores conseguem "ler" a saúde dos corpos d'água de maneira detalhada e dinâmica.

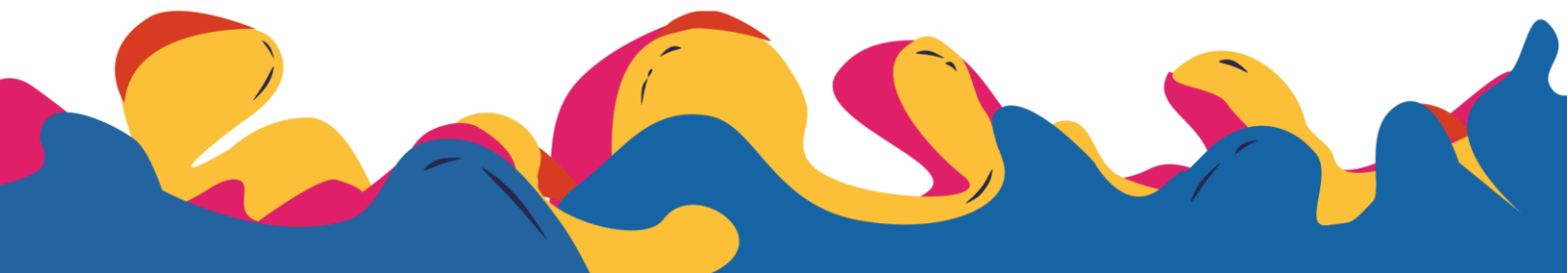
Investir no conhecimento da diversidade algal bem como no estudo das espécies de comunidades piscícolas e em técnicas de bioavaliação é, portanto, fundamental para avaliar a qualidade da água, detectar impactos antrópicos e essencial para a conservação dos recursos hídricos e a manutenção da biodiversidade.

Referências

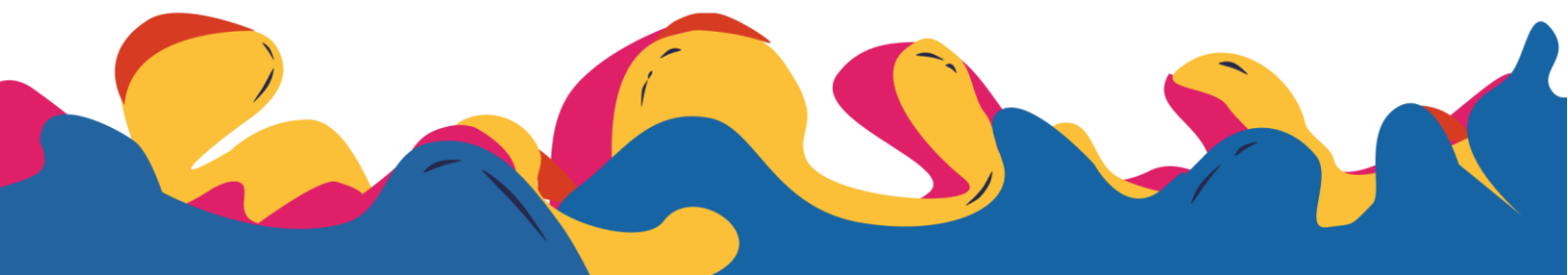
- Andrade, A. P. et al., 2020. New Water and Biotic Quality Assessment Indices for a tropical reservoir based on fuzzy logic. *Ambiente & Água*, 15(5).
- Araújo, F. G. et al., 2018. Biomarkers and bioindicators of the environmental condition using a fish species (*Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803) in a tropical reservoir in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), pp. 351–359.
- Batista, C. P. et al., 2024. Status of studies about Brazilian bioindicator fishes, a review. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 36, p. 14.
- Battarbee, R. W. et al., 2003. Diatoms. In: Smol, J.P. et al. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, vol. 3, pp. 155–202. Dordrecht: Springer.
- Bellinger, E. G. & Sigee, D. C., 2015. *Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators*. 2nd ed. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Bicudo, C. E. M. & Menezes, M., 2018. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 3rd rev. and expanded ed. São Carlos: RiMa Editora.
- Burger, J. & Gochfeld, M., 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), pp. 403–412.



- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), 2023. *Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. Available at: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/> [Accessed 08 Jul. 2025].
- Dudgeon, D. et al., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 82(2), pp. 163–182.
- EPA, 1997. *Biological Monitoring of Aquatic Communities*. U.S. Environmental Protection Agency. Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/monitoring_chap3_1997.pdf [Accessed 11 Aug. 2025].
- European Union, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, Luxembourg, 22 Dec. 2000.
- Guerrero-Aguilar, A. et al., 2022. Bioindicators and biomonitoring: review of methodologies applied in water bodies and use during the Covid-19 pandemic. *Acta Universitária*, 32, p. 3388.
- Hammerl, C. et al., 2024. Identifying fit-for-purpose methods for monitoring fish communities. *Frontiers in Marine Science*, 10.
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jacobson, S. K. et al., 2018. *Conservation Education and Outreach Techniques*. 1st ed. Oxford: Oxford University Press.
- Kumar, K. S. et al., 2015. Microalgae: a sustainable tool for remediation of heavy metals. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(8), pp. 2344–2356.
- Marquardt, G.C. et al., 2016. *E-cyonema aquasedis* sp. nov. and *Kurtkrammeria salesopolensis* sp. nov.: two new freshwater diatom species (Cymbellales, Bacillariophyceae) from an oligotrophic reservoir in southeastern Brazil. *Phytotaxa*, 247, pp. 62–74.
- NASA, 2021. The ocean's green machines. *Earth Observatory*. Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton> [Accessed 08 Jul. 2025].
- Okwuosa, O. B., 2019. Role of Fish as Bioindicators: A Review. *International Peer-Reviewed Journal*, 2(11), p. 354-368.



- Oliveira Ribeiro, C.A. et al., 2022. Comparative effects of oral exposure to 2,4,6-tribromophenol and decabromodiphenyl ether in Nile tilapia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(12), pp. 17087–17102.
- Palmer, M. A. et al., 2014. Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, pp. 247–269.
- Palmer, M. A. et al., 2016. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), pp. 561–568.
- Pinna, M. et al., 2023. An overview of ecological indicators of fish to evaluate the anthropogenic pressures in aquatic ecosystems: from traditional to innovative DNA-based approaches. *Water*, 15(5), p. 949.
- Pinsky, M. L. et al., 2013. Marine taxa track local climate velocities. *Science*, 341(6151), pp. 1239–1242.
- Pinto, F. & Antunes, S.C., 2020. Biomanipulação para o controlo da eutrofização. *Revista de Ciência Elementar*, 8(1), pp. 1–5.
- Pollock, M. S. et al., 2007. The effects of hypoxia on fishes: from ecological relevance to physiological effects. *Environmental Reviews*, 15.
- Smol, J.P. & Stoermer, E., 2010. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smol, J.P., 2008. *Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective*. 2nd ed. Oxford: Blackwell.
- Souza, D. C. D. et al., 2025. Bioaccumulation of metals in fish collected from Macapá urban aquatic environments (Brazilian Amazon) and the risks to human health. *Toxics*, 13(2), p. 67.
- Stevenson, R. J., 2014. Ecological assessments with algae: a review and synthesis. *Journal of Phycology*, 50(3), pp. 437–461.
- Vieira, D. B. & Shibatta, O. A., 2007. Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de Londrina, Paraná, Brasil. *Biota Neotropica*, 7(1), pp. 57–65.
- World Health Organization (WHO), 2021. *Guidelines for drinking-water quality: cyanobacterial toxins*. 4th ed. Geneva: WHO.



SUGESTÕES DE ATIVIDADES PARA O PROFESSOR

Jogo da memória com Bioindicadores: Qualidade da água

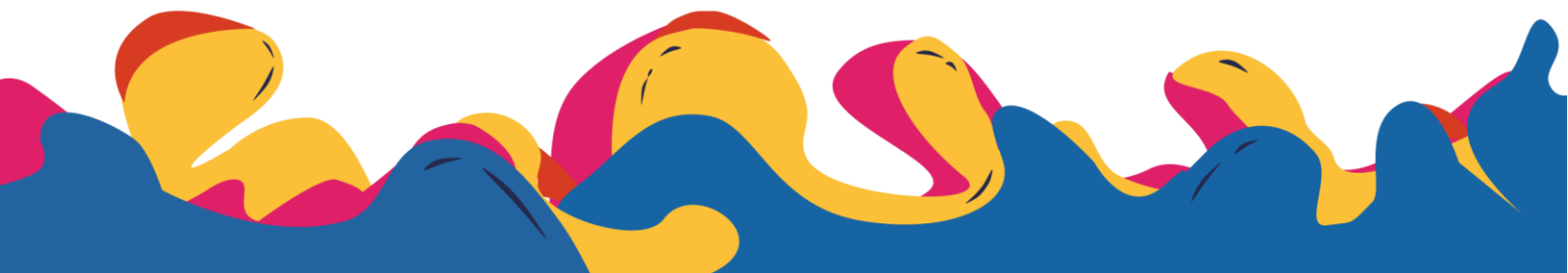
Objetivo: Encontrar os pares correspondentes, ou seja, a carta com a imagem do bioindicador e a carta com as suas informações, virando duas peças por vez.

Quantos podem participar: 2 a 5 participantes.

Como jogar: As cartas são colocadas viradas para baixo e embaralhadas, depois é escolhida a ordem dos participantes. O primeiro, vira duas cartas. Se as peças forem iguais, o participante as mantém e tem direito a outra jogada. Se forem diferentes, as peças são viradas novamente e a vez passa para o próximo.

Fim do jogo: O jogo termina quando todas as peças forem encontradas e combinadas em pares.

Quem ganha: O participante que encontrar mais pares.





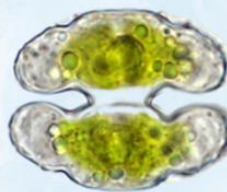
Fragilaria socia

Crédito de imagem:
LaLiberte & Vaccarino;
Diatoms of North America

Grupo:
Diatomáceas

Onde vive:
Ambientes ricos
em nutrientes,
especialmente
fósforo

O que indica:
Eutrofização do
ambiente



***Cosmarium
commissulare***

Crédito de imagem:
Chris Carter; AlgaeBase

Grupo:
Desmídia

Onde vive:
Águas levemente
ácidas a neutras

O que indica:
Águas limpas



***Desmodesmus
subspicatus***

Crédito de imagem:
Chris Carter; AlgaeBase

Grupo:
Desmídia

Onde vive:
Ambientes ricos
em nitrogênio e
fósforo

O que indica:
Alta poluição
humana



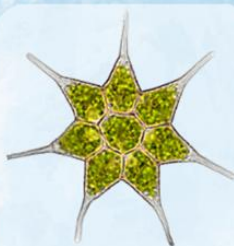
***Micrasterias
denticulata***

Crédito de imagem:
Chris Carter; AlgaeBase

Grupo:
Desmídia

Onde vive:
Águas limpas

O que indica:
Mudanças físicas e
químicas da água



***Monactinus
simplex***

Crédito de imagem:
Chris Carter; AlgaeBase

Grupo:
Chlorophyta
(alga verde)

Onde vive:
Águas com alta
concentração de
fósforo

O que indica:
Águas poluídas



***Cocconeis
tropicoacuta***

Crédito de imagem:
Costa et al. 2020

Grupo:
Diatomácea

Onde vive:
Ambientes pouco
poluídos

O que indica:
Águas com poucos
nutrientes.



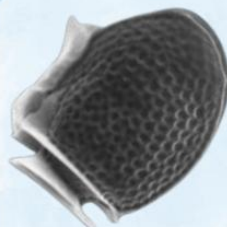
***Navicula
capitatoradiata***

Crédito de imagem:
Karl Bruun, AlgaeBase

Grupo:
Diatomácea

Onde vive:
Águas ácidas com
muitos nutrientes

O que indica:
Águas poluídas



***Dynophysis
acuminata***

Crédito de imagem:
Nikolic et al. 2015

Grupo:
Dinoflagelado

Onde vive:
Ambientes
marinhos ricos em
nutrientes

O que indica:
Maré vermelha
(floração)



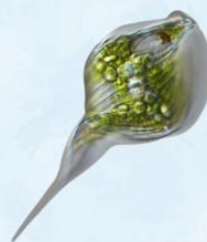
Euglena gracilis

Crédito de imagem:
Karl Bruun, AlgaeBase

Grupo:
Euglena

Onde vive:
Águas
contaminadas
com metais

O que indica:
Toxicidade de
água e solo



Phacus tortus

Crédito de imagem:
Bozena Zaktyś, AlgaeBase

Grupo:
Euglena

Onde vive:
Ambientes
marinhos
contaminados

O que indica:
Poluição



Hoplias malabaricus

Crédito de imagem:
Sims Tropical Fish

Nome popular:
Traíra

Onde vive:
Águas paradas de
lagos, represas,
brejos e rios

O que indica:
Problemas de
eutrofização



Hypostomus affinis

Crédito de imagem: Erick
Guimarães, Aquarismo
Paulista

Nome popular:
Cascudo

Onde vive:
Rios e lagos

O que indica:
Águas com
alguma poluição



Corbicula fluminea

Crédito de imagem:
Fernando C. Guerreiro

Nome popular:
Mexilhão-asiático

Onde vive:
Ambientes de
água doce

O que indica:
Poluição na água



Rhamdia quelen

Crédito de imagem:
Felipe Schaly

Nome popular:
Jundiá

Onde vive:
Poços, lagos e
fundos dos rios

O que indica:
Poluição em altas
concentrações



Astyanax fasciatus

Crédito de imagem:
Baumgartner et al. 2012

Nome popular:
Lambari

Onde vive:
Ambientes de
água doce na
América do Sul

O que indica:
Degradação
ambiental



Oreochromis niloticus

Crédito de imagem:
Baumgartner et al. 2012

Nome popular:
Tilápia-do-Nilo

Onde vive:
Áreas com clima
quente e água
doce

O que indica:
Poluição orgânica
e excesso de
nutrientes



***Steindachneridion
melanodermatum***

Crédito de imagem:
Baumgartner et al. 2012

Nome popular:
Surubim-do-
Iguaçu

Onde vive:
Rio Iguaçu, no
Brasil

O que indica:
Ambientes
conservados



Danio rerio

Crédito de imagem:
Roberta Pozzan

Nome popular:
Paulistinha

Onde vive:
Água doce

O que indica:
Poluição na água



Poecilia reticulata

Crédito de imagem:
Felipe Schaly

Nome popular:
Barrigudinho

Onde vive:
Água doce no
norte da América
do Sul e América
Central

O que indica:
Poluição na água



***Pterygoplichthys
pardalis***

Crédito de imagem:
The Fishes of North Carolina

Nome popular:
Cascudo-abacaxi
ou Acari

Onde vive:
Fundo dos rios

O que indica:
Ambientes com
alta carga de
matéria orgânica e
baixo oxigênio

FITORREMEDIAÇÃO: PLANTAS QUE RECUPERAM E TRANSFORMAM

Letícia Malinoski, Nicole Geraldine de Paula Marques Witt e Marcelo Pedrosa Gomes

Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação – UFPR.
Departamento de Botânica – UFPR





LAFIPE – Laboratório de Fisiologia de Plantas sob Estresse

Coordenação: Dr. Marcelo Pedrosa Gomes

Com atuação voltada ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias e metodologias para avaliação da **qualidade ambiental**, o **LAFIPE** prioriza **soluções baseadas na natureza** (Nature-based Solutions), saúde ambiental e vigilância ecotoxicológica. Entre as linhas de pesquisa do laboratório, destacam-se:

1. Análises Ambientais e Diagnóstico de Contaminantes

- Avaliação de atributos físicos, químicos e microbiológicos de água e sedimento, incluindo contaminantes emergentes como fármacos (metformina, antibióticos), herbicidas (glifosato, AMPA, glufosinato), metais e nutrientes.
- Parcerias com laboratórios multiusuários para análises avançadas por técnicas de cromatografia.

2. Ensaios Ecotoxicológicos

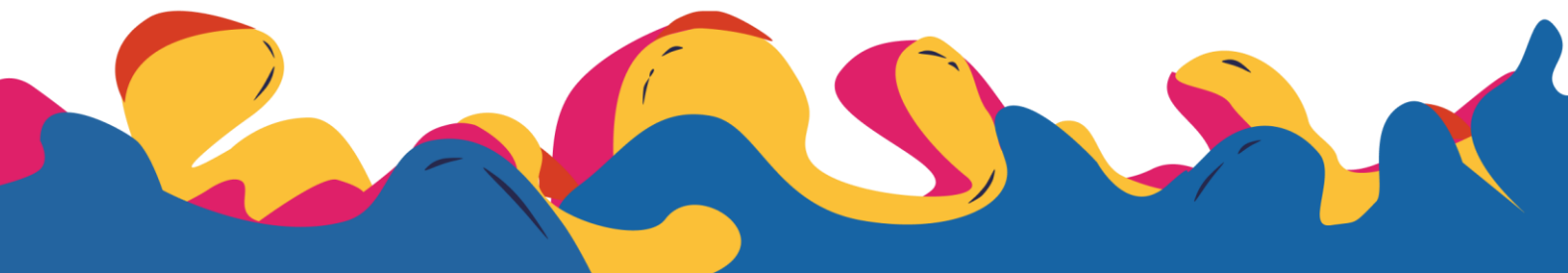
- Realização de testes de toxicidade aguda e crônica com organismos terrestres (sementes, minhocas) e aquáticos (microalgas, macrófitas aquáticas, microcrustáceos).
- Emprego de biomarcadores fisiológicos, bioquímicos e hormonais em macrófitas aquáticas como *Lemna minor*, *Salvinia molesta* e *Myriophyllum aquaticum*.

3. Desenvolvimento de Soluções Sustentáveis

- Pesquisa com macrófitas em sistemas de **fitorremediação**, como ilhas flutuantes e zones ripárias.
- Avaliação de **micomateriais** (biocompósitos derivados de fungos) para biofiltração e suporte às plantas.
- Consultorias para implantação de faixas vegetadas com *Mimosa scabrella* ("bracatinga") como estratégia para mitigação da poluição difusa agrícola.

4. Apoio Técnico e Vigilância Ambiental

- Suporte para estações de tratamento de efluentes, centrado em contaminantes emergentes e riscos ambientais.
- Elaboração de programas de monitoramento de qualidade de água e solo.
- Estudo de riscos ecológicos e sanitários ligados à presença de antibióticos, herbicidas, metais e bactérias resistentes em corpos hídricos.

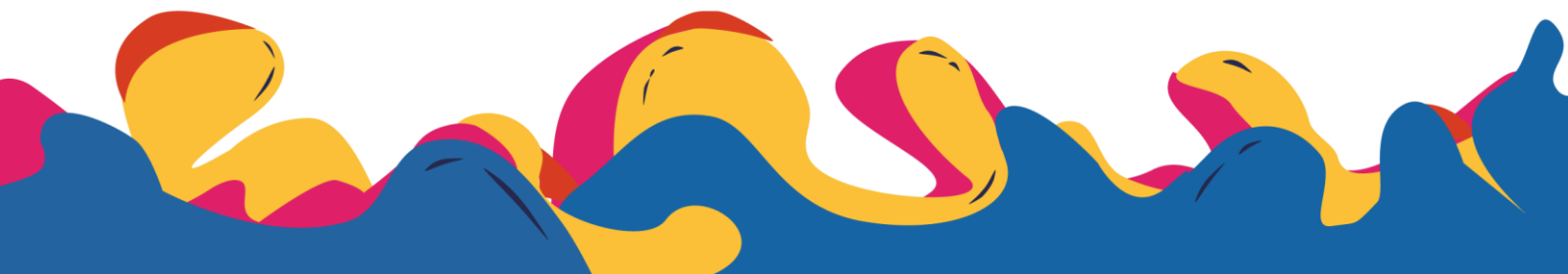


5. Projeto MARA – Extensão e Educação Ambiental

- Projeto educativo *MARA* (Macrófitas Aquáticas para Remoção de Antimicrobianos), que promove oficinas, exposições e produção de material didático e científico para escolas, comunidades e gestores públicos.
- Integração com o SUS e iniciativas de vigilância em saúde ambiental, traduzindo conhecimento científico em ações concretas na sociedade.

Projeto MARA, que tal conhecermos um pouco mais sobre ele?

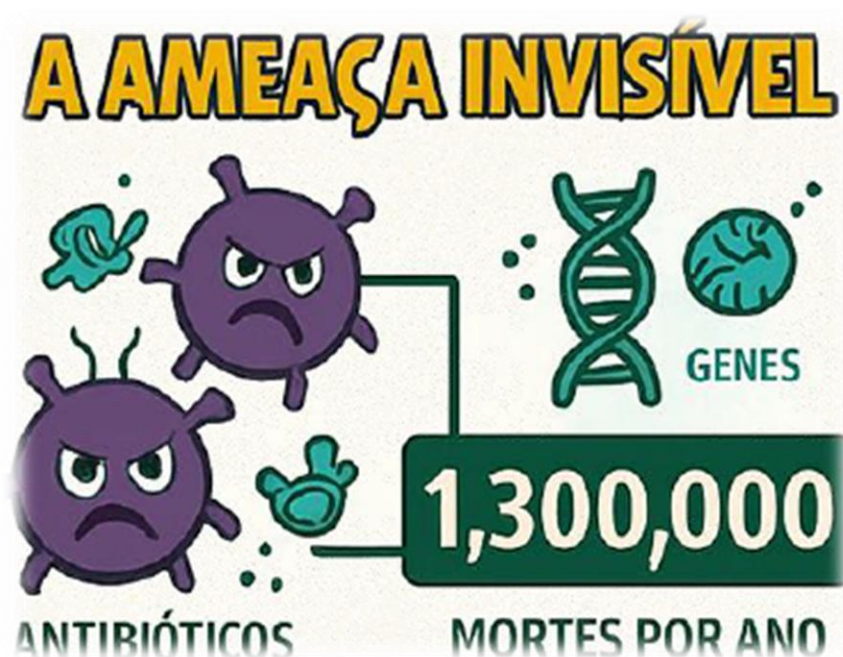
A seguir apresentaremos o processo da fitorremediação de forma lúdica. Para isso daremos destaque a algumas espécies e a seus papéis na remoção de antibióticos e bactérias comumente presentes nos efluentes e corpos hídricos urbanos.



Quando as Plantas se Tornam Heroínas: A Missão MARA

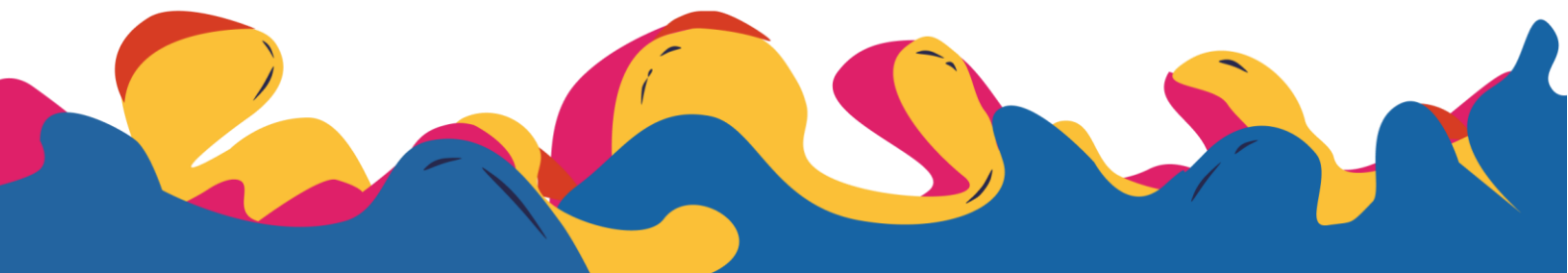
O Perigo Invisível em Nossas Águas

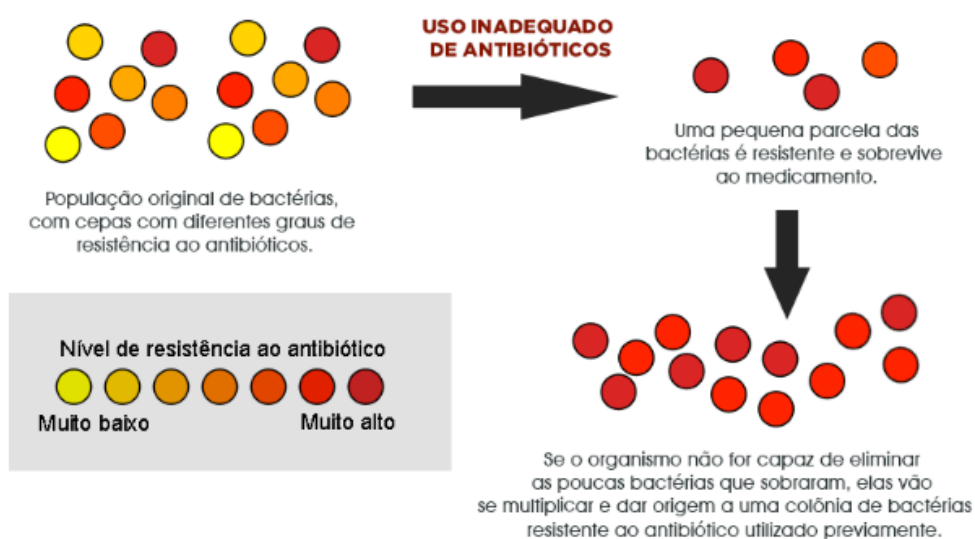
Existe uma ameaça que não podemos ver ou ouvir, mas que representa um grande perigo: as **superbactérias**. A resistência antimicrobiana acontece quando as bactérias se tornam tão fortes que os **antibióticos**, os remédios que usamos para combatê-las, já não funcionam mais. Esse problema já causa mais de 1,2 milhão de mortes por ano no mundo e pode piorar.



Como as bactérias se tornam resistentes?

Uma das principais causas é o uso excessivo ou inadequado de antibióticos por pessoas, em animais e na agricultura. Por exemplo, durante a pandemia de COVID-19, o uso desses medicamentos aumentou consideravelmente, incluindo casos em que o uso não era necessário. Outra situação preocupante ocorre quando utilizamos os antibióticos por um tempo inferior ao recomendado. Em todos esses casos, estamos favorecendo a seleção de bactérias resistentes.





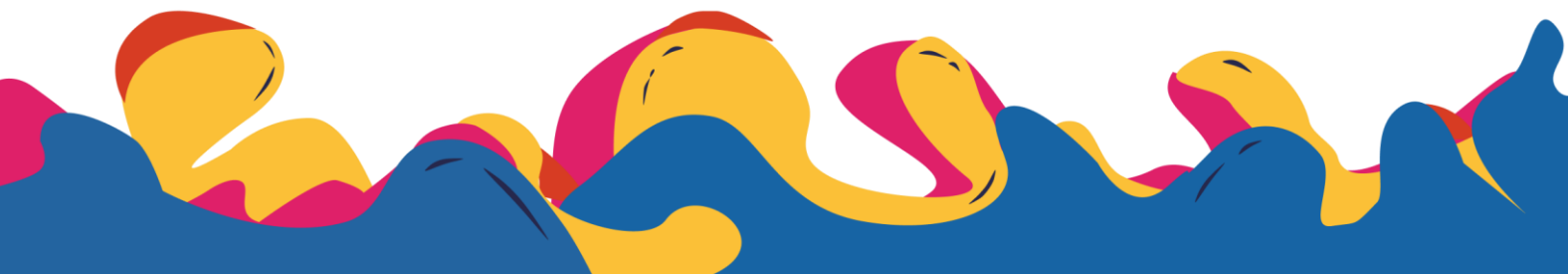
Fonte: <https://www.mdsaude.com/>

Em conjunto, muitas pessoas ainda descartam os antibióticos vencidos no vaso sanitário ou mesmo no lixo. Estas são ações que também contribuem para a chegada e permanência desses fármacos no ambiente! Remédio vencido ou não mais utilizado deve ser descartado corretamente. Procure as farmácias mais próximas de você e identifique quais delas recebem estes medicamentos.

O que muitos não sabem é que, após o uso, os antibióticos não desaparecem. Parte dessas substâncias é eliminada pelo organismo nas fezes ou na urina e segue para os esgotos. Como as estações de tratamento convencionais não conseguem removê-las completamente, acabam sendo lançadas em rios, lagos e solos. Na natureza, esses resíduos contribuem para o aumento da resistência bacteriana, gerando um problema tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente.

Fitorremediação, a Solução que Vem da Natureza

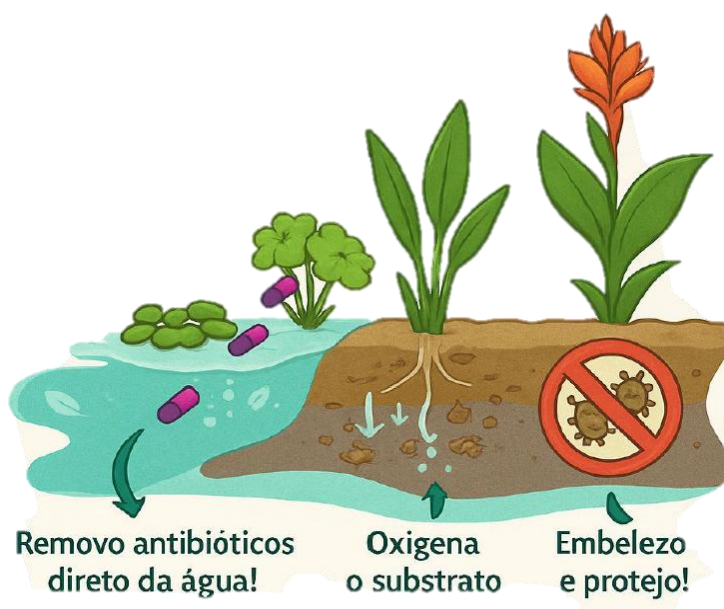
Felizmente, a própria natureza nos oferece ferramentas para enfrentar esse desafio. Uma delas é a fitorremediação, uma técnica inteligente que usa plantas para



limpar, degradar ou estabilizar diferentes **contaminantes** presentes no solo e na água. É uma solução eficiente, de baixo custo e que respeita o meio ambiente.

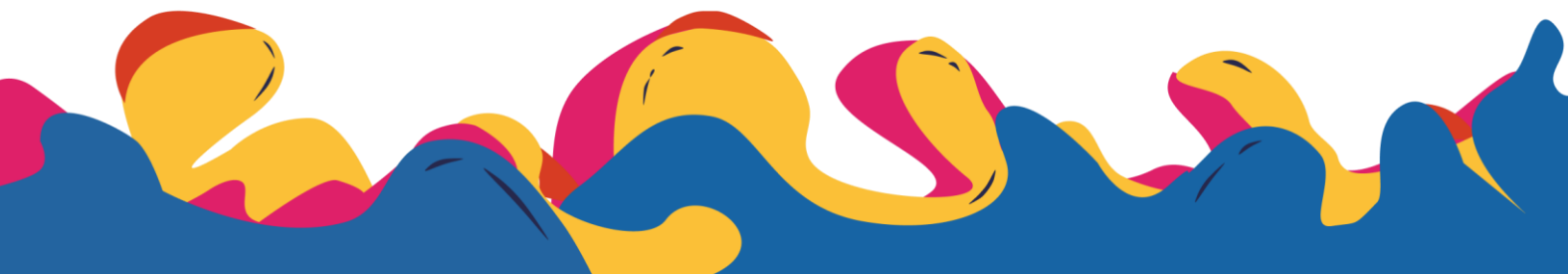
Nessa missão, algumas plantas aquáticas se destacam como verdadeiras guerreiras. Entre elas estão:

- *Salvinia molesta*: Funciona como uma esponja viva, absorvendo os antibióticos diretamente da água.
- *Sagittaria montevidensis*: Uma planta estratégica que injeta oxigênio no **substrato**, ajudando os microrganismos do bem a se desenvolverem e a degradarem os contaminantes.
- *Canna indica*: Auxilia na limpeza da água ao remover microrganismos com potencial patogênico e embeleza o sistema.



O Sistema MARA e Suas Heroínas

Inspirados no poder dessas plantas, pesquisadores da Universidade Federal do Paraná (UFPR) criaram o sistema MARA. MARA é a sigla para "Macrófitas Aquáticas para a Remoção de Antimicrobianos." Trata-se de uma tecnologia verde que funciona como uma etapa extra de limpeza da água. O sistema usa "**wetlands construídas**", que são como jardins alagados projetados com plantas aquáticas especiais. Esses jardins recebem a



água que já passou pelo tratamento convencional e fazem um "polimento final", removendo os contaminantes que restaram.

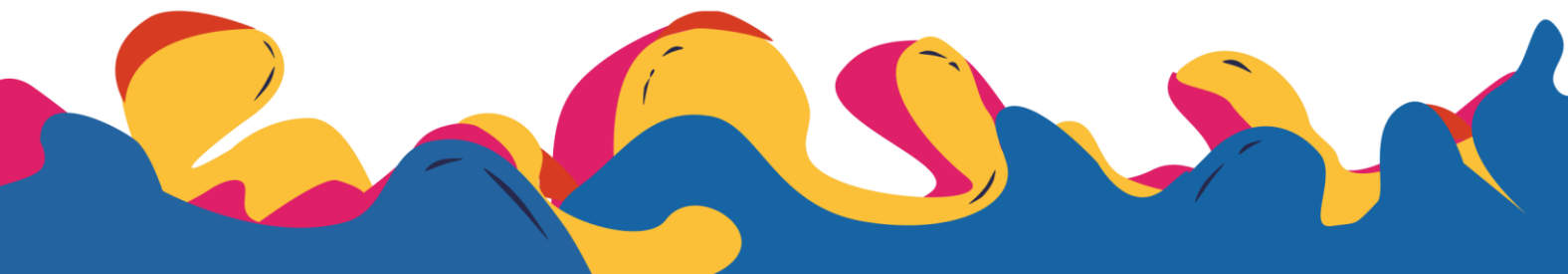
Dentro do sistema MARA, as plantas realizam múltiplas funções: absorvem os antibióticos, incentivam a degradação por micróbios e reduzem a quantidade de bactérias resistentes e seus genes. Os resultados dos testes são impressionantes, mostrando uma redução muito grande desses poluentes e tornando a água mais segura.

Para explicar essa ciência de forma divertida, nasceram as nossas Heroínas MARA, personagens que mostram como soluções baseadas na natureza podem ser poderosas e acessíveis.



Conheça a Equipe de Defesa Ambiental

As Heroínas MARA dão um rosto, cor e propósito à ciência. O visual delas foi criado para atrair a atenção de todas as idades, explicando ideias complexas de forma lúdica e empática. A equipe principal é formada por:



- Salvinia: Uma heroína **hiperacumuladora**, forte e silenciosa. Sua missão é usar sua grande área de folhas e raízes flutuantes para remover antibióticos e outros contaminantes da água.
- Sagittaria: Resistente e estratégica, ela injeta **oxigênio** no solo. Com isso, promove a criação de biofilmes de bactérias que ajudam a degradar os contaminantes.
- Canna: Elegante e eficiente, sua função é remover **patógenos** (microrganismos que causam doenças, como bactérias que atacam o sistema intestinal). Além de limpar, ela deixa os sistemas mais bonitos e funcionais.

Juntas, elas formam uma equipe de defesa do meio ambiente, unindo ciência e a beleza da natureza.



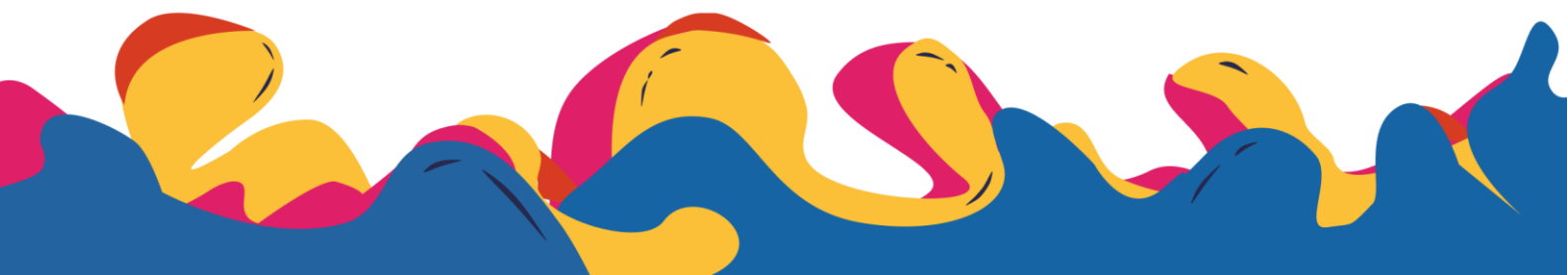
É importante destacar que o sistema MARA foi desenvolvido em parceria com a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) com o objetivo de aumentar a eficiência no tratamento de efluentes antes de sua liberação em corpos hídricos, como rios e lagos.

Atualmente, o sistema está em fase de aprimoramento para viabilizar sua aplicação em larga escala, com potencial de expansão para outras regiões do Brasil.

O Laboratório por trás das heroínas e como ajudar



Toda essa descoberta incrível nasceu em um lugar especial: um laboratório de verdade! O projeto das Heroínas MARA foi criado no LAFIPE (Laboratório de Fisiologia de Plantas sob Estresse) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).



Um laboratório é um local onde cientistas fazem experimentos e desvendam os segredos da natureza. No LAFIPE, eles são especialistas em entender como as plantas vivem e como reagem a grandes desafios, como a poluição. Foi estudando a força e a inteligência das plantas que eles desenvolveram o sistema MARA e tiveram a ideia de transformá-lo em uma história de heroínas para todos aprenderem.

No laboratório, além das atividades de pesquisa associadas a perguntas e descobertas, são desenvolvidas atividades educacionais. Nestas, o LAFIPE vai às escolas para compartilhar e construir novos conhecimento. E, por que não, encontrar novos aliados à proteção ambiental?

Conecte-se ao Projeto

Como vimos, a resistência antimicrobiana é uma crise silenciosa, mas você pode fazer parte da solução. O projeto Heroínas MARA é uma rede de pesquisa e educação que busca a transformação.

Se você quiser levar o projeto para sua escola ou evento, ou simplesmente saber mais, pode entrar em contato: pelo **Instagram** no perfil @lafipe_ufpr

Compartilhe, ensine e inspire-se com as Heroínas MARA. Porque quando plantas e pessoas se unem, podem salvar a água e o nosso futuro.

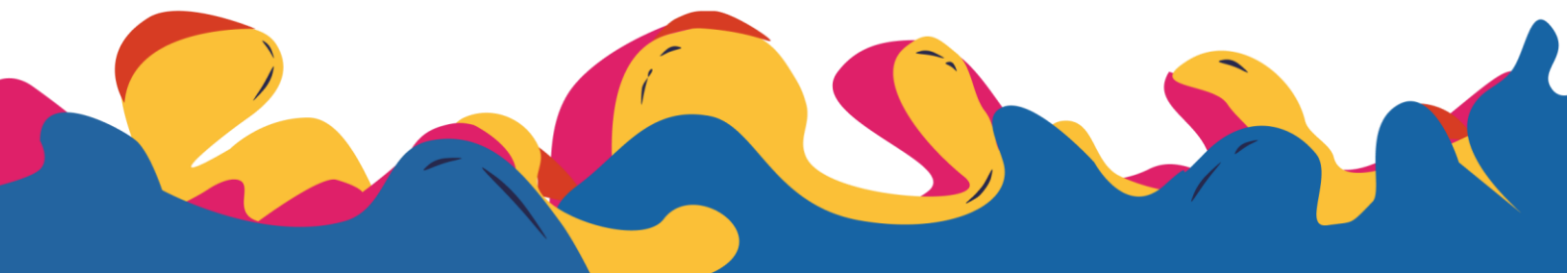
Dicionário dos Pequenos Cientistas

Ficou com dúvida sobre alguma palavra? Este glossário vai te ajudar a entender os termos mais importantes da nossa aventura!

- **Antibióticos:** Remédios usados para combater infecções causadas por bactérias. No nosso ebook, eles são os "remedinhos" que, quando chegam aos rios, podem se tornar um problema ambiental.



- **Contaminantes:** Substâncias ou elementos estranhos ao ambiente natural ou presentes em concentrações acima do normal, que podem causar danos à saúde humana, à biodiversidade ou ao equilíbrio dos ecossistemas.
- **Biofilmes:** Uma comunidade de microrganismos (como as bactérias do bem) que crescem juntos, formando uma camada que ajuda a degradar contaminantes. A heroína Sagittaria estimula a formação deles.
- **Efluente:** É a água que sai de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O sistema MARA foi criado para receber esse efluente e fazer uma limpeza adicional, ou "polimento".
- **Fitorremediação:** O nome da técnica que usa plantas para remover, degradar ou estabilizar poluentes do solo e da água.
- **Hiperacumuladora:** Uma característica de certas plantas que têm o superpoder de acumular (guardar) grandes quantidades de substâncias. A Salvinia é uma heroína hiperacumuladora de antibióticos.
- **LAFIPE (Laboratório de Fisiologia de Plantas sob Estresse):** O laboratório da UFPR onde a equipe de cientistas estuda como as plantas reagem a desafios (estresses), como a poluição, e onde nasceu o projeto das Heroínas MARA.
- **Macrófitas Aquáticas:** O nome científico para as plantas aquáticas que são grandes o suficiente para serem vistas a olho nu, como as heroínas do sistema MARA.
- **Patógenos:** Tipos de microrganismos, como algumas bactérias e vírus, que podem causar doenças. A heroína Canna é especialista em removê-los da água.
- **Resistência Antimicrobiana:** Fenômeno que acontece quando bactérias e outros micróbios se tornam tão fortes que os antibióticos não conseguem mais combatê-los, tornando-se uma grave ameaça à saúde.



- **Substrato:** O material onde as plantas aquáticas fixam suas raízes, como a terra, areia ou cascalho no fundo dos jardins alagados. É nesse local que a *Sagittaria* injeta oxigênio.
- **Superbactérias:** O apelido dado às bactérias que se tornaram resistentes aos antibióticos.
- **Wetlands Construídas:** Sistemas projetados por humanos que imitam pântanos naturais. São como jardins alagados com plantas aquáticas, criados especificamente para filtrar e limpar a água, como no sistema MARA.

SUGESTÕES DE ATIVIDADES PARA O PROFESSOR

1. Plantas que combatem superbactérias – conhecendo as Heroínas MARA

Objetivo: Sensibilizar os estudantes sobre o problema da resistência antimicrobiana e apresentar, de forma prática e lúdica, como a natureza pode ser aliada na solução, por meio da fitorremediação com macrófitas aquáticas.

Atividade prática sugerida:

1. Construção de um *mini-wetland* (jardim filtrante em garrafa PET)

Materiais:

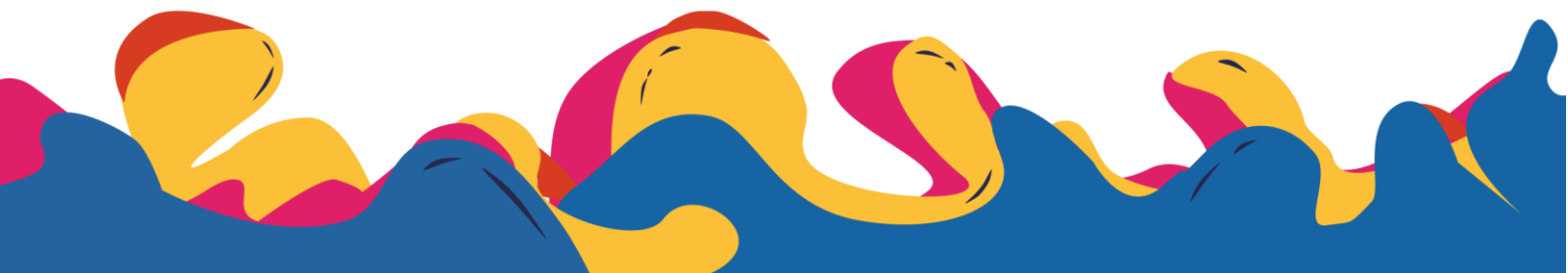
- Garrafas PET (preferencialmente de 5 litros) – sugestão: 1 garrafa por grupo mais 3 garrafas controle (que permanecerão sem plantas).
- Tesoura ou estilete.
- Barbante ou cordão de algodão.
- Plantas aquáticas (ex: aguapé, alface-d'água, taboa, mini-papirus ou outras macrófitas locais).



- Água colorida com corante alimentício (simulando efluente).
- Etiquetas com nomes e "superpoderes" das plantas (inspiradas nas Heroínas MARA).

Procedimento:

1. Faça um corte horizontal a cerca de 1/3 do topo da garrafa, separando-a em duas partes: a parte superior com o gargalo (sem a tampa) e a parte inferior que será o reservatório de água.
2. Vire a parte superior da garrafa (com o gargalo para baixo) e encaixe-a dentro da parte inferior. Caso ela não fique presa, faça dois furos em ambas as partes e prenda com fio ou barbante (vide imagens a seguir).
3. Prepare a solução da água com corante.
4. Separe as três garrafas que serão utilizadas como controle e adicione a água com corante.
5. Nas demais garrafas, atenção às plantas escolhidas: se a macrófita for emersa, isto é, daquelas que ficam com parte do caule e raízes submersas, acomode-a de forma a não ficar 100% coberta com água. Adicione a água colorida ao sistema. Se a macrófita for flutuante, coloque a água e/ou "efluente" antes de colocar a planta.
6. Acomode as garrafas em um ambiente iluminado e arejado e acompanhe por sete dias a possível mudança de cor da água.
7. Compare as garrafas controle com as garrafas contendo plantas e discuta os resultados.





Garrafas controle e garrafas com plantas emersas.

Complemento criativo: criação das “Heroínas MARA” da turma

- Cada grupo cria uma personagem inspirada na planta usada, com nome, traje e superpoder (ex: “Capivarina da Clorofila – remove antibióticos com suas raízes mágicas”).
- Produção de cartazes, quadrinhos ou vídeos curtos com os personagens.

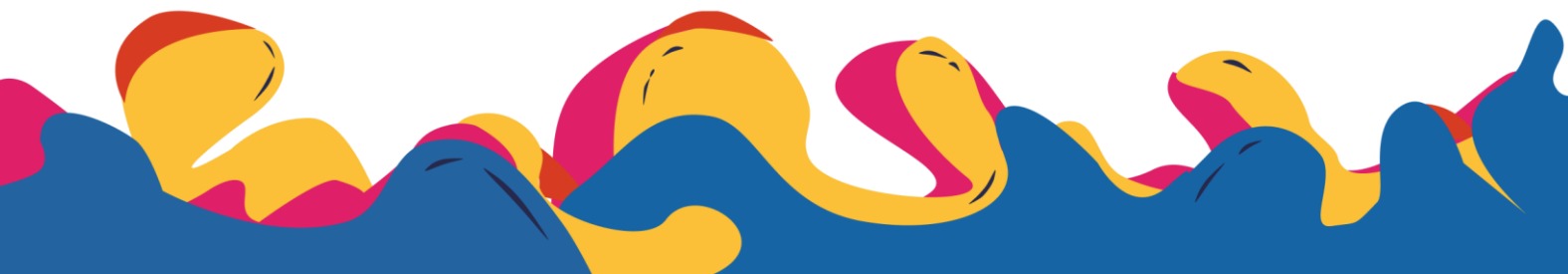
Observação: Professor(a), não esqueça de testar o sistema antes para avaliar se as plantas escolhidas auxiliam ou não no processo e a quantidade e tipo de corante. Lembre-se que o LAFIPE está aqui e disposto para te ajudar também! Entre em contato pelo Instagram: @lafipe_ufpr

Hora de Testar seus Conhecimentos!

Agora que você conhece todos os segredos das Heroínas MARA, que tal um desafio?

Atividade 1: Caça-Palavras das Super-Plantas

A) Responda às dicas e descubra as palavras que estão escondidas no caça-palavras.



Remédio usado para matar bactérias_____.

Microrganismo que pode causar doenças_____.

Plantas aquáticas usadas para limpar a água_____.

Líquido que pode ficar sujo com antibióticos_____.

Nome do sistema que usa plantas para limpar a água_____.

Quando as bactérias não morrem mais com o remédio_____.

Nome dado às plantas que viraram personagens com superpoderes_____.

Área do saber que estuda como melhorar o mundo_____.

Algo que pode ser prejudicado se a água estiver contaminada_____.

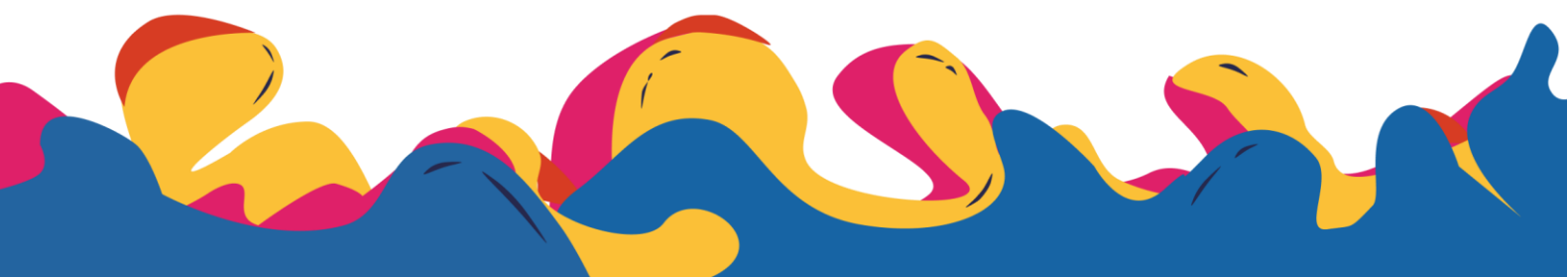
Ação de tirar algo do lugar — como antibióticos da água_____.

Lugar onde se usam muitos antibióticos_____.

*As palavras deste caça-palavras estão escondidas na horizontal, vertical e diagonal, sem palavras ao contrário.



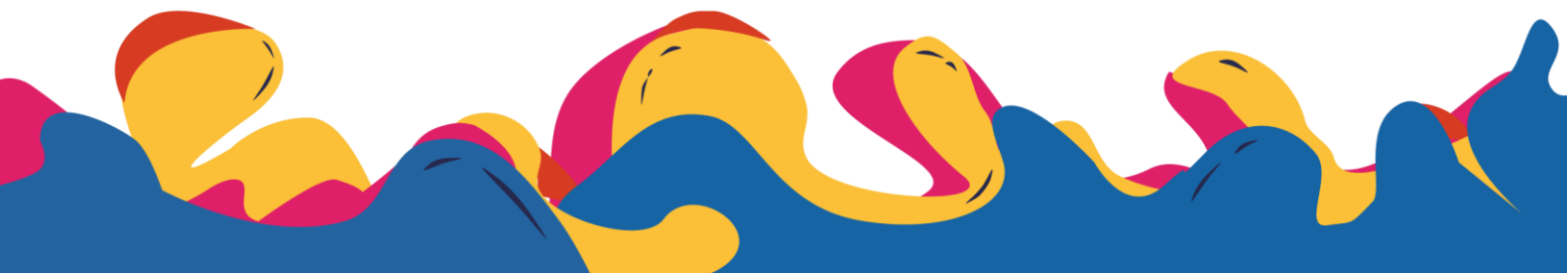
G O U T E D R E M A R A
C N P N E W O P T E E R
A L Á S O E A F S G N E
M S G H O S P I T A L M
H H U G M E S N S P E O
E E A R A T U A E G O Ç
R T E R Ê F H A Ú S G Ã
Ó U T N L N R T H D S O
I A C I Ê N C I A E E A
N I M A C R Ó F I T A S
A N T I B I Ó T I C O N
S A S R B A C T É R I A

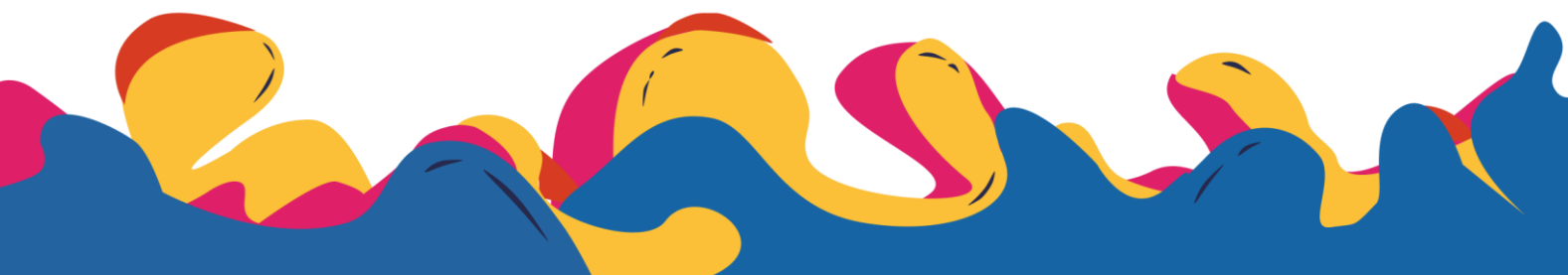
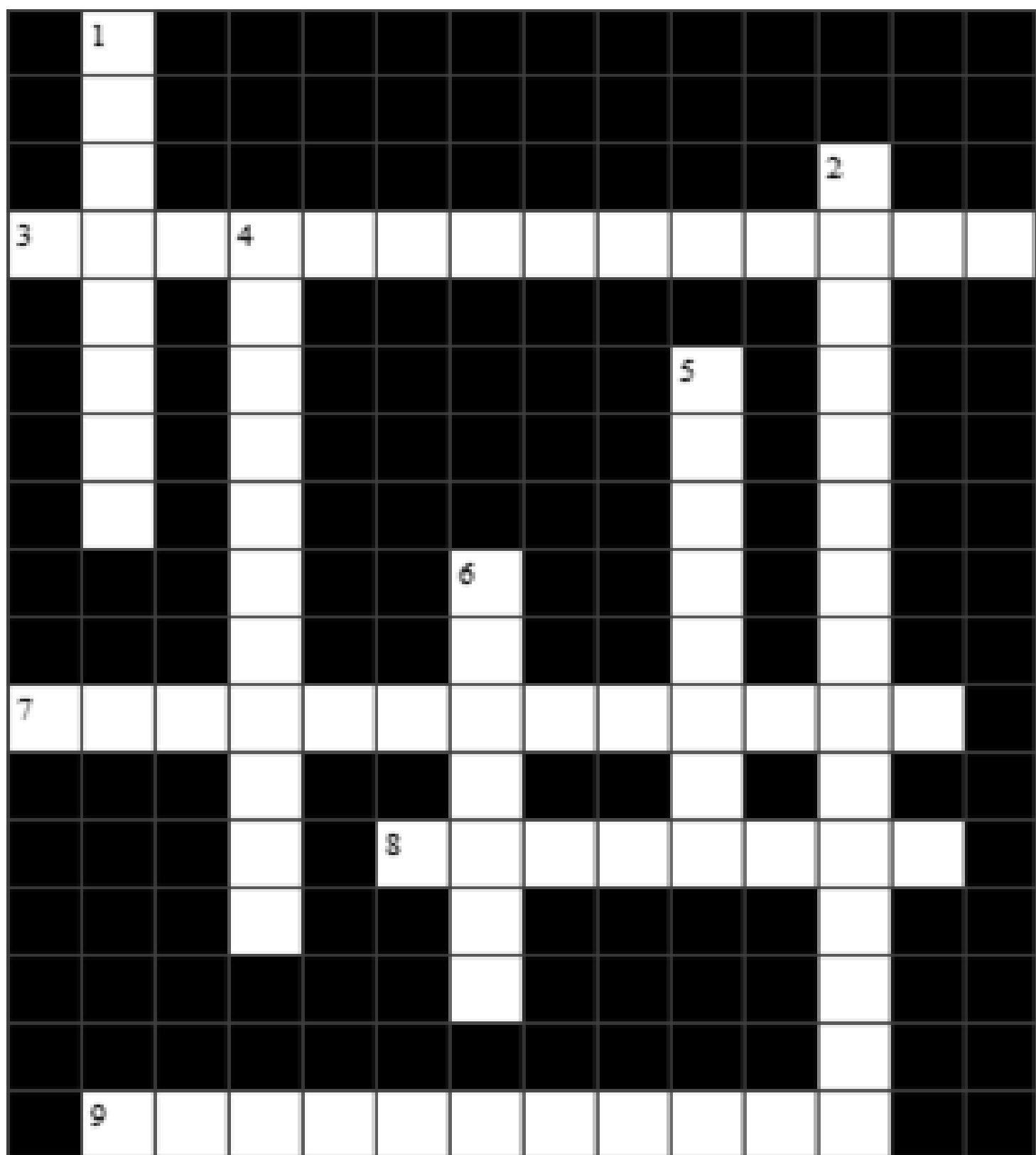


Atividade 2: Cruzadinha da Fitorremediação

A) Responda às dicas e preencha a cruzadinha.

- 1** Água descartada após uso doméstico, hospitalar ou industrial, que pode conter antibióticos
- 2** Técnica ambiental que utiliza plantas para limpar solos e águas contaminadas, removendo contaminantes de forma natural
- 3** Tipo de bactéria que se tornou resistente a muitos antibióticos, sendo difícil de combater
- 4** Comunidade de organismos em conjunto com seu ambiente físico
- 5** Espaço natural ou modificado onde vivem plantas, animais e humanos, e que precisa ser preservado
- 6** Atitude de proteger o meio ambiente e a saúde por meio de ações responsáveis
- 7** Substâncias nocivas que podem estar presentes na água e causar riscos à saúde e ao ambiente
- 8** Situação em que uma doença se espalha por muitos países (ex. COVID)
- 9** Remédio que combate bactérias, mas pode causar problemas quando usado em excesso





Quando usamos antibióticos demais, algumas bactérias conseguem se tornar mais fortes e param de morrer com esses remédios. Isso pode fazer com que doenças fiquem mais difíceis de tratar no futuro.

- **Como os antibióticos vão parar nos ambientes naturais?**

Depois que tomamos antibióticos, parte deles sai pelo xixi e cocô. Como as estações de tratamento de esgoto não conseguem remover tudo, esses remédios acabam indo parar nos rios, lagos e solos.

- **Que tipo de planta ajuda a limpar a água no sistema MARA?**

O sistema MARA usa plantas aquáticas, chamadas macrófitas. Elas vivem dentro da água e conseguem absorver ou degradar os antibióticos e outros contaminantes, ajudando a deixar a água mais limpa.

- **Por que o nome "Heroínas MARA" é importante?**

Porque essas plantas são tratadas como heroínas, já que ajudam a combater um problema muito sério. E o nome também homenageia as mulheres que fazem ciência e cuidam da natureza.

- **O que é resistência antimicrobiana?**

É o fato dos remédios pararem de funcionar porque as bactérias ficaram fortes demais. Isso acontece quando usamos antibióticos sem necessidade ou em excesso.

- **Como a ciência pode ajudar a proteger os rios?**

A ciência cria soluções como o sistema MARA, que usa plantas para limpar a água suja. Assim, conseguimos cuidar melhor dos rios e proteger a saúde de todos.

- **Por que cuidar da água é importante para a saúde?**

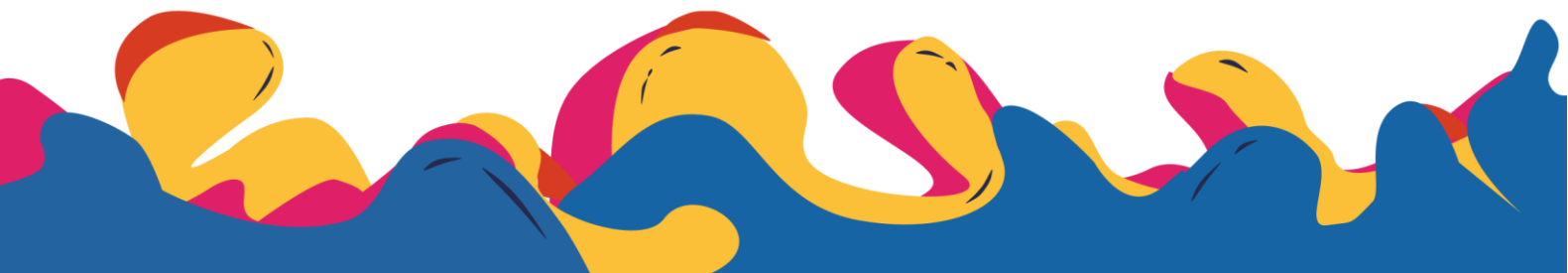
Porque usamos a água para beber, tomar banho e preparar alimentos. Se a água estiver suja ou com remédios, isso pode deixar as pessoas e os animais doentes.

- **O que o projeto MARA faz com a ajuda das plantas?**

Ele usa as plantas para limpar a água contaminada, diminuindo a quantidade de antibióticos, bactérias resistentes e outros poluentes.

- **Onde o projeto Heroínas MARA já foi apresentado?**

O projeto faz parte de uma colaboração com a SANEPAR e já foi mostrado em escolas, feiras, viveiros e cursos de extensão, onde estudantes e o público podem aprender sobre como a natureza pode ajudar a cuidar da saúde e do meio ambiente. Ademais, existe a possibilidade do uso desse sistema em larga escala.



PLÁSTICOS: O ANTROPOCENO

Bruna Franciscon de Oliveira¹, Maria Leticia Batista Galvão Lopes¹, Diego Dias Sudul¹, Samuel Martins de Assis², Rafael Germano da Silva², Luís Fernando Fávaro^{1, 3}

¹Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Paraná

²Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná

³Departamento de Biologia Celular, Universidade Federal do Paraná



Laboratório de Biologia de Peixes e Contaminação Ambiental - LBPCA

Coordenação: Dr Luís Fernando Fávaro

<https://sites.google.com/view/biodepeixescontamb-ufpr/home>

O **LBPCA** realiza pesquisa científica em ambientes aquáticos, dulcícolas (água doce) e marinhos. Os estudos realizados em ambientes dulcícolas ocorrem em rios, lagos, reservatórios de abastecimento e de geração de energia (hidrelétricas). Nos ambientes marinhos, em sua maioria, os estudos são realizados em estuários, que são ambientes de transição entre o ambiente dulcícola (continental) e o ambiente marinho.

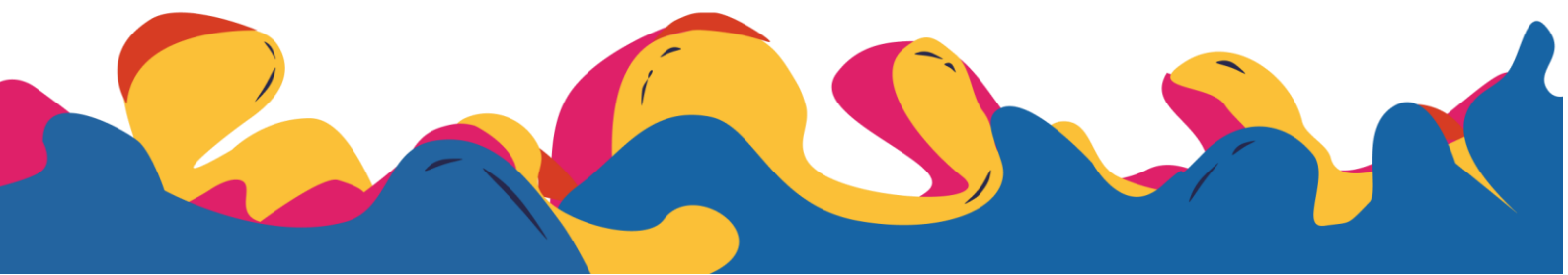
O objetivo inicial das atividades desenvolvidas pelo LBPCA foi pesquisar aspectos da biologia de peixes em ambientes naturais, principalmente focando em estudos de reprodução de peixes e suas relações com os fatores ambientais e com as atividades realizadas pelo homem (ação antrópica). Com o passar do tempo verificamos que os problemas ambientais aumentavam e que os ecossistemas aquáticos estavam se tornando contaminados e, colocando em risco os organismos aquáticos. Iniciamos os estudos de contaminação ambiental com foco na contaminação por plásticos, utilizando os peixes como indicadores biológicos. Entretanto, em colaboração com outros



pesquisadores, nossas pesquisas também investigam outros tipos de contaminantes, como os metais pesados.

Assim, hoje o LBPCA atua desenvolvendo pesquisa com a biologia de peixes e também com a contaminação ambiental. Os resultados dos nossos estudos permitem: 1- compreender melhor o ambiente, 2- entender como explorar os recursos pesqueiros sem colocar as espécies em risco de extinção, 3- fornecer informações que permitem instalar, ou não, grandes empreendimentos, como hidrelétricas, fábricas, estradas, portos, ou qualquer outro grande empreendimento, 4- fornecer relatos sobre a contaminação do ambiente aquático e dos organismos.

Os integrantes do laboratório são alunos de Pós-Graduação (mestrado e doutorado) e também alunos de Graduação do curso de Biologia. Ainda é importante relatar que vários pesquisadores, da UFPR e de outras Instituições Nacionais e Internacionais, colaboram com as nossas pesquisas.



PLÁSTICOS

O ANTROPOCENO

Antropoceno é a era geológica do plástico! A enorme produção de materiais plásticos que não se degradam no ambiente e o descarte incorreto faz com que encontremos plástico em todos os ambientes, inclusive nos corpos dos animais e dos humanos!!

RESÍDUOS PLÁSTICOS já representam 85% do total do lixo nos OCEANOS.

BRASIL:

4º MAIOR PRODUTOR DE LIXO
PLÁSTICO DO MUNDO



11,3 MILHÕES DE TONELADAS/ANO.

QUANTOS PLÁSTICOS VOCÊ ENCONTRA NESTA PRAIA?



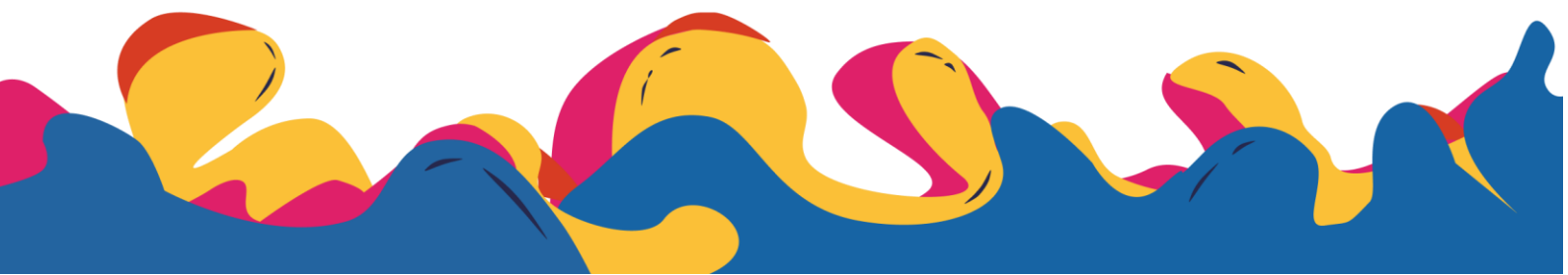
Essa foto é resultado de meia hora de catação em uma praia!
QUAIS PLÁSTICOS VOCÊ RECONHECE?



O LIXO DA SUA CIDADE TAMBÉM CHEGA AO MAR.

RESÍDUOS PLÁSTICOS
SÃO PERIGOSOS!!!

Microrganismos (como vírus e bactérias), além de outros contaminantes (como agrotóxicos e metais pesados) podem se aderir aos plásticos e atingir a população humana.



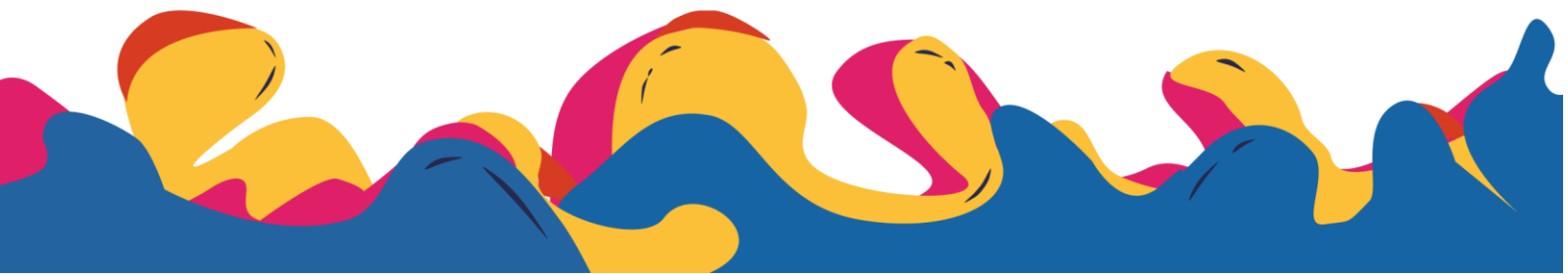
A contaminação dos ambientes por plásticos

De acordo com a Organização das Nações Unidas, o número de habitantes no planeta alcançou a marca de 8 bilhões em novembro de 2022 (ONU, 2022). O aumento da população também contribuiu para um aumento do consumo e, conseqüentemente, ocorreu o aumento na produção de lixo e na poluição ambiental, com efeitos negativos nos ambientes terrestres e aquáticos, afetando inclusive as atividades e a saúde humana.

O lixo é uma das principais ameaças aos ambientes aquáticos e gera impactos negativos em diversas áreas da sociedade, como na economia, na navegação, na política-social e na saúde pública. O lixo é formado por resíduos de diferentes materiais, incluindo madeiras, metais, papéis, plásticos, tecidos e vidros. Cerca de 12 milhões de toneladas de lixo alcançam os oceanos diariamente, sendo os materiais plásticos a grande maioria destes resíduos (JAMBECK *et al.*, 2015).

A produção de plástico cresce anualmente e foi impulsionada pelo aumento populacional que ocasionou um aumento do consumo, que reflete a variedade de uso deste material. Em 2023, mais de 400 milhões de toneladas de plástico foram produzidas no mundo e somente 9% de todo plástico produzido foi reciclado (WALKER & FEQUET, 2023). Assim, anualmente, ocorre um aumento na quantidade de resíduos plásticos que se acumulam nos ambientes. Por isso, a poluição por plásticos se tornou um tema importante na conservação ambiental.

Mas, o que torna o plástico tão prejudicial ao ambiente? Principalmente a alta durabilidade, o uso inadequado e o descarte incorreto. Apenas uma pequena parcela dos plásticos utilizados é reciclada. Os plásticos são derivados do petróleo, mas na produção desses materiais são utilizados compostos químicos nocivos à saúde dos organismos e dos ambientes. No ambiente, os plásticos de maiores tamanhos são fragmentados pela ação da luz, calor, atrito ou ação de compostos químicos, resultando em pequenas partículas, denominadas microplásticos. Os microplásticos são caracterizados como partículas com dimensões inferiores a 5 mm. Essas partículas não são retidas nos filtros



dos sistemas de esgoto, causando assim uma contaminação ainda mais perigosa nos ambientes aquáticos. Os microplásticos, apesar do peso e tamanho reduzidos, permanecem temporariamente nas superfícies dos ambientes aquáticos, se depositando e se acumulando junto ao sedimento. No substrato dos ecossistemas aquáticos, tanto em ambientes de água doce ou estuarino-marinhos, os microplásticos representam 99% das partículas encontradas (KANE et al., 2020).

MUITOS PLÁSTICOS NO AMBIENTE AQUÁTICO SÃO TRANSPARENTES OU SEMELHANTES AO ALIMENTO DE ALGUNS ANIMAIS. UM EM CADA DEZ ANIMAIS QUE INGERE PLÁSTICO ACABA MORRENDO!



COLOQUE OS 3RS NA SUA VIDA:
REDUZA
RECICLE REUTILIZE

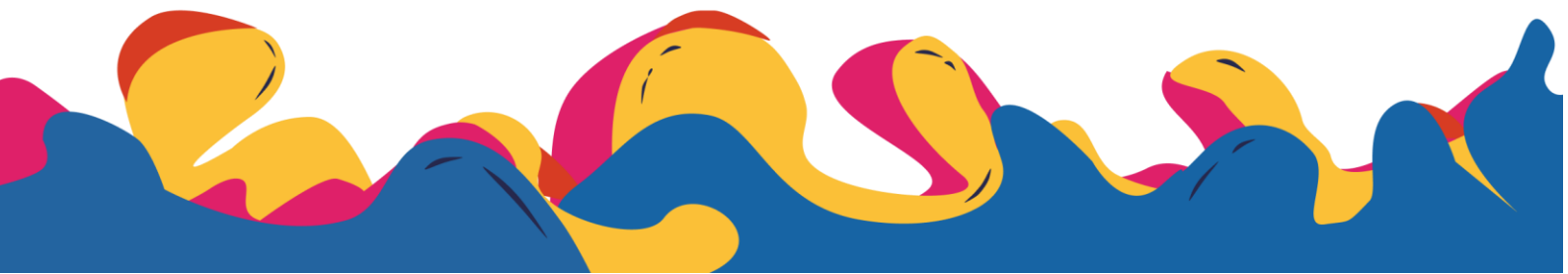


Outro problema relacionado aos microplásticos é que estas pequenas partículas podem transportar outros poluentes e, assim, aumentar a capacidade de contaminação em diferentes organismos, incluindo o homem. Os microplásticos podem transportar poluentes orgânicos (como os pesticidas encontrados em agrotóxicos), inorgânicos (metais pesados como o cobre, chumbo e mercúrio), além de microrganismos. Devido ao seu tamanho reduzido e ampla dispersão no ambiente, essas partículas são facilmente ingeridas por organismos de diferentes níveis tróficos. Os resíduos plásticos de pequenas dimensões já foram observados contaminando inúmeras espécies de invertebrados, como copépodes, crustáceos, moluscos e equinodermos, até vertebrados incluindo humanos. Assim, a ingestão e a transferência do material plástico ao longo da cadeia trófica desencadeiam efeitos ecotoxicológicos em diferentes organismos aquáticos, apresentando riscos na saúde dos seres humanos, por meio do consumo de organismos contaminados (NAIK *et al.*, 2019).

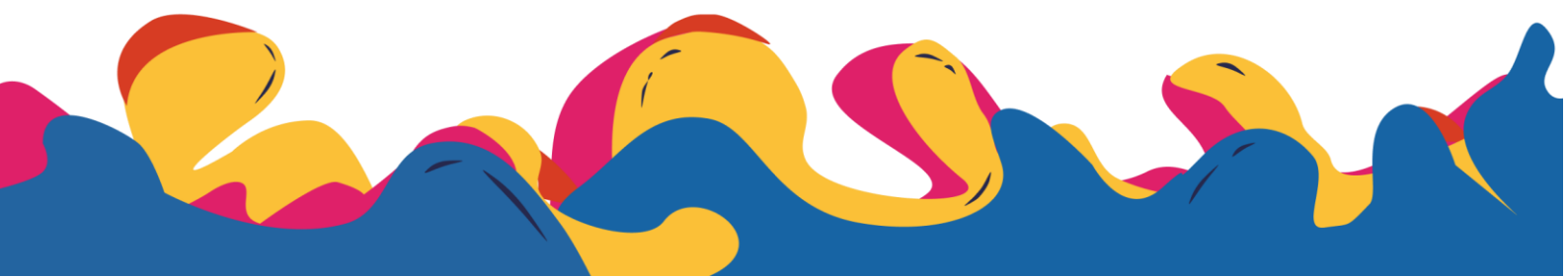
Globalmente, recursos pesqueiros são utilizados como fonte proteica e de outros nutrientes. A aquicultura vem desempenhando um papel importante na produção destes recursos alimentares. Em 2020, a produção global de animais aquáticos foi estimada em 178 milhões de toneladas, sendo 51% provenientes da pesca e 49% da aquicultura. Do total produzido, 63% ocorreu em águas marinhas e 36% em ambientes de água doce (FAO, 2022). Apesar dos recursos pesqueiros servirem como fonte nutricional para a população humana, não devemos desconsiderar a contaminação ambiental por resíduos plásticos. A ocorrência de microplásticos foi registrada em todos os continentes do planeta, inclusive em áreas consideradas isoladas e inóspitas.

Referências

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Rome: FAO.
- Jambeck, J. R. et al., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, pp. 768–771.



- Kane, I. A. et al., 2020. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science*, 368, pp. 1140–1145.
- Naik, R. K., Naik, M. M., D'Costa, P. M. & Shaikh, F., 2019. Microplastics in ballast water as an emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: a potential risk to the marine environment and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 149.
- ONU – United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO.3.
- Walker, T. R. & Fequet, L., 2023. Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution. *Trends in Analytical Chemistry*, 160, p.116984. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984>



PLÁSTICOS

O ANTROPOCENO



O Diego Saldanha construiu essa ecobarreira no Rio Atuba que passa atrás da casa dele em Colombo. A primeira barreira construída em 2017 era bem simples e foi se aprimorando. Hoje ele coleta 200 a 300 kg de lixo todos os meses!

Curitiba consome cerca de 4,5 bilhões de itens plásticos descartáveis por ano. Levados pelos rios e ventos, a partir de fontes terrestres, eles acabam chegando no mar. "Lara Iwanicki. Oceana, 2021"

Com os programas de destino correto do lixo, 22,5% dos resíduos são reciclados em Curitiba. "Prefeitura Municipal de Curitiba, 2024"

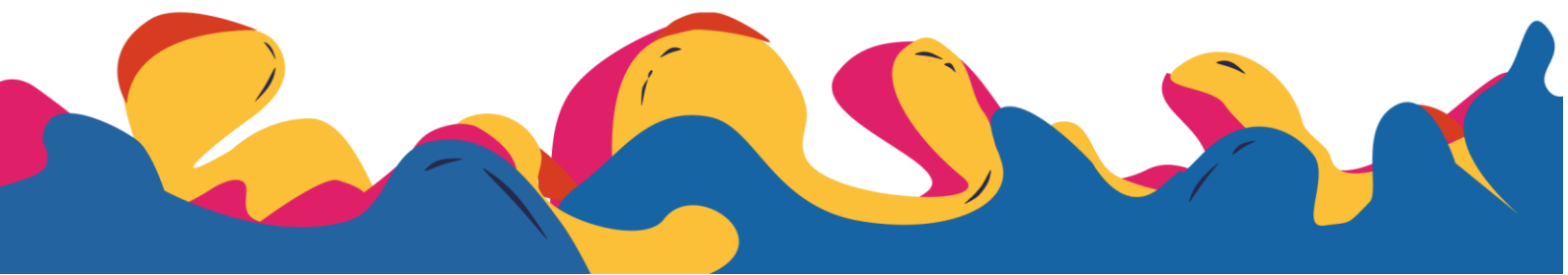
Três milhões de toneladas são de plásticos de uso único colocados no mercado brasileiro, como embalagens e produtos descartáveis (copos, talheres e sacolas plásticas). Esse total equivale a aproximadamente 500 bilhões de itens por ano, ou 15 mil itens por segundo. <https://brasil.oceana.org>

MICROPLÁSTICOS

Plásticos não se decompõem facilmente na natureza, mas vão se quebrando aos poucos até tornarem-se fiapos ou pedacinhos tão pequenos que são capazes de atravessar a parede do intestino e estabelecer-se em diferentes tecidos animais.

No Laboratório de Biologia de Peixes e Contaminação Ambiental estudamos os efeitos dos microplásticos nos peixes que vivem nos estuários e no litoral do Paraná.

QUE OUTROS PRODUTOS VOCÊ TOPA SUBSTITUIR?



ESTUÁRIOS: ONDE O RIO ENCONTRA O MAR

Gustavo dos Santos Cardoso¹, Elisa Gomes Pinheiro Kiipper², Gabriel Paes Rodrigues²
Maria Julia de Lima Nunes², Andre Andrian Padial^{1,3}

¹ Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Paraná

² Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná

³ Departamento de Botânica, Universidade Federal do Paraná



**LABORATÓRIO DE ANÁLISE E
SÍNTESE EM BIODIVERSIDADE**

**Laboratório de Análise e Síntese da
Biodiversidade (LASB)**

Coordenação: André Andrian Padial

Entre as linhas de pesquisa do **LASB** destacam-se estudos sobre a ecologia e a conservação de estuários, com foco nos impactos de espécies invasoras sobre a vegetação aquática. Um exemplo é o trabalho desenvolvido no Rio Guaraguaçu, no litoral do Paraná, um dos mais preservados da região sul, que abriga extensos manguezais e alta diversidade de espécies. Um dos trabalhos do LASB é investigar como a braquiária afeta a composição e o funcionamento das comunidades vegetais aquáticas, e quais são as implicações dessa invasão para a biodiversidade e para as contribuições da natureza para as pessoas fornecidas por este ecossistema.

Além da pesquisa, o laboratório atua em ações de educação ambiental, levando informação e conscientização para escolas, comunidades e visitantes, reforçando a ideia de que conhecer é o primeiro passo para preservar. Isto é feito dentro de um projeto de extensão, intitulado "Ecologia Aquática para Todos: Popularização Científica em Escolas e



Apoio Técnico a Tomadores de Decisão em Bacias Hidrográficas" (Registro UFPR PEX-00053100).



Os estuários

Você já ouviu falar em estuário? Imagine um lugar onde um rio e o mar se encontram. É como um grande abraço entre a água doce que vem das nascentes e corre pelo continente, e a água salgada que viaja pelas marés vindas do oceano. Esse encontro não é apenas bonito: ele cria um ambiente único, com características próprias e repleto de vida, funcionando como um dos ecossistemas mais produtivos do planeta (Day et al., 2012). Cientificamente, os estuários são definidos como zonas de transição entre ambientes fluviais e marinhos, caracterizadas pela mistura das águas doce e salgada e pela influência diária das marés (Elliott e Whitfield, 2011). Essa interação resulta em variações de salinidade, temperatura e concentração de nutrientes, que podem mudar não apenas ao longo do dia, mas também de acordo com as estações do ano.

Esses ambientes apresentam uma diversidade de formas e tamanhos. Existem estuários costeiros protegidos por barreiras naturais, como ilhas e recifes, que oferecem abrigo contra a força das ondas oceânicas; lagoas costeiras que se conectam ao mar; e desembocaduras de rios ladeadas por extensos manguezais, típicas das regiões tropicais e subtropicais (Barbier et al., 2011). No Brasil, com uma costa de mais de 8,5 mil quilômetros, os estuários são comuns e abrigam uma impressionante variedade de habitats, incluindo cerca de 1,3 milhão de hectares de manguezais (Giri et al., 2011), representando aproximadamente 8% do total mundial.

A biodiversidade dos estuários é impressionante e está diretamente ligada à sua alta produtividade. A mistura de águas e o constante aporte de nutrientes favorecem a existência de comunidades biológicas complexas e diversificadas. Nas áreas de manguezal, encontramos árvores adaptadas ao ambiente salobro, como o mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*), o mangue-branco (*Laguncularia racemosa*) e o mangue-preto (*Avicennia schaueriana*). Seus trocos do tipo escora e as raízes aéreas superficiais ajudam a fixar o solo, reduzir a erosão e criar refúgio para inúmeras espécies. Entre os animais, os estuários abrigam peixes que utilizam esses ambientes como berçário, como



por exemplo as tainhas (*Mugil spp.*), robalos (*Centropomus spp.*) e linguados, além de camarões, siris e o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), que tem papel fundamental na ciclagem de nutrientes no sedimento (Nordhaus et al., 2006).



As aves também estão presentes em grande número, desde garças e colhereiros até aves migratórias que percorrem milhares de quilômetros e encontram nos estuários um local seguro para se alimentar e descansar (Lourenço et al., 2017). Em algumas regiões, até mamíferos aquáticos como o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) fazem parte desse rico mosaico de vida.

Além da biodiversidade, os estuários fornecem Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP) essenciais. Essas contribuições incluem a proteção costeira contra tempestades e ressacas; a estabilização e o controle da erosão do solo; a filtragem e retenção de sedimentos e poluentes, melhorando a qualidade da água; o armazenamento de carbono nos solos e sedimentos, fundamental para a regulação do clima (Donato et al., 2011); e o suporte a cadeias alimentares que sustentam pescarias artesanais e industriais. No Brasil, estima-se que cerca de 70% das espécies pesqueiras de interesse comercial dependem de áreas estuarinas em algum momento do seu ciclo de vida (Barletta et al., 2010). Culturalmente, os estuários também são fonte de identidade e de sustento para comunidades tradicionais, como pescadores artesanais e marisqueiras, além de possuírem importância recreativa e turística.

Apesar de toda essa relevância, os estuários estão entre os ecossistemas mais ameaçados do mundo (Elliott et al., 2019). Entre as principais pressões antrópicas estão a poluição por esgoto doméstico, resíduos industriais e agrotóxicos, que comprometem a qualidade da água e afetam diretamente a vida aquática, o desmatamento e a supressão de vegetação nativa para a construção de portos, empreendimentos turísticos e áreas urbanas, e a alteração da circulação hídrica por dragagens e aterros, que modifica processos sedimentares e afeta habitats críticos. Espécies exóticas invasoras, como a braquiária (*Urochloa* spp.), competem com a vegetação nativa e podem alterar o equilíbrio ecológico de forma profunda. A essas ameaças se somam os efeitos das mudanças climáticas, como a elevação do nível do mar e as mudanças no regime de chuvas, que tendem a agravar problemas já existentes.



A conservação dos estuários exige conhecimento aprofundado, monitoramento contínuo e participação social. O acompanhamento de parâmetros ambientais, como salinidade, oxigênio dissolvido, nutrientes e contaminantes, aliado ao mapeamento da cobertura vegetal e ao registro da fauna, permite detectar mudanças e agir preventivamente.

Mas a ciência sozinha não é suficiente: é fundamental incluir no processo de gestão as comunidades que vivem próximas a esses ambientes. O conhecimento tradicional acumulado por pescadores, marisqueiras e ribeirinhos é valioso e complementa a visão científica, fortalecendo estratégias de conservação.

Preservar os estuários significa manter vivas as conexões entre rios, mares e pessoas. Significa garantir alimento, proteção e equilíbrio ecológico para as próximas gerações. Conhecer esses ambientes é o primeiro passo; cuidar deles, o segundo. E ambos só serão possíveis se ciência, comunidades e poder público caminharem juntos, reconhecendo que o futuro da vida costeira e marinha também depende da saúde dos nossos estuários.

Referências

- Barbier, E. B. et al., 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), pp. 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Barletta, M. et al., 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, 76(9), pp. 2118–2176. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02684.x>
- Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M. & Yáñez-Arancibia, A., 2012. *Estuarine ecology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell.
- Donato, D. C. et al., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), pp. 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Elliott, M. & Whitfield, A. K., 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94(4), pp. 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.016>



- Elliott, M., Burdon, D., Hemingway, K. L. & Apitz, S. E., 2019. Estuarine and coastal ecosystem services and the hazard-risk-benefit continuum. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 230, p. 106419. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106419>
- Giri, C. et al., 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), pp.154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Lourenço, P. M. et al., 2011. Repeatable timing of northward departure, arrival and breeding in black-tailed godwits *Limosa l. limosa*, but no domino effects. *Journal of Ornithology*, 152, pp. 1023–1032. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0692-3>
- Nordhaus, I., Wolff, M. & Diele, K., 2006. Litter processing and population food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in North Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(3), pp. 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.022>



ESTUÁRIOS

ONDE O RIO ENCONTRA O MAR



Que organismos
você colocaria nos
pontos indicados?



PEIXES: DIFERENTES FORMAS DE SER UM PEIXE!

Mayara Pereira Neves^{1,2}, Ana Paula Freire dos Santos², Gabryel Willian
Leandro¹

Ingrid Lavínia Malosti Vieira¹, João Mateus Zepson Capucho¹, Mycaela
Machado Nobre¹

Pietro Fagundes Faucz¹, Vinícius Castro Burgo¹

¹ Ichthyolab – Laboratório de Ictiologia, Ecomorfologia e Evolução, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná

² Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná



Laboratório de Ictiologia, Ecomorfologia e Evolução (Ichthyolab)

Coordenadora: Mayara Pereira Neves

O **Ichthyolab** é dedicado ao estudo da diversidade, evolução e ecologia de peixes, com ênfase nos peixes de água doce do Brasil. Nossas pesquisas envolvem temas como:

- Morfologia funcional e formas corporais dos peixes
- Adaptações locomotoras e tróficas em diferentes ambientes aquáticos
- Diversidade e filogenia de grupos de peixes
- Biogeografia e conservação da ictiofauna neotropical

Utilizamos abordagens integradas, incluindo dissecação anatômica, tomografia computadorizada, morfometria geométrica e filogenia, com o objetivo de entender como a diversidade morfológica se relaciona com a ecologia e a evolução dos peixes.



Os peixes

Os peixes representam o grupo de vertebrados mais antigo e mais diverso do planeta. Com mais de **35 mil espécies descritas**, eles estão presentes em praticamente todos os ambientes aquáticos, de riachos e lagos a recifes de coral e zonas abissais (Pough e Janis, 2019).

Essa diversidade extraordinária se reflete em **inúmeras formas corporais e adaptações**. A forma do corpo de um peixe está diretamente relacionada ao seu modo de vida. Espécies alongadas, como a piramboia e o muçum, são adaptadas a ambientes com vegetação densa ou fundo lodoso. Peixes achatados, como o peixe-pescador, vivem em fundos marinhos ou escondidos no substrato. Já os baiacus, com seus corpos globosos e espinhosos, usam a defesa e a expansão corporal como estratégia contra predadores. Além disso, a morfologia dos peixes também revela muito sobre sua **forma de locomoção, dieta e comportamento**. Peixes de águas rápidas costumam ter corpos fusiformes e nadadeiras bem desenvolvidas, enquanto espécies de águas paradas ou aqueles associados ao fundo dos corpos de água apresentam formatos mais compactos ou serpentiformes (Facey et al., 2022).

Para tornar essa diversidade ainda mais visível, a exposição Expedição Caminhos da Água conta com **exemplares diafanizados** — peixes preparados por uma técnica que torna os tecidos transparentes, enquanto ossos e cartilagens são corados com corantes específicos. A diafanização permite observar de forma detalhada a estrutura interna dos animais, como o esqueleto, sem a necessidade de dissecação destrutiva (Taylor & Van Dyke, 1985). É uma ferramenta valiosa na pesquisa científica, mas também tem grande potencial educativo: ao ver um peixe diafanizado, o visitante pode perceber como os ossos se organizam, como funcionam as nadadeiras, ou como determinadas formas estão ligadas ao ambiente em que o peixe vive.

Nesta estação, convidamos o público a **explorar espécies preservadas** e interagir com os espécimes diafanizados, observando como a diversidade de formas reflete estratégias únicas de sobrevivência. Também destacamos como os peixes estão



relacionados a outros grupos de vertebrados, mostrando que a própria **história evolutiva dos seres humanos** passa por dentro d'água.

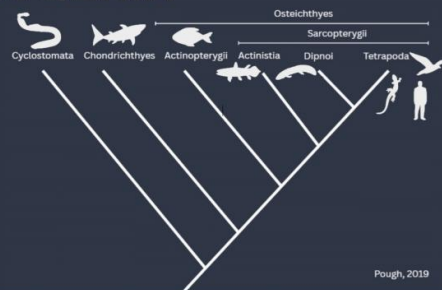
PEIXES

AFINAL, O QUE É UM PEIXE?

QUEM SÃO OS "PEIXES" ?

Peixe é um nome simples para um grupo incrivelmente diverso de vertebrados aquáticos. Mas... você sabia que nem todos os "peixes" são parentes próximos?

FILOGENIA



Pough, 2019

PRINCIPAIS LINHAGENS

Os peixes que existem hoje se dividem em três linhagens principais:

- **Cyclostomata:** sem mandíbulas (ex: lampreias)
- **Chondrichthyes:** esqueleto de cartilagem prismática (ex: tubarões, raias e quimeras)
- **Osteichthyes:** esqueleto ósseo (ex: tilápias, baiacus, piramboias)

Você é parente de alguns peixes!

Os primeiros tetrápodes (ancestrais de anfíbios, répteis, aves e mamíferos) evoluíram dentro do grupo de peixes com nadadeiras lobadas (os Sarcopterygii), como a piramboia (Dipnoi). Ou seja: você é mais aparentado da piramboia do que ela é de um tubarão!

ENTÃO... O QUE É "SER UM PEIXE"?

"Peixe" é um termo prático, mas não é um grupo natural (monofilético). Ele inclui animais com formas de vida semelhantes, mas com histórias evolutivas muito diferentes.

Mesmo assim, todos os peixes compartilham incríveis adaptações para viver na água — que você vai descobrir neste estande!



PEIXES

FORMAS DE SER PEIXE



DIVERSIDADE DOS PEIXES

Os peixes são o grupo de vertebrados mais diverso do planeta: existem mais de **35 mil espécies**, cada uma adaptada a um modo único de viver em água doce ou salgada.

CORPOS DIVERSOS, VIDAS DIVERSAS

Aqui, você vai descobrir como a **forma do corpo** — seja alongada como a piramboia, sinuosa como o muçum, achatada como o peixe-pescador ou globosa e espinhosa como o baiacu-de-espinho — reflete estratégias de alimentação, locomoção e sobrevivência em ambientes tão variados quanto recifes tropicais, rios de águas turvas, fundos abissais e as frias águas da Antártica.



MERGULHE NA DIVERSIDADE

Explore as espécies preservadas e as **gavetas supresas** para observar os diferentes “formatos” dos peixes. Prepare-se para mergulhar na incrível variedade de “formas de ser um peixe”!



SUGESTÃO DE ATIVIDADE PARA PROFESSORES

“Forma é função – decifrando o corpo dos peixes”

Objetivo: Compreender como o formato corporal dos peixes está relacionado aos seus modos de vida, habitats e estratégias ecológicas.

Público-alvo: Ensino Fundamental e Ensino Médio

Como fazer:

8. **Observação guiada:** Peça que os alunos observem os diferentes peixes expostos na Expedição Caminhos da Água (ou em imagens impressas, caso estejam em sala de aula). Incentive que prestem atenção na forma geral do corpo (alongado, achatado, globoso, fusiforme), posição da boca, nadadeiras e olhos.
9. **Classificação por forma:** Forneça fichas com categorias simples de formatos corporais (ex: fusiforme, serpentiforme, globoso, dorsoventralmente achatado) e peça que os alunos agrupem os peixes de acordo com essas formas.
10. **Discussão ecológica:** Para cada grupo morfológico, proponha que os alunos reflitam e discutam:
 - Onde esse peixe provavelmente vive? (ex: fundo do rio, meio da coluna d'água, entre pedras ou vegetação)
 - Como ele deve se locomover?
 - O que ele provavelmente come?
 - Que vantagens esse formato oferece em seu ambiente?
11. **Conexão com a ecologia:** Ao final, os alunos compartilham suas hipóteses, que podem ser comparadas com as informações dos painéis e explicações dos monitores da exposição. Isso permite reforçar o conceito de que a forma dos organismos reflete suas adaptações ecológicas.



Extensão na escola

Os alunos podem construir modelos simples (desenhos, dobraduras, massinha ou papelão) representando diferentes formatos corporais e escrever uma ficha ecológica imaginária para seu peixe: onde vive, como se locomove, como se alimenta e como evita predadores. Depois os modelos podem ser decorados na aula de artes.

Referências

- Facey, D. E., Bowen, B. W., Collette, B. B. & Helfman, G. S., 2022. *The diversity of fishes: biology, evolution and ecology*. John Wiley & Sons.
- Pough, F. H. & Janis, C. M., 2019. *Vertebrate Life*. Sinauer.
- Taylor, W. R. & Van Dyke, G. C., 1985. Revised procedures for staining and clearing small fishes and other vertebrates for bone and cartilage study. *Cybium*, 9, pp. 107–119.



FORAMINÍFEROS

Sibelle Trevisan Disaró^{1,2}; Tabata D'Maiella Freitas Klimeck^{1,2};
Joice Dissenha^{1,2}; Giovana Fagundes França^{1,3}

¹Laboratório de Foraminíferos e Micropaleontologia Ambiental (LaFMA) - Museu de Ciências Naturais, Setor de Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná

²Programa de Pós-graduação em Zoologia - Universidade Federal do Paraná

³Bacharelado em Ciências Biológicas - Universidade Estadual do Paraná - Campus Paranaguá



**Laboratório de Foraminíferos e
Micropaleontologia Ambiental (LaFMA)**
Coordenação: Sibelle Trevisan Disaró

O **LaFMA** teve seu início em 1991 no Centro de Estudos do Mar da UFPR, em Pontal do Paraná, mas desde 2015 passou a realizar atividades em Curitiba, para onde mudou-se definitivamente em 2018, passando a fazer parte do Museu de Ciências Naturais - Setor de Ciências Biológicas da UFPR.

No LaFMA estudamos prioritariamente os foraminíferos vivos e seus fósseis da **Era Cenozoica**¹. Também estudamos foraminíferos mais antigos, do Mesozoico e Paleozoico, além de outros **microfósseis**², para compreender melhor os ambientes

¹ A Era Cenozoica é a era geológica atual, iniciada há cerca de 66 milhões de anos.

² Microfósseis são fósseis de organismos unicelulares ou multicelulares muito pequenos ($\approx 0,001$ mm até 1 cm), ou partes microscópicas de organismos maiores como dentes, ossículos, espículas, carapaças etc., que necessitam de magnificação, ou seja, aumento, para serem estudados. A magnificação pode ser obtida através de lupas, microscópios ópticos ou microscópios eletrônicos.



pretéritos, especialmente mudanças climáticas e do nível do mar durante o **Quaternário**³. Atuamos em pesquisa básica, intimamente voltada ao ensino de graduação e pós-graduação, e realizamos pesquisa aplicada e extensão universitária. Desde 2015 utilizamos material excedente dos projetos de pesquisa para produzir material didático para escolas de nível médio e superior. Também colaboramos para (re)utilizar outros materiais relacionados à natureza que podem colaborar na formação discente e de cidadãos que têm curiosidade por distintos aspectos da história natural.

Inicialmente as atividades do LaFMA eram voltadas ao estudo dos foraminíferos vivos do Complexo Estuarino Baía de Paranaguá e de foraminíferos dos depósitos holocênicos e pleistocênicos formados na região costeira paranaense, além de microfósseis paleozoicos do Paraná e Santa Catarina. Micropaleontologia é uma especialização dentro da Paleontologia, voltada ao estudo dos microfósseis. Os microfósseis são essenciais para reconhecer ambientes antigos e proporcionam dados importantes para a sua reconstituição.

Com o passar do tempo, conhecendo melhor a biologia dos foraminíferos, passamos a atuar na caracterização de bacias sedimentares marginais brasileiras com base em foraminíferos. Desta forma, fizemos a caracterização integral da Bacia Potiguar, da plataforma continental da Bacia de Campos e da plataforma continental e platô de São Paulo, na Bacia de Santos. Além do conhecimento sobre os foraminíferos auxiliar muito na compreensão dos ambientes marinhos, o conhecimento adquirido no estudo destas bacias sedimentares marginais também enriqueceu muito nossos conhecimentos sobre a sedimentação marinha, as formas de transporte e deposição sedimentar e o conhecimento sobre a circulação oceânica na margem continental brasileira.

³ Quaternário é o período geológico atual que começou há cerca de 2,6 milhões de anos e continua até hoje. Neste período houve mudanças climáticas drásticas, incluindo eras glaciais e interglaciais, e marca o aparecimento dos humanos modernos, o *Homo sapiens*, que surgiu há cerca de 200 mil anos.



Atualmente nos dedicamos ao ensino e ao estudo sobre ecologia e taxonomia de foraminíferos. Também aprofundamos nossas atividades de extensão, para oferecer informação de qualidade a estudantes do ensino fundamental de escolas públicas e privadas, a leigos e também colaboramos nos estudos de discentes e docentes de graduação e pós-graduação que estão envolvidos nas áreas de atuação do LaFMA. Acreditamos que a real missão das universidades é colaborar na formação técnico-científica do cidadão, mas também na sua formação sociocultural. Acessando informação de qualidade e com o incentivo à visão crítica, todos poderemos atuar melhor e desenvolver uma sociedade mais justa e equânime.

Material de extensão produzido pelo LaFMA

O livro de extensão **“Foraminíferos: uma célula com muita história para contar”** conta um pouco da história de quando os foraminíferos foram observados e documentados pela primeira vez. Este livreto foi desenvolvido para tornar a abordagem sobre seres unicelulares no ensino básico mais motivadora e interessante. Comumente os Protistas são vistos como seres patogênicos, trazendo a ideia de que esses organismos são prejudiciais aos humanos e a outros animais. Entretanto, a maior parte deles compõe a base da cadeia alimentar de vários organismos uni e multicelulares. Eles também contribuem significativamente para a reciclagem de nutrientes orgânicos e inorgânicos, auxiliando na manutenção e no equilíbrio dos ecossistemas. Por serem majoritariamente microscópicos, nem sempre é possível visualizá-los sem equipamentos adequados, ocasionando um distanciamento entre o aluno e o objeto de estudo. Devido à diversidade de formas e beleza de muitas de suas carapaças, os foraminíferos podem ser uma importante ferramenta para despertar o interesse pelos seres unicelulares.

Esperamos que este livreto aproxime os leitores do fascinante mundo microscópico, oferecendo informações que poderão ser utilizadas nas disciplinas de Ciências, Zoologia, Geociências, Paleontologia, entre outras. Acreditamos que os foraminíferos tenham



potencial para serem utilizados como material didático, estimulando a curiosidade de estudantes do ensino básico, superior e também da comunidade não acadêmica.

Além do conteúdo teórico, o material oferece sugestões didáticas, imagens ampliadas e indicações de sites para consulta. A proposta é facilitar o uso dos foraminíferos como recurso pedagógico, promovendo o engajamento dos alunos com o mundo microscópico de forma criativa e contextualizada.

Disaró, S.T.; Carvalho-Santa Rosa, L.; Dissenha-Gonçalves, J.; Forcelini, H. D.; Ribas, E.R. 2024. **Foraminíferos: uma célula com muita história para contar**. 1. ed. São Bernardo do Campo: SC Editorial, 2024. 17p.



Link: [Livreto_foraminíferos DIGITAL.pdf](#)

Também há um encarte que discorre sobre as lâminas do kit didático que fornecemos aos professores.

Link: [Suplemento-frente-e-verso DIGITAL.pdf](#)

Os foraminíferos

Foraminíferos são pequeninos organismos unicelulares do filo Foraminifera, grupo Rhizaria (infra-reino). Eles são amplamente distribuídos em ambientes aquáticos, majoritariamente marinhos, mas também ocupam ambientes terrestres. Distribuem-se por todos os oceanos e mares, em pequenas e grandes profundidades.

Foraminíferos podem ter uma estrutura externa, chamada de testa, teca ou carapaça que pode apresentar grande variedade de formas e tamanhos, e ter constituição orgânica, carbonática ou aglutinante (com partículas exógenas presentes no ambiente), mas já alguns que não têm carapaça. Têm pseudópodes do tipo **granuloreticulópodo** que também podem ser denominados reticulópodos ou reticulopódios - finas projeções citoplasmáticas que se fundem formando uma teia ou rede filamentosa e móvel que podem apresenta grânulos. Os granuloreticulópodos são responsáveis pela locomoção, captura de alimentos (e.g. diatomáceas, copépodes, formas larvais de metazoários, bactérias e detritos variados) por fagocitose, e também ajudam na construção da

carapaça do organismo. Os foraminíferos apresentam diferentes formas de reprodução, podendo se multiplicar por reprodução assexuada (fissão múltipla) ou reprodução sexuada (plastogamia ou liberação de gametas que se unem no ambiente externo). Muitas espécies podem utilizar essas duas formas de reprodução ao longo da vida, de forma alternada.

Estima-se que existam cerca de 10 mil espécies viventes de foraminíferos e mais de 40 mil espécies fósseis descritas, evidenciando uma longa história evolutiva. Podem viver fixos ao substrato (rochas, algas ou sobre outros animais), no interior dos sedimentos ou flutuando na coluna d'água. Algumas espécies mantêm relações simbióticas com microalgas, o que permite que vivam em ambientes com poucos nutrientes. Essa variedade de estratégias ecológicas possibilitou uma grande distribuição espacial e temporal.

Os foraminíferos desempenham um papel importante nos ecossistemas aquáticos, participando da cadeia alimentar e contribuindo para a ciclagem orgânica. Contribuem na formação de sedimentos carbonáticos com suas testas calcárias mortas e são amplamente utilizados em estudos paleontológicos. Seus fósseis ajudam a reconstruir paleoambientes e auxiliam especialistas a compreender mudanças climáticas ao longo do tempo. Eles têm um papel fundamental na indústria do petróleo, principalmente na prospecção e exploração de óleo e gás. A distribuição dos fósseis desses organismos pode ser utilizada como marcadores bioestratigráficos, permitindo que correlacionemos distintas camadas de rocha e possamos conhecer a idade destas rochas.

O estudo dos foraminíferos viventes também é fundamental porque esses organismos são sensíveis às mudanças no ambiente, como temperatura, salinidade, pH e condições tróficas, dentre outras. Devido à sua ampla distribuição e diversidade, podem ser utilizados na detecção de alguns tipos de poluição, auxiliando os cientistas a monitorar a saúde dos ecossistemas aquáticos e da vida marinha.



FORAMINÍFEROS

PEQUENINOS GIGANTES

OLÁ,
BEM-VINDO AO
MEU MUNDO
MICROSCÓPICO!



PRAZER, SOU UM FORAMINÍFERO!
MEU NOME É MEIO COMPRIDO, NÉ?
VAMOS FALAR JUNTOS:
FO-RA-MI-NÍ-FE-RO
MUITO BEM!

PENSE EM MIM
COMO SE FOSSE UMA
AMEBA, UMA GELEINHA
MÁGICA QUE SE MEXE,
SENTE, COME E CONSTRÓI
SUA CASA.
ESSE SOU EU, CHEIO DE
VIDA!

Tamanho dos foraminíferos:

entre 0,02 mm e 20 cm, mas a maioria é menor que
1 milímetro (0,125 a 0,250 mm).



FORAMINÍFEROS

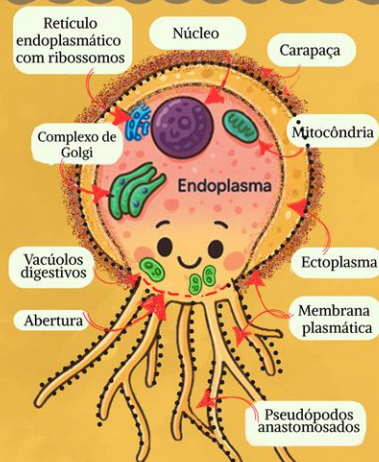
PEQUENINOS GIGANTES

AGORA QUE JÁ NOS CONHECEMOS, VOU
CONTAR MAIS SOBRE MIM...
SOU UM SER UNICELULAR, OU SEJA,
FORMADO POR 1 CÉLULA SÓ, QUE É
MEU CORPINHO!
SABE O QUE É ISSO?"



Seu corpo tem
muuuuittas células ...
bilhões! Mas eu sou
especial, vivo
com uma só.

A célula é a menor parte viva de
um organismo.
Para me ver precisa de lupa ou microscópio,
mas tenho tudo que preciso para viver...
comer, crescer, reproduzir e me proteger.



endoplasma + ectoplasma = citoplasma
protoplasma = parte viva da célula,
inclui o citoplasma + núcleo.

COMO FORAMINÍFEROS SE MOVEM, ALIMENTAM-SE E ELIMINAM SEUS DEJETOS?

Foraminíferos usam **pseudópodos*** fininhos, que parecem braços e pés pegajosos para se mover, comer, lançar dejetos para o exterior da célula e construir conchas, testas ou carapaças, que são suas casas.

*pseudópodos = falsos pés



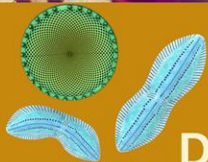
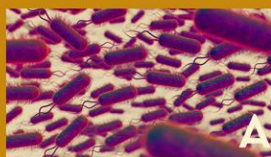
Heterostegina (à esquerda) com seus granuloreticulópodos distendidos para locomoção; este gênero realiza simbiose com algas. Acima, detalhe dos reticulópodos anastomosando-se. FONTE: Röttger (1982)^[1].



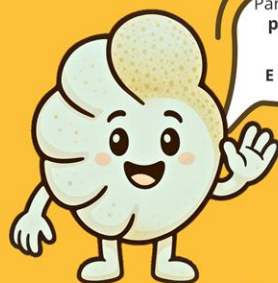
Os pseudópodos formam redes para capturar alimento (microalgas e outros organismos, ou restos de outros organismos). Esses pseudópodos que formam redes (anastomose) e têm grânulos, chamam-se **granuloreticulópodos**.

^[1] RÖTTGER, R., und INST. WISS. 1982. FILM: Die Großforaminifere *Heterostegina depressa* – Organisation und Wachstum der megalosphärischen Generation. Film C1451 des IWF, Göttingen 1982. Publikation von R RÖTTGER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 21/C 1451, 15 S.

DE QUE OS FORAMINÍFEROS SE ALIMENTAM?



Alguns dos itens alimentares dos foraminíferos: A) bactérias; B) ciliados; C) detritos orgânicos; D) microalgas; E) copépodos ou outros microcrustáceos e F) outros foraminíferos.



Para proteger a parte viva do meu corpo, o **protoplasma**, construo a carapaça que parece a conchinha dos caramujos!

E olha só que legal, existem vários tipos de carapaças!

- Algumas carapaças são grossas, fortes e opacas e são chamadas **calcário-porcelânicas**.



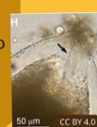
- Outras são finas, transparentes, brilhantes e parecem vidro (**calcário-hialinas**).



- Existem as formadas por grãos de areia, conchas e até espinhos de outros seres. O material é escolhido e aglutinado com um cimento próprio. São as carapaças do tipo **aglutinante**.



- Alguns foraminíferos têm só uma membrana orgânica, como uma bolsinha mole sobre a célula. São conhecidos por ter **carapaças orgânicas**.



Ah, tem mais uma coisa! Enquanto crescemos nossa carapaça pode mudar! Algumas crescem enroladinhas, outras são longas e retas. São várias formas para conhecer e admirar!



As carapaças podem ter formas e tamanhos diferentes, e são muito bonitas se observadas ao microscópio!

AS FORMAS AJUDAM OS CIENTISTAS A NOS DIFERENCIAR COM NOMES DIFERENTES!



Vivemos predominantemente no mar.
Estamos neste planeta há mais de 500
milhões de anos, e isso é muito, muito
tempo...
chegamos antes dos dinossauros!



Alguns foraminíferos flutuam no
mar, levados pelas
correntes... são **planctônicos**.



Outros, vivem no fundo do mar entre
grãos de areia, grudados em pedras,
algas ou conchas... são **bentônicos**.



Nós, foraminíferos, moramos em diferentes ambientes do mar!
Você pode nos encontrar...



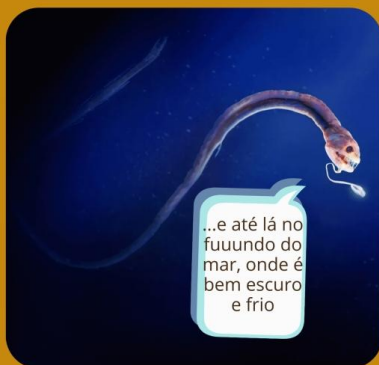
...na praia.
Sim!!! Estamos
nas areias da
praia! Talvez já
tenhamos nos
encontrado.



...nos manguezais,
perto das raízes
das árvores!



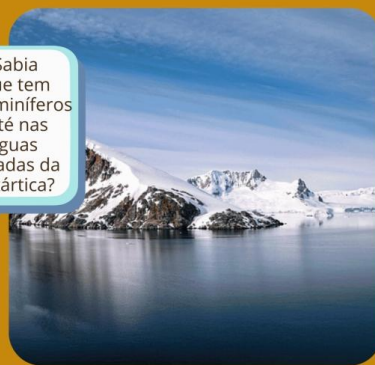
...ou nos recifes
de corais!



...e até lá no
fuuundo do
mar, onde é
bem escuro
e frio



Sabia
que tem
foraminíferos
até nas
águas
geladas da
Antártica?



O peixe-dragão é uma das criaturas que
vivem na Fossa das Marianas
(CREDITO: DIEGO GRANDI/SHUTTERSTOCK.COM)

Estamos por toda parte...
e ajudamos a contar histórias sobre os lugares onde vivemos!

E NÃO SOMOS APENAS UMA CONCHA BONITA !

FORAMINÍFEROS

POR QUE SOMOS IMPORTANTES?

Você sabia que ajudamos os cientistas a entender melhor o clima do planeta?



DEPENDENDO DA TEMPERATURA, QUANTIDADE DE SAL NA ÁGUA E DE COMIDA NO MAR, HAVERÁ FORAMINÍFEROS DIFERENTES. QUANDO OS CIENTISTAS ESTUDAM NOSSAS CARAPAÇAS ANTIGAS, DESCOBREM COMO ERA UMA REGIÃO HÁ MUITO TEMPO ATRÁS!



AJUDAMOS A ENTENDER O AMBIENTE ONDE VIVEMOS

Alguns de nós só vive em águas quentes, outros vivem em águas frias. Se muitos foraminíferos diferentes aparecem em um lugar onde não estavam, pode ser um sinal de mudança no clima.



"CONTAMOS" SE A ÁGUA ESTÁ POLUÍDA

Se a água estiver com esgoto, ou contaminada com produtos tóxicos às vezes invisíveis, alguns foraminíferos desaparecem. Por isso, os cientistas nos avaliam para saber se o mar está saudável. Assim ajudamos a vigiar (monitorar) a saúde dos oceanos!



"CONTAMOS" SE O MAR É FUNDO OU RASO

Se o local foi um mar profundo, os foraminíferos planctônicos, aqueles que flutuam na coluna d'água, serão dominantes no sedimento, e os bentônicos que já vivem no fundo, serão menos abundantes. Se for um mar raso, os bentônicos vão dominar, ou os planctônicos nem existirão no sedimento.

SOMOS ALIMENTO E ABRIGO

Servimos de alimento para outros animais e nossas carapaças ajudam a formar conchas de outros foraminíferos. Depois, faremos parte do fundo do mar!



SOMOS PARTE DA GRANDE HISTÓRIA DA TERRA!

Como já sabem, estávamos aqui antes dos dinossauros e ainda estamos por aqui! As areias e o lodo onde se depositam nossas carapaças após a morte podem até virar rocha depois de milhõõõõõs de anos!

Nossas carapaças ajudam os geólogos e micropaleontólogos a descobrir como eram os mares antigos!

Sim, depois que morremos, nossas carapaças ficam lá no fundo, formando a areia do mar... elas são o registro da nossa presença ao longo do tempo!



Perceberam que apesar de nosso tamanho microscópico, nossa importância é imensa?

AH, A PRESENÇA DOS FORAMINÍFEROS TAMBÉM PERMITE QUE OS CIENTISTAS DESCUBRAM A IDADE DAS ROCHAS E ONDE PODE HAVER PETRÓLEO!

FORAMINÍFEROS



AGORA É A SUA VEZ!
QUER SER UM
CIENTISTA?



Você sabia que cientistas
passam horas no
microscópio procurando
foraminíferos na areia?
Agora é a sua vez de
viver essa aventura.



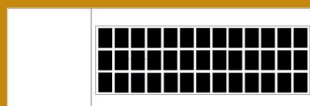
VAMOS PROCURAR FORAMINÍFEROS?

MISSÃO: encontrar e separar os foraminíferos!
Para estudar os foraminíferos de um local, os
cientistas coletam amostras de areia, onde
podemos encontrar os animais no meio dos
grãos de areia.

- ① Observe bem a bandeja de triagem!
Nas fotos você vai encontrar:
- foraminíferos com carapaças diferentes;
 - pedaços de concha, algas e esqueletos de outros animais
 - grãos de areia;
 - plásticos, fibras, lixo.



- ② Separe apenas os foraminíferos que
você encontrar e coloque-os na lâmina de
triagem gigante.

**Desafio bônus**

Consegue encontrar um foraminífero
grudado em um grão de areia, ou um
bem diferente dos outros?

Talvez você tenha encontrado uma
espécie desconhecida!

O que será que eles podem nos contar sobre esse lugar?
Pergunte para quem está lhe ajudando.

Referências

- Parker, J. H. & Gischler, E., 2024. Taxonomy and systematics of shallow-water tropical benthic foraminifera from the lagoon environments at Bora Bora, Society Islands, French Polynesia. *Micropaleontology*, 70(4), pp. 301–404. <https://doi.org/10.47894/mpal.70.4.01>
- Langer, M. R., Weinmann, A. E., Makled, W. A., Könen, J. & Gooday, A. J., 2022. New observations on test architecture and construction of *Jullienella foetida* Schlumberger, 1890, the largest shallow-water agglutinated foraminifer in modern oceans. *PeerJ*, 10, e12884. <https://doi.org/10.7717/peerj.12884>
- Gooday, A. J. & Goineau, A., 2019. The contribution of fine sieve fractions (63–150 μm) to foraminiferal abundance and diversity in an area of the eastern Pacific Ocean licensed for polymetallic nodule exploration. *Frontiers in Marine Science*, 6, p. 114. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2019.00114>



SUGESTÃO DE ATIVIDADES AOS PROFESSORES

1. Atividades para crianças de 6 a 11 anos

Livreto "Foraminíferos – Pequeninos Gigantes"

https://mcn.ufpr.br/wp-content/uploads/2025/10/E-book_Forams-para-impressao-com-atividades-5-12-anos.pdf

2. Como se desenvolvem as distintas formas de carapaças?

Apesar do tamanho microscópico (geralmente têm cerca de 0,1 mm, mas podem alcançar centímetros) os foraminíferos são importantes. Seus fósseis são utilizados por paleontólogos, geólogos, biólogos e oceanógrafos para reconstituir ambientes antigos e compreender mudanças climáticas ao longo do tempo. Após a morte, suas carapaças podem acumular-se no fundo do mar por milhões de anos, formando rochas sedimentares que fornecem um registro detalhado das mudanças climáticas ao longo do tempo. Os foraminíferos vivos nos auxiliam a conhecer e monitorar os ambientes onde vivem.

Uma característica marcante dos foraminíferos é a forma como suas carapaças se desenvolvem. Elas podem crescer com câmaras esféricas, tubulares ou de formas variadas numa espiral, em linha reta, em curvas ou em arranjos mais complexos. Os tipos de enrolamento mais comuns encontram-se abaixo:



Planispiral – as câmaras se organizam numa espiral plana.



Trocospiral – as câmaras enrolam-se em espiral helicoidal.





Linear ou seriado – as câmaras dispõem-se em linha reta, uma a uma, duas a duas, três a três e assim por diante.



Irregular – crescem ou enrolam-se sem uma forma fixa, com crescimento assimétrico ou seguindo o substrato irregular



Flabeliforme - em forma de leque, ou seja, as câmaras se desenvolvem a partir de um ponto e vão aumentando de volume em relação ao ponto base.



Composto - podem iniciar seu crescimento numa espiral e depois seguir um arranjo linear ou biserial, por exemplo;

A observação da forma das câmaras e como elas estão interligadas, confere distintas formas aos foraminíferos. Tentar replicar o processo de crescimento pode ajudar os professores e alunos a entender melhor a diversidade de formas destes organismos.

Atividade Prática – modelando foraminíferos

Objetivo: simular os diferentes tipos de enrolamento das câmaras dos foraminíferos, por meio da modelagem com massa, criando carapaças de formas variadas.

Materiais:

- massa de modelar colorida (ou argila);
- palitos de dente ou espátulas para detalhes;
- imagens de diferentes tipos de foraminíferos (disponíveis facilmente online ou fornecidas pelo professor);
- papel e lápis ou o celular para registrar os modelos criados.

Passo a passo:



Introdução (10 min): apresente aos alunos os foraminíferos e mostre imagens ampliadas dos diferentes tipos de câmara e enrolamento. Forme carapaças de massinha e explique como se formaram. Pergunta norteadora: Qual é a função das carapaças para os foraminíferos? Resposta: Proteção.

Modelagem (30 min): divida os alunos em grupos e distribua a massa de modelar. Cada grupo escolherá ou receberá a determinação de qual forma de câmara e que tipo de enrolamento irá reproduzir.

- o Um grupo modelará câmaras esféricas em arranjo planispiral, e câmara tubular em arranjo também planispiral.
- o Outro grupo fará câmaras tubulares em arranjo trocospiral e irregular.
- o Outro grupo fará câmaras esféricas em arranjo trocospiral.
- o Outro grupo fará câmaras esféricas em enrolamento linear e bisserial.
- o Outro grupo fará câmaras esféricas em arranjo trisserial, e uma carapaça com dois tipos diferentes de enrolamento em sequência (enrolamento composto).

Durante a modelagem, os alunos podem usar palitos ou outros objetos para criar detalhes nas carapaças, como poros, texturas ou marcas entre as câmaras. Se houver tempo, eles também podem pintar seus modelos com tinta guache ou tinta acrílica.

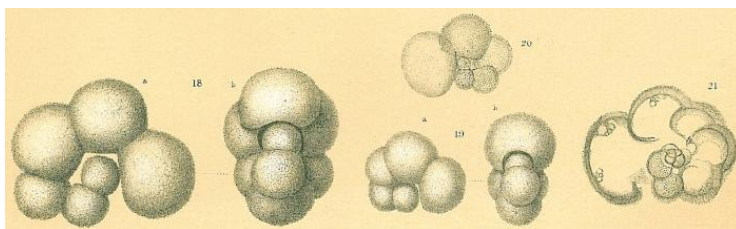
Os estudantes deverão procurar imagens de foraminíferos da *internet* ou receber imagens fornecidas pelo professor, para servirem de modelos de foraminíferos com formas semelhantes às aquelas que construirão na atividade.

Orientação para construção dos modelos:

2a) O grupo responsável pelo modelo planispiral pode começar moldando bolinhas (“câmaras”), uma um pouco maior que a outra; depois, as unirá num só plano (podem usar a mesa de atividades como base). A partir da primeira câmara (bolinha), os alunos acrescentam outras bolinhas de massa ao redor, sempre em um mesmo plano, formando uma espiral. Cada nova câmara deve ser colocada ao lado, ou parcialmente sobreposta à anterior, dando continuidade ao padrão espiralado. Uma boa sugestão é fazer, pelo menos, cinco ou seis câmaras, para que a forma espiralada fique bem



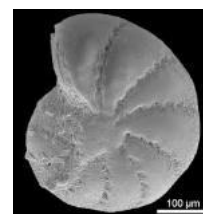
evidente. Ao final terão uma carapaça completa. Um exemplo de foraminífero com esse tipo de enrolamento é o gênero *Globogerinella*.



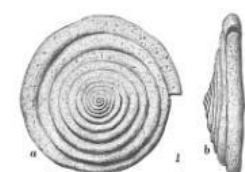
Se a câmara for tubular e o enrolamento for planispiral, ao final poderemos formar um foraminífero similar às espécies do gênero *Cornuspira*.



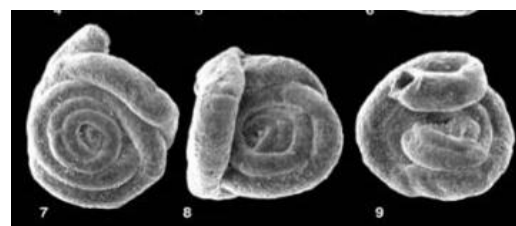
Se as câmaras tiverem o formato triangular e o enrolamento for planispiral (involuto), podem formar carapaças similares às do gênero *Elphidium*.



2b) O grupo que fizer câmaras tubulares em arranjo trocospiral terá, ao final, carapaças semelhantes às espécies do gênero *Arenoturrspirillina*.



Quem fizer câmaras tubulares com enrolamento irregular, terá carapaças similares às de espécies do gênero *Glomospira*.



2c) Quem modelar câmaras esféricas em um enrolamento trocospiral deve começar com uma bolinha menor central e, em vez de adicionar as bolinhas (câmaras) no mesmo plano, as posicionará de maneira helicoidal, como em uma espiral vertical. Os alunos podem usar um palito de dente como guia central para manter o eixo de crescimento bem definido. Esse tipo de enrolamento pode ser observado no gênero *Trochammina* e em muitos outros.



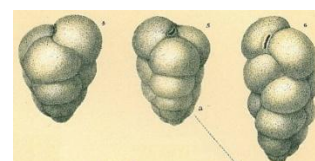
2d) O grupo que trabalhará com câmaras esféricas e arranjo linear poderá moldar câmaras esféricas (bolinhas) de massa, unindo-as em uma linha reta, uma após a outra, como se fossem contas de um colar. É possível explorar variantes mais distantes ou mais próximas umas das outras, dependendo do tempo disponível. Os gêneros *Nodosaria* e *Dentalina*, dentre outros são exemplos clássicos de crescimento unisseriado.

Os que fizerem arranjo bisserial com as esferas terão carapaças semelhantes às do gênero *Textularia*.

Imagem *Textularia boraboraensis* Parker & Gischler, 2024 - Holótipo em vistas diferentes de Parker and Gischler, 2024 **CC BY-NC-SA 4.0**).

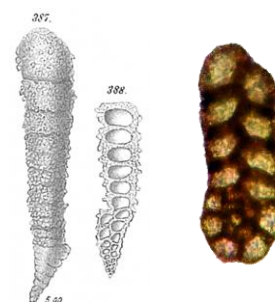


2e) O grupo que fizer carapaças trisseriais ou de enrolamento composto poderá usar câmaras esféricas (bolinhas) e formar arranjo de três câmaras por volta. As carapaças com esta forma serão similares às espécies do gênero *Eggerella*.



Outra forma a ser criada pode usar enrolamentos distintos combinados. Uma opção seria arranjo bisserial seguido por arranjo uniserial. As carapaças com esta forma serão similares às espécies de *Bigenerina*.

Ou formar arranjo planispiral seguido de arranjo bisserial, como as espécies do gênero *Spiroplectammina*.



- Apresentação (10 min): cada grupo apresenta seu modelo e explica como foi feito o enrolamento. Essa etapa de apresentação também ajuda a fixar os conceitos e estimula a comunicação científica entre os estudantes. Incentive que usem termos científicos de forma contextualizada.
- Reflexão final (5 min): converse com a turma sobre como a forma das carapaças pode estar relacionada ao ambiente onde o foraminífero vive. Por exemplo: será que um formato ajuda a flutuar melhor? Ou a se enterrar mais facilmente no sedimento?



COSTÃO ROCHOSO: FLORESTAS DE ANIMAIS

Luana Poças de Paulo^{1,2}, Jonathan Rene Arzão Molina^{1,2}

Rosana Moreira da Rocha^{1,2,3,4}

¹ Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação - PPGECO

² Programa de Pós Graduação em Zoologia - PGZoo

³ Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - ProfBio

⁴ Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná



**Laboratório de Sistemática e Ecologia
de Invertebrados Marinhos - Labimar**

Coordenação: Rosana Moreira da Rocha

O **Labimar** atua no estudo de invertebrados marinhos sésseis que vivem fixados a substratos consolidados, como costões rochosos, recifes de corais e substratos criados pelas pessoas, como pilastras de portos, marinas flutuantes, cordas, boias e embarcações. O foco principal está em estudos de **taxonomia, filogenia e ecologia**, usando como **modelo animal as ascídias** – grupo de invertebrados cordados. As ascídias podem ser animais solitários ou coloniais, em sua grande maioria, filtradores. Apesar dos adultos se apresentarem com estrutura muito simplificada devido ao hábito sésil, as larvas têm formato de girino e deslocam-se ativamente à procura de novo local para fixar-se. Apresentam sistema nervoso bastante desenvolvido e similar ao dos vertebrados.

Parte dos estudos do **Labimar** é realizado em costões rochosos, tanto para descrever as espécies encontradas no litoral brasileiro, como para investigar o papel ecológico das ascídias na ocupação do espaço. Algumas espécies são exóticas na costa brasileiras, pois foram trazidas por embarcações de comércio internacional ou recreio. Estamos monitorando o espalhamento de algumas destas espécies no ambiente e seu



impacto, tanto para os demais invertebrados sésseis da comunidade, como aqueles móveis que vivem associados a substratos vivos, os bioengenheiros.

Ecosistemas de Transição e Alta Energia

Costões rochosos são formações geológicas localizadas onde o continente encontra o oceano, criando ambientes únicos de transição entre os domínios terrestre e marinho. A importância ecológica desses habitats está associada à grande diversidade de organismos sésseis e móveis, adaptados às condições de alta energia e variação de marés, encontrados nesses lugares. Esses fatores físicos e bióticos associados, fazem de costões rochosos verdadeiros santuários da biodiversidade costeira, atuando como berçários naturais de espécies marinhas e centros de ciclagem de nutrientes (Coutinho & Zalmon, 2009; Moreno & Rocha 2012).

Organismos como macroalgas, ascídias e mexilhões atuam como "engenheiros ecossistêmicos", modificando ativamente o habitat, formando estruturas tridimensionais complexas que funcionam como verdadeiras florestas submersas. Essas "florestas de animais" proporcionam substrato para organismos sésseis (ex.: algas, ascídias, esponjas), refúgio para espécies móveis (ex.: crustáceos, moluscos) e áreas de alimentação para aves e peixes.

A distribuição dos organismos que vivem fixados nas rochas segue padrão bem distinto, chamado de zonação. As zonas são definidas pela variação da maré, formando faixas horizontais dominadas por organismos específicos (Tabela 1). Na região superior, zona supralitoral, predominam espécies com notável resistência à dessecação, como líquens, cirripédios do gênero *Chthamalus* e caramujos do gênero *Echinolittorina*, adaptadas à exposição prolongada ao ar e à radiação solar. No extremo oposto, a zona infralitoral permanece submersa mesmo nas marés mais baixas, abrigando organismos de corpo mole e com baixa ou nenhuma capacidade de suportar a emersão, como espécies de ascídias, esponjas, peixes e macroalgas.



A faixa mais influenciada pela variação da maré é denominada *zona mesolitoral* (região entremarés) e destaca-se pela dinâmica ambiental extrema. Esta faixa, que experimenta ciclos diários de imersão e emersão, constitui um gradiente ecológico, no qual organismos mais e menos tolerantes devem resistir simultaneamente à dessecação, à variação de salinidade e ao impacto das ondas (Moreno & Rocha, 2012). Na faixa do mesolitoral encontramos uma grande diversidade funcional de organismos: desde engenheiros ecossistêmicos como poliquetas formadores de recifes (*Phragmatopoma caudata*) e estruturadores de microhabitats como mexilhões (*Perna perna*), além de briozoários crostosos e arborescentes, ascídias solitárias e coloniais, e hidrozoários. As macroalgas estabilizam o microclima sobre a rocha durante a maré baixa. A intensa competição por espaço nesta faixa (Paine, 1966) é atenuada pela ação de predadores quando os mesmos selecionam as espécies melhores competidoras.



Tabela 1. Características da zonação em costões rochosos.

Zona	Características Ambientais	Organismos Típicos	Fatores Limitantes
Supralitoral	Exposição prolongada ao ar, à radiação UV intensa e à chuva; pouca influência da maré	Líquens, caramujos (ex.: <i>Echinolittorina lineolata</i> , <i>Littorina flava</i>), cirripédios (ex.: <i>Chthamalus stellatus</i>)	A capacidade dos organismos de resistir à exposição à luz solar e ao ar.
Mesolitoral	Alternância imersão/ emersão, variação de salinidade; alto hidrodinamismo; muita influência da maré	Mexilhões (ex.: <i>Mytilaster solisianus</i> , <i>Perna perna</i>), cirripédios (ex.: <i>Tetracrita stalactifera</i> , <i>Amphibalanus amphitrite</i>), macroalgas (<i>Ulva</i> , <i>Corallina</i> , <i>Sargassum</i>)	Interação dos fatores físicos e bióticos, como competição e predação
Infralitoral	Submersão permanente, menor luminosidade; maior ação da predação e da competição; pouca influência da maré	Ascídias, anêmonas, esponjas, estrelas-do-mar, pepinos-do-mar, ouriços, macroalgas, etc.	Forte influência dos fatores bióticos, como competição e predação

No litoral do Paraná, os costões rochosos naturais da Ilha do Mel e do Arquipélago de Currais, somados às estruturas artificiais como portos e recifes de concreto, configuram ecossistemas recifais únicos que sustentam complexas redes de vida. Estes substratos consolidados funcionam como berçários para megafauna emblemática (como as garoupas sob proteção) e abrigam comunidades de bioengenheiros como macroalgas, esponjas e ascídias que criam micro-habitats para espécies sésseis e móveis. Contudo, sua resiliência está sob muitas ameaças (Pellizzari et al., 2025), como:

- Contaminação por efluentes, microplásticos e microalgas tóxicas;



- Sobreexploração pesqueira e efeitos sinérgicos das mudanças climáticas (ondas de calor e acidificação);
- Bioinvasões que desestruturam comunidades.

A conservação destes ambientes exige estratégias integradas, como o cultivo de macroalgas nativas (*Gayralia brasiliensis*) para sequestro de carbono e técnicas de biorremediação, aliadas ao monitoramento contínuo das espécies-chave. Proteger esses ecossistemas é assegurar não apenas a biodiversidade, mas também a identidade caiçara, que depende dos serviços ecossistêmicos para pesca artesanal, turismo sustentável e regulação ambiental, legado essencial para as futuras gerações (Metri et al., 2025).

COSTÃO ROCHOSO

FLORESTAS DE ANIMAIS

COSTÕES ROCHOSOS

Os costões rochosos são formações de rochas que entram em contato direto com o mar, formando ambientes de transição entre o terrestre e o marinho. São habitats altamente dinâmicos, onde as condições ambientais mudam constantemente por causa da ação das marés, ondas, vento e luz solar. Animais e algas bioengenheiros formam verdadeiras florestas, onde vivem pequenos invertebrados como crustáceos, moluscos e estrelas-do-mar.



Costão rochoso da Praia do Farol - Ilha do Mel - Paraná



Procedimento de amostragem em campo

No Labimar-UFRP realizamos projetos de pesquisa que estudam a influência de espécies exóticas, com foco nas ascídias, na comunidades de costões rochosos. Estamos avaliando como as espécies exóticas influenciam a abundância de outros organismos, tanto aqueles que formam as "florestas de animais", como aqueles que vivem dentro destas florestas.

ZONAÇÃO

As comunidades de costão rochoso se organizam em diferentes zonas dominadas por uma ou duas espécies conforme a variação da maré: zona supralitoral, mesolitoral e infralitoral. Cada uma dessas zonas apresenta características ambientais distintas, como grau de exposição ao ar, salinidade e umidade, o que influencia diretamente na presença de diferentes organismos adaptados a essas condições específicas. Interações biológicas como predação e competição também ajudam a estabelecer os limites das zonas.



Morro do Cristo, Guaratuba



Tabela 2. Lista de espécies que ocorrem em costões rochosos do Paraná e que foram incluídas nas atividades da exposição.

Filo	Classe	Família	Espécie	Autor	Status
Annelida	Polychaeta	Sabellariidae	<i>Phragmatopoma caudata</i>	Krøyer in Mörch, 1863	Nativa
Annelida	Polychaeta	Nereididae	Nereidinae		Nativa
Arthropoda	Malacostraca	Eriphiidae	<i>Eriphia gonagra</i>	(Fabricius, 1781)	Nativa
Arthropoda	Malacostraca	Grapsidae	<i>Pachygrapsus transversus</i>	(Gibbes, 1850)	Nativa
Arthropoda	Thecostraca	Tetraclitidae	<i>Tetraclita stalactifera</i>	(Lamarck, 1818)	Nativa
Arthropoda	Thecostraca	Balanidae	<i>Megabalanus coccopoma</i>	(Darwin, 1854)	Exótica
Bryozoa	Gymnolaemata	Bugulidae	<i>Bugula neritina</i>	(Linnaeus, 1758)	Exótica
Bryozoa	Gymnolaemata	Schizoporellidae	<i>Schizoporella errata</i>	(Waters, 1878)	Exótica
Chordata	Ascidiacea	Didemnidae	<i>Polysyncraton amethysteum</i>	Van Name, 1902	Nativa
Chordata	Ascidiacea	Styelidae	<i>Botryllus planus</i>	(Van Name, 1902)	Nativa
Chordata	Ascidiacea	Polycitoridae	<i>Eudistoma carolinense</i>	Van Name, 1945	Exótica
Chordata	Ascidiacea	Styelidae	<i>Polyandrocarpa zorritensis</i>	(Van Name, 1931)	Exótica
Cnidaria	Hydrozoa	Eudendriidae	<i>Eudendrium sp.</i>		Nativa
Cnidaria	Hydrozoa	Tubulariidae	<i>Ectopleura crocea</i>	(Agassiz, 1862)	Nativa
Cnidaria	Hexacorallia	Actiniidae	<i>Anthopleura cascaia</i>	Corrêa, 1973	Nativa
Cnidaria	Hexacorallia	Actiniidae	<i>Bunodosoma caissarum</i>	Corrêa in Belém, 1987	Nativa
Echinodermata	Asteroidea	Asterinidae	<i>Asterina stellifera</i>	(Möbius, 1859)	Nativa
Echinodermata	Echinoidea	Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	(Linnaeus, 1758)	Nativa
Echinodermata	Holothuroidea	Holothuriidae	<i>Holothuria grisea</i>	Selenka, 1867	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Littorinidae	<i>Echinolittorina lineolata</i>	(A. d'Orbigny, 1841)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Lottiidae	<i>Lottia subrugosa</i>	(A. d'Orbigny, 1841)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Littorinidae	<i>Littoraria flava</i>	(P. P. King, 1832)	Nativa
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	<i>Mytilaster solisianus</i>	(A. d'Orbigny, 1846)	Nativa
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	<i>Perna perna</i>	(Linnaeus, 1758)	Nativa
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	<i>Perna viridis</i>	(Linnaeus, 1758)	Exótica



Mollusca	Bivalvia	Ostreidae	<i>Saccostrea cucullata</i>	(Born, 1778)	Exótica
Mollusca	Bivalvia	Ostreidae	<i>Crassostrea tulipa</i>	(Lamarck, 1819)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Muricidae	<i>Stramonita brasiliensis</i>	Claremont & D. Reid, 2011	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Onchidiidae	<i>Onchidella incisa</i>	(Quoy & Gaimard, 1832)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Aplysiidae	<i>Aplysia brasiliana</i>	Rang, 1828	Nativa
Arthropoda	Thecostraca	Chthamalidae	<i>Chthamalus stellatus</i>	(Poli, 1791)	Nativa
Cnidaria	Hexacorallia	Actiniidae	<i>Actinia bermudensis</i>	(McMurrich, 1889)	Nativa
Cnidaria	Hexacorallia	Actiniidae	<i>Bunodosoma cangicum</i>	Belém e Preslercravo, 1973	Nativa
Cnidaria	Hexacorallia	Actiniidae	<i>Anemonia sargassensis</i>	Hargitt, 1908	Nativa
Porifera	Demospongiae	Halichondriidae	<i>Hymeniacidon heliophila</i>	(Wilson, 1911)	Nativa
Porifera	Demospongiae	Tedaniidae	<i>Tedania ignis</i>	(Duchassaing & Michelotti, 1864)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Onchidiidae	<i>Onchidella incisa</i>	(Quoy e Gaimard, 1832)	Nativa
Mollusca	Gastropoda	Aplysiidae	<i>Aplysia brasiliana</i>	Rang, 1828	Nativa
Echinodermata	Ophiuroida		<i>Ofiurideo</i>		Nativa
Chlorophyta	Ulvophyceae	Ulvaceae	<i>Ulva lactuca</i>	Linnaeus, 1753	Nativa
Chlorophyta	Ulvophyceae	Ulvaceae	<i>Ulva sp.</i>		Nativa
Chlorophyta	Ulvophyceae	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha antennina</i>	(Bory) Kützing, 1847	Nativa
Chlorophyta	Ulvophyceae	Codiaceae	<i>Codium taylorii</i>	P.C.Silva, 1960	Nativa
Ochrophyta	Phaeophyceae	Sargassaceae	<i>Sargassum vulgare</i>	C.Agardh, 1820	Nativa
Ochrophyta	Phaeophyceae	Dictyotaceae	<i>Padina gymnospora</i>	(Kützing) Sonder, 1871	Nativa
Rhodophyta	Bangiophyceae	Bangiaceae	<i>Pyropia acanthophora</i>	M.C.Oliveira, D.Milstein, E.C.Oliveira, 2011	Nativa
Rhodophyta	Florideophyceae	Gigartinaceae	<i>Chondracanthus teedei</i>	(Mertens ex Roth) Kützing, 1843	Nativa
Rhodophyta	Florideophyceae	Gracilariaceae	<i>Gracilaria caudata</i> (= <i>Crassiphycus caudatus</i>)	Gurgel, J.N.Norris Fredericq, 2018	Nativa
Rhodophyta	Florideophyceae	Ceramiales	<i>Centroceras clavulatum</i>	(C.Agardh) Montagne, 1846	Nativa



Bioinvasão e o Impacto de Espécies Exóticas

A bioinvasão refere-se ao processo de introdução, estabelecimento e expansão de espécies não-nativas (também chamadas de espécies exóticas ou não indígenas) em um ecossistema no qual não ocorrem naturalmente. Essas introduções podem ser intencionais ou acidentais, frequentemente mediadas por atividades humanas, como transporte marítimo (Dechoum et al. 2024). Quando uma espécie invasora consegue superar barreiras ecológicas, estabelecer populações viáveis e se dispersar, ela pode provocar alterações significativas na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas, incluindo a substituição de espécies nativas e a homogeneização biótica, o que resulta em perda de biodiversidade e alteração de interações ecológicas.

A competição por espaço, um recurso limitante nos costões rochosos, é intensa. A introdução de espécies exóticas pode levar à exclusão competitiva de organismos nativos, modificando a composição e a abundância das comunidades. Tais mudanças não afetam apenas a biodiversidade local, mas também processos ecológicos essenciais, como a ciclagem de nutrientes e a estruturação do habitat, com potenciais reflexos sobre cadeias alimentares e atividades econômicas costeiras.

O caso do mexilhão *Perna viridis*

O mexilhão *Perna viridis*, conhecido como mexilhão verde, é uma espécie exótica nativa do sul asiático que se tornou invasora em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil (Santos et al. 2023). As espécies exóticas são classificadas como "invasoras" quando suas populações crescem muito, começam a se espalhar no ambiente e causam prejuízos à economia, ao meio ambiente ou à saúde humana. *Perna viridis* possui habilidades invasivas excepcionais atribuídas à sua alta taxa de dispersão, plasticidade fenotípica, rápido crescimento e recrutamento, e capacidade de formar aglomerados densos que alteram o ecossistema nativo (Gobin et al. 2013; Micklem et al. 2016; Santos et al. 2023). Além disso, demonstra maior tolerância ao estresse ambiental em comparação com



espécies nativas, suportando altos níveis de material particulado em suspensão na água do mar e amplas faixas de temperatura (Gobin et al. 2013).

Uma vez estabelecido, *P. viridis* pode causar impactos negativos significativos, como a competição por espaço em prejuízo às espécies nativas, alterações na estrutura da comunidade, e modificação do funcionamento e estrutura do ecossistema ao alterar cadeias alimentares e o ciclo de nutrientes (Gobin et al. 2013). A introdução dessa espécie foi acidental, sendo a incrustação em cascos de navios e a água de lastro identificadas como possíveis vias de dispersão para longas distâncias (Santos et al. 2023). A ocorrência de *P. viridis* foi agora confirmada em estudos genéticos no sul do Brasil, no litoral do Paraná, tanto dentro dos estuários, como nos costões em voltados ao mar aberto, expandindo sua área de distribuição e indicando que o litoral brasileiro oferece condições ambientais ideais para seu estabelecimento e desenvolvimento (Beltrão et al. 2024; Belz et al. 2025).

Referências bibliográficas

- Beltrão, M. C., Cunha, N. J. R., Laaf, Y. O., Diehl, F. L. & Santos, T. D., 2024. Molecular methods confirm the first report of the non-indigenous *Perna viridis* Linnaeus, 1758 (Mytilida, Mytilidae) in southern Brazil. *Check List*, 20(4), pp. 859–867.
- Belz, C. et al., 2025. Assessing the fast geographic range expansion of the Asian green mussel, *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae), in the Brazilian coastal waters. *Zoologia*, 42, e24064.
- Bumbeer, J. & Rocha, R. M., 2016. Invading the natural marine substrates: a case study with invertebrates in South Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, 33(3), e20150211.
- Coutinho, R. & Zalmon, I. R., 2009. O bentos de costões rochosos. In: Pereira, R. C. & Soares-Gomes, A. (eds.). *Biologia Marinha*, pp. 281–298. Rio de Janeiro: Interciência.
- Dechoum, M. S. et al., 2024. Thematic assessment report on invasive alien species in Brazil: summary for policymakers. *Biota Neotropica*, 24, e20241645.



- Gobin, J., Agard, J. & Madera, J. & Mohammed, A., 2013. The Asian Green Mussel *Perna viridis* (Linnaeus 1758): 20 years after its introduction in Trinidad and Tobago. *Open Journal of Marine Science*, 3, pp. 62–65.
- Metri, R., Haddad, M. A., Pellizzari, F., Alves, E., Molina, J. R. A. & Rocha, R. M., 2025. Ecossistemas recifais do Paraná: uma importante fonte de serviços ambientais. *Oecologia Australis*, 29(3), pp. 212–224.
- Micklem, J. M., Griffiths, C. L., Ntuli, N. & Mwale, M., 2016. The invasive Asian green mussel *Perna viridis* in South Africa: all that is green is not viridis. *African Journal of Marine Science*, 38(2), pp. 207–215.
- Moreno, T. R. & Rocha, R. M., 2012. Ecologia de costões rochosos. *Estudos de Biologia*, 34(83).
- Paine, R. T., 1966. Food web complexity of species diversity. *American Naturalist*, 100, pp. 65–75.
- Pellizzari, F., Haddad, M. A., Metri, R., Molina, J. R. A., Alves, E. & Rocha, R. M., 2025. Ecossistemas recifais do Paraná e as ameaças a sua preservação. *Oecologia Australis*, 29(3), pp. 196–211.
- Rocha, R. M. & Kremer, L. P., 2005. Introduced ascidians in Paranaguá Bay, Paraná, southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 22(4), pp. 1170–1184.
- Santos, H. S., Bertollo, J. C. & Creed, J. C., 2023. Range extension of the Asian green mussel *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) into a Marine Extractive Reserve in Brazil. *BioInvasions Records*, 12(1), pp. 208–222.



SUGESTÃO DE ATIVIDADE AO PROFESSOR

Atividade 1: Jogo da Memória - Onde os seres vivos do costão rochoso vivem?

Objetivo: Descubra a incrível biodiversidade dos costões rochosos paranaenses enquanto exercita a sua memória! Este jogo ensina como animais e algas se distribuem nas diferentes zonas do costão, desde organismos resistentes ao sol até espécies que vivem sempre submersas. Identifique ainda quais espécies são exóticas e competem por espaço com espécies nativas nesses ecossistemas únicos.

Como jogar:

1. Recorte e embaralhe as 96 cartas com as imagens voltadas para baixo
2. Em cada rodada, um jogador vira duas cartas
3. Se formar um par da mesma espécie, guarda consigo e joga novamente
4. Se as cartas forem diferentes, vira-as novamente no mesmo lugar
5. Ao encontrar cada par, observe:
 - Símbolo colorido (canto superior esquerdo): indica a zona do costão onde a espécie vive
 - Ícone de alienígena (canto superior direito): identifica espécies exóticas
6. Vence quem conseguir mais pares ao final do jogo
7. Discussão pós-jogo: converse sobre as adaptações das espécies e por que vivem em cada zona

Materiais Necessários: As 96 peças (48 espécies em dupla). Para maior durabilidade, recomendamos:

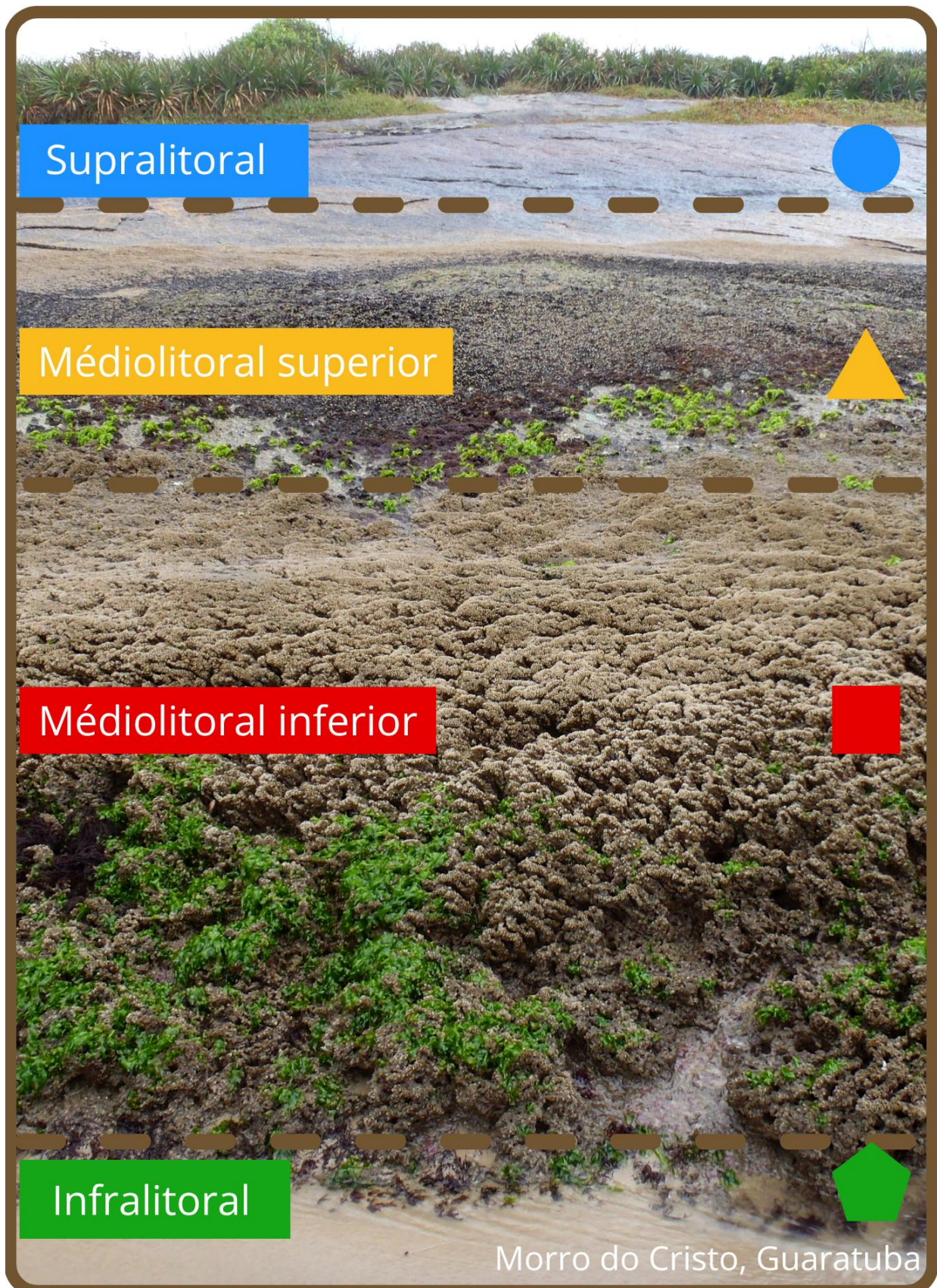
- Impressão em papel fotográfico ou cartão
- Plastificação das cartas recortadas
- Recorte com cantos arredondados para melhor manuseio

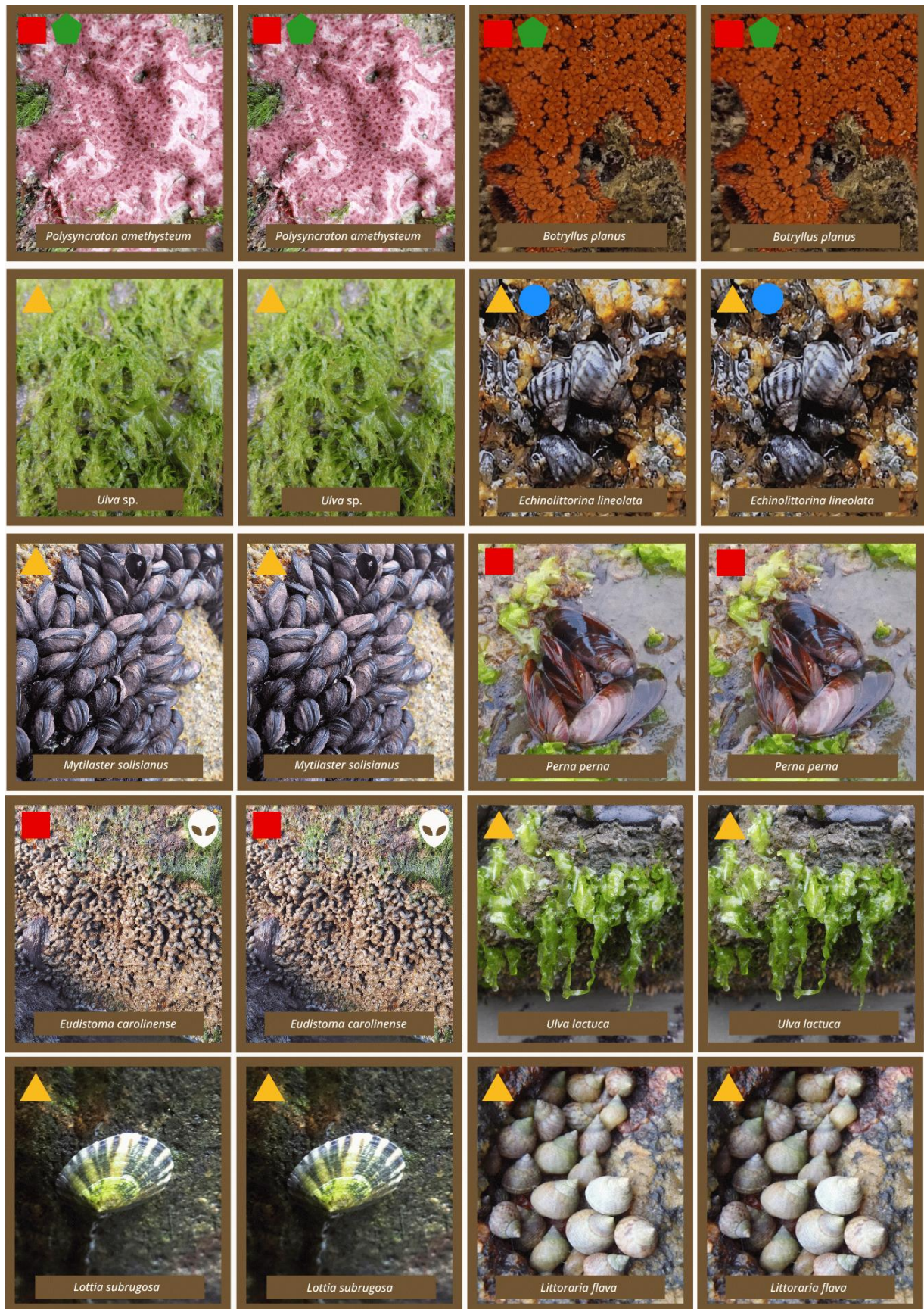


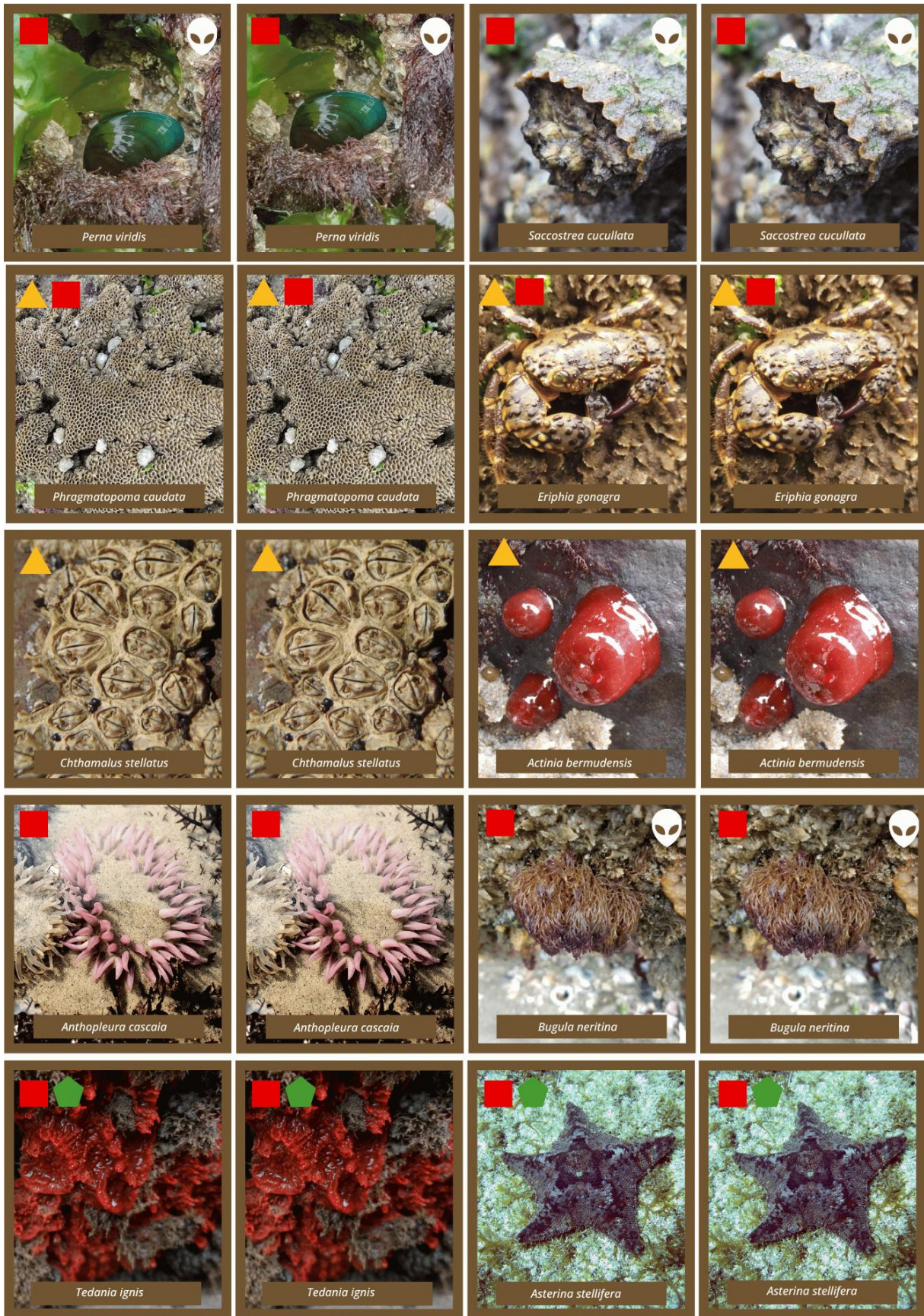
Símbolos das Zonações (presentes nas cartas e na figura de referência):

- Azul – Supralitoral
- ▲ Amarelo - Mesolitoral Superior
- Vermelho - Mesolitoral Inferior
- ◆ Verde – Infralitoral
- 👁️ - Espécie exótica invasora

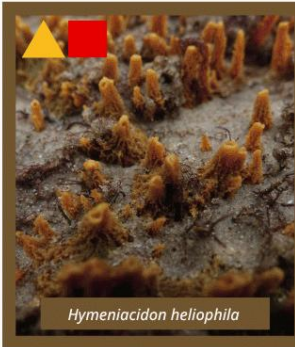
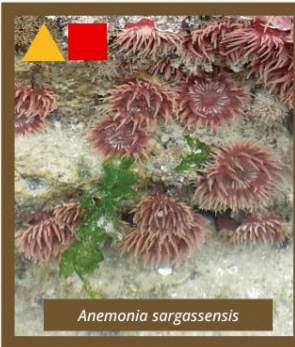
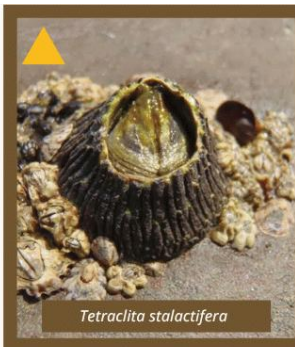


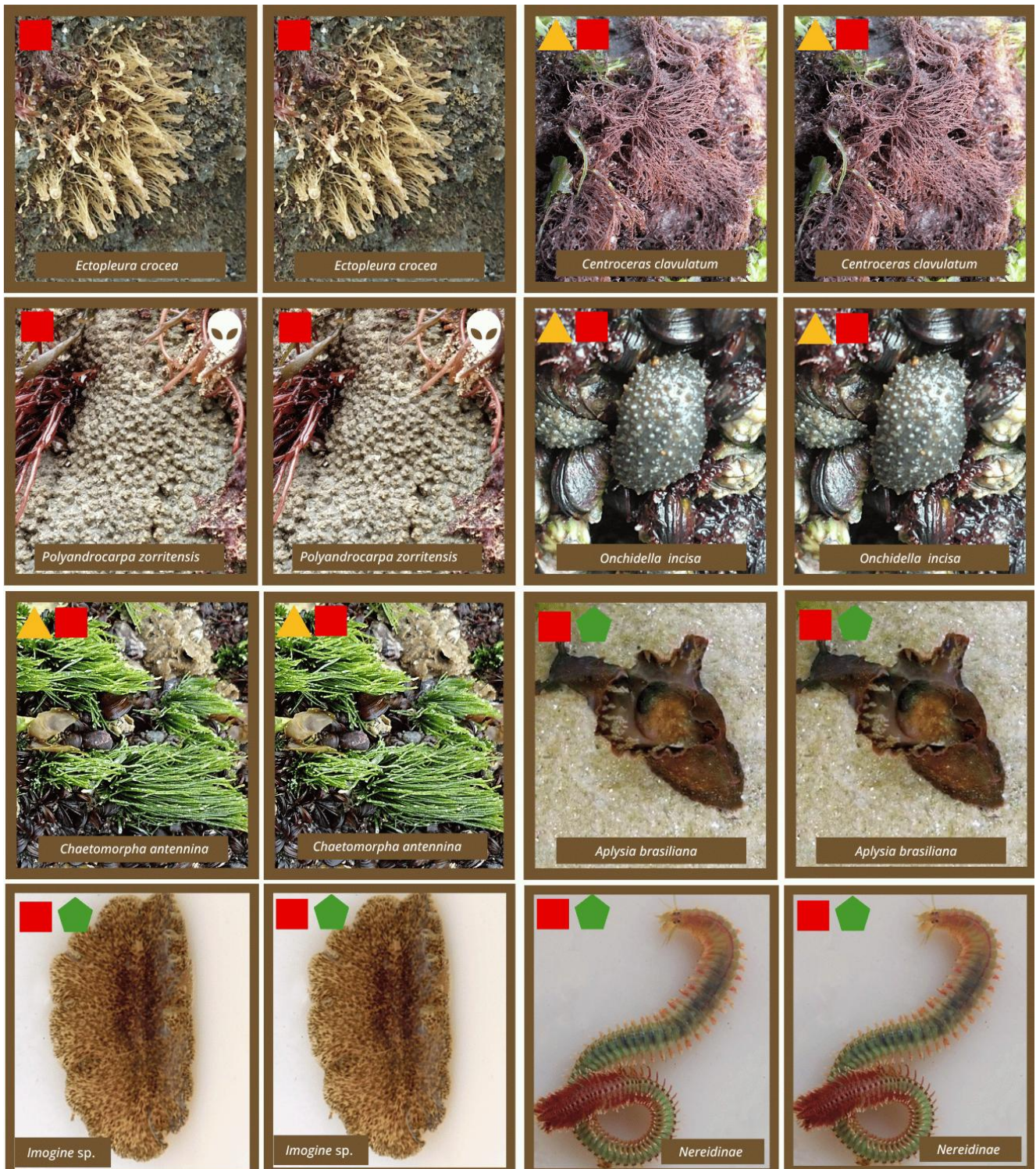












Atividade 2: A batalha dos mexilhões!

Um jogo estratégico sobre bioinvasão marinha para jogar e aprender, seja na sala de aula, com os amigos e com a família.

Objetivo: Compreender como espécies invasoras, como o mexilhão-verde asiático (*Perna viridis*), competem com espécies nativas, como o mexilhão-marrom nativo (*Perna perna*), modificando ecossistemas costeiros. Baseado em pesquisas reais do Labimar-UFPR sobre bioinvasões no litoral paranaense.

Preparação: Posicione as peças iniciais de cada jogador. Distribua 5 peças do mexilhão marrom em qualquer espaço vazio do tabuleiro (população nativa). Para representar que o costão rochoso foi invadido por recrutas da espécie invasora, posicione 2 peças do mexilhão verde em espaços vazios.

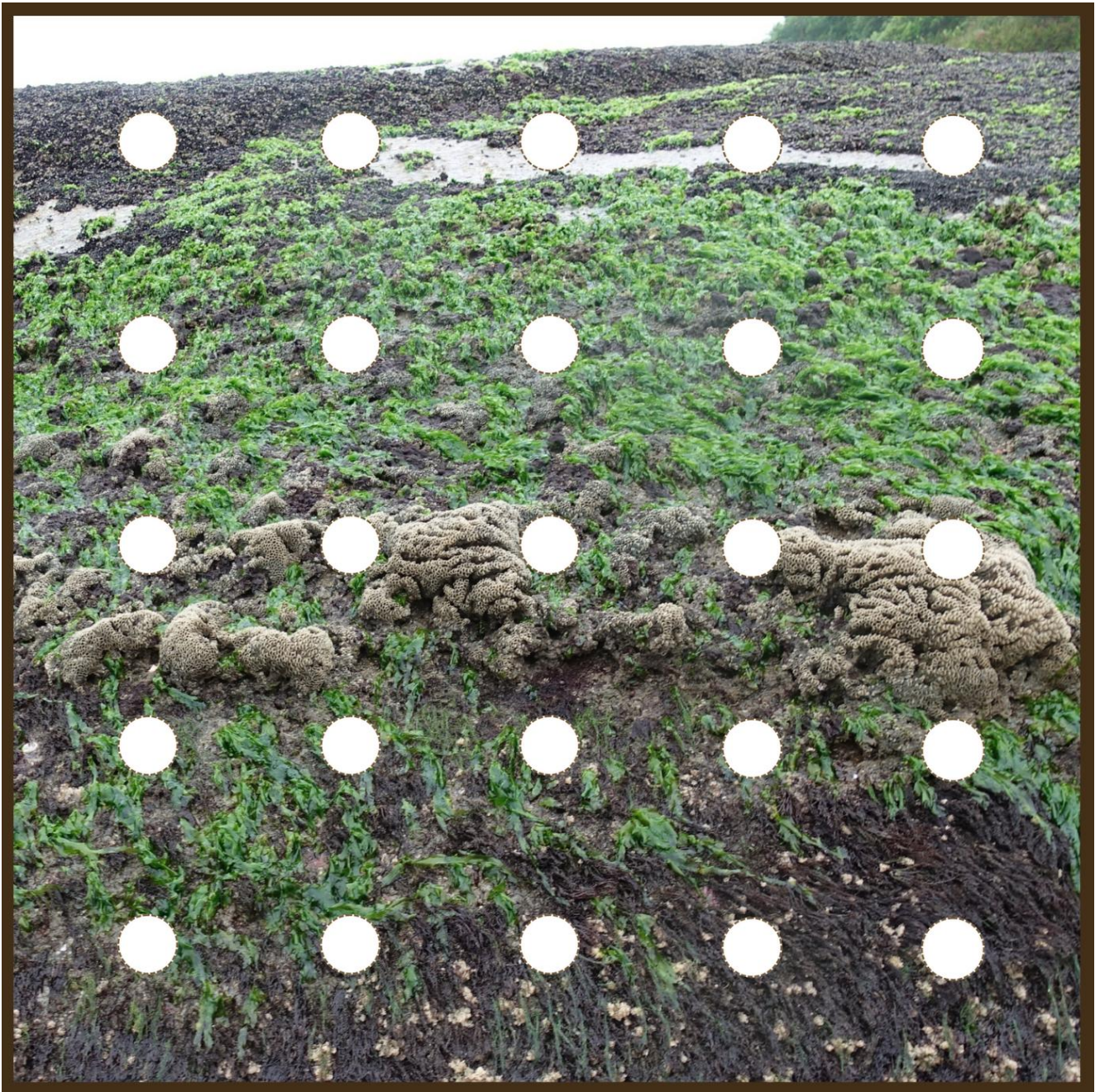
O jogo: Cada jogador ou time, representando a espécie nativa ou a invasora, joga o dado correspondente uma vez e segue as instruções indicadas.

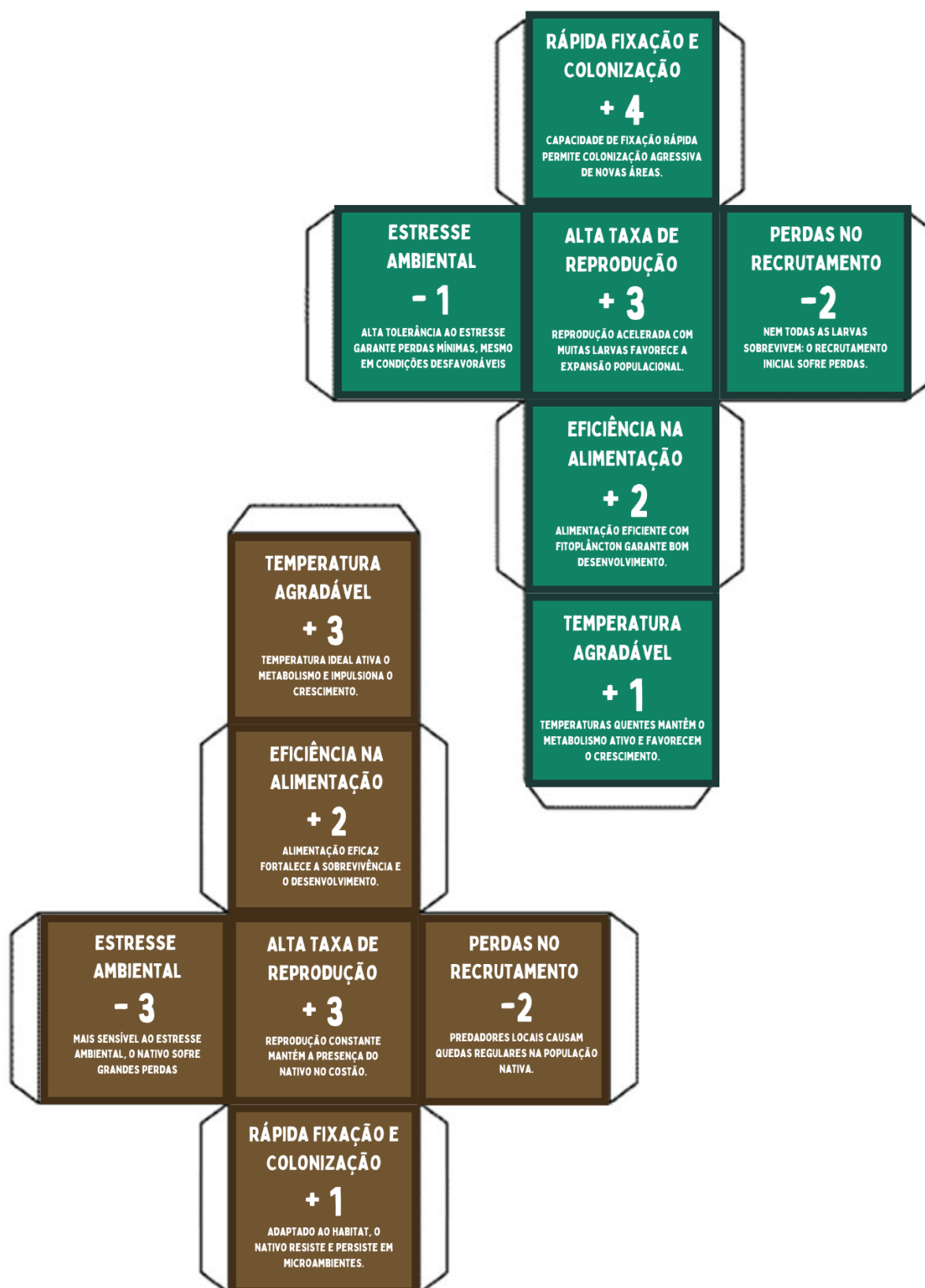
Metas dos Jogadores (pode ser jogado individualmente ou em times)

- **Mexilhão Invasor (Verde):** Domine no mínimo 20 espaços até 8 rodadas.
- **Mexilhão Nativo (Marrom):** Sobreviva por 8 rodadas, mantendo pelo menos 8 espaços ocupados na rocha.

Materiais Necessários: Tabuleiro, dados e peças do mexilhão-marrom *Perna perna* e mexilhão-verde *Perna viridis*.









RECIFES DE CORAL: BIOENGENHEIROS

Marcos Soares Barbeitos

Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná
Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná



Laboratório de Evolução dos Organismos Marinhos – LEOM

Coordenação: Dr. Marcos Soares Barbeitos

A equipe do LEOM estuda os **corais do Atlântico Sul**. Nossa pesquisa estuda o fluxo gênico entre populações de corais ao longo da costa brasileira. Fluxo gênico é a migração de indivíduos entre diferentes recifes, o que normalmente ocorre no estágio de larva. As larvas dos corais são bem pequenas, mas podem viajar muitos quilômetros entre os recifes carregadas pelas correntes marinhas. A troca contínua de larvas entre os recifes, chamada de conectividade, garante a manutenção da diversidade genética. Quanto mais mistura houver entre as populações, melhor, porque maior diversidade genética significa maior probabilidade de sobreviver às mudanças globais.



Os Recifes de Corais

Imagine mergulhar em águas cristalinas tropicais e se deparar com uma verdadeira cidade subaquática. Estruturas coloridas se estendem em todas as direções, criando um labirinto tridimensional onde milhares de criaturas vivem, se reproduzem e interagem em uma das danças ecológicas mais complexas do planeta.

Bem-vindos ao mundo dos recifes de coral – os verdadeiros "condomínios de luxo" dos oceanos tropicais. Um recife de coral é muito mais do que parece à primeira vista. Trata-se de um ecossistema subaquático caracterizado por estruturas construídas por corais construtores de recifes. Os recifes são formados por colônias de pólipos de coral mantidos juntos por carbonato de cálcio. Para entender melhor, pense nos corais como pequenos arquitetos aquáticos. Cada coral é composto por centenas ou milhares de organismos chamados pólipos. Esses pequeninos têm apenas alguns milímetros de diâmetro e possuem tentáculos urticantes para capturar animaizinhos chamados de zooplâncton. Quando crescem juntos, formam uma colônia – e é essa colônia que reconhecemos como um coral.

O que torna os corais construtores de recifes especiais é sua capacidade de secretar esqueletos duros de carbonato de cálcio. Como pequenos operários da construção, eles extraem cálcio dissolvido da água do mar e o solidificam em estruturas minerais que servem como suporte esquelético. É o crescimento lento desses pólipos e a expansão dessas estruturas esqueléticas duras que constrói a estrutura permanente do recife ao longo do tempo.

Mas os corais não trabalham sozinhos. Eles vivem em simbiose com algas microscópicas chamadas zooxantelas, que habitam os tecidos dos corais. Essa parceria é o que permite aos recifes prosperarem em águas tropicais aparentemente pobres em nutrientes – as algas fazem fotossíntese e fornecem até 90% das necessidades nutricionais dos corais.



Os recifes de coral são habitantes exclusivos das regiões tropicais e subtropicais do planeta. Eles são encontrados principalmente entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio (30°S, 30°N de latitude), onde as águas são suficientemente quentes para sustentar seus habitantes tropicais exigentes. Mais de 100 países ao redor do mundo possuem recifes de coral dentro de suas fronteiras. No entanto, a distribuição não é uniforme – mais da metade dos recifes de coral do mundo estão concentrados em apenas seis países: Austrália, Indonésia, Filipinas, Papua Nova Guiné, Fiji e Maldivas.

O epicentro mundial da diversidade de recifes de coral é conhecido como Triângulo de Coral. Esta extraordinária região abrange partes da Indonésia, Malásia, Filipinas, Papua Nova Guiné, Ilhas Salomão e Timor-Leste. Cobrindo 5,7 milhões de quilômetros quadrados – uma área quase equivalente aos 48 estados americanos continentais –, o Triângulo de Coral abriga mais de 600 espécies de corais construtores de recifes (75% de todas as espécies conhecidas pela ciência). Um exemplo impressionante é a Grande Barreira de Corais da Austrália, que constitui o terceiro maior sistema de recifes de barreira do mundo. Na região do Atlântico, temos os recifes do Caribe e, curiosamente, o único recife de coral tropical encontrado ao longo da costa norte-americana fica na Flórida.

Se os oceanos fossem uma cidade, os recifes de coral seriam definitivamente os bairros mais movimentados. Ocupando menos de 1% do assoalho oceânico, os recifes de coral abrigam mais de 25% de toda a vida marinha. É como se fossem apartamentos de luxo, onde cada centímetro quadrado é disputado por diferentes espécies. Cada espécie desempenha seu papel específico neste ecossistema complexo. Alguns são herbívoros especializados em comer diferentes tipos de algas, mantendo os corais livres de serem sufocados por seus competidores potencialmente mortais. Outros, como tubarões, garoupas e outros peixes predadores, mantêm o equilíbrio populacional de peixes menores e outros organismos.



A importância da diversidade genética também é crucial. Como qualquer ser vivo, os corais precisam de diversidade genética para se adaptarem às mudanças ambientais através de processos evolutivos. Quanto maior a diversidade genética, maiores as chances de que exista descendência capaz de lidar melhor com as condições prevalentes do que a geração anterior.

Serviços ecossistêmicos providos pelos recifes de corais

Os recifes de coral não são apenas maravilhas naturais – eles são verdadeiras máquinas econômicas globais. Estimativas indicam que os recifes de coral valem entre US\$ 2,7 trilhões e US\$ 9,9 trilhões anuais por ano em serviços ecossistêmicos (estimativa de 2014), tornando-os alguns dos ecossistemas mais valiosos economicamente do planeta. O turismo representa a maior fonte de receita dos recifes de coral. A contribuição econômica do turismo aos recifes de coral é estimada em US\$ 36 bilhões para a economia global a cada ano. Essa receita sustenta mais de 1 milhão de empregos em restaurantes, hotéis, operações turísticas, empresas de transporte em mais de 70 países e territórios. Pessoas de todo o mundo viajam para destinos de recifes de coral a cada ano, atraídas pelas belas praias de areia branca e águas mornas e turquesa. Os recifes de coral sustentam a pesca comercial e de subsistência. Aproximadamente metade de todas as pescarias federalmente gerenciadas dependem de recifes de coral e habitats relacionados durante uma porção de seus ciclos de vida. O Serviço Nacional de Pesca Marinha estima que o valor comercial dos pesqueiros dos EUA provenientes de recifes de coral seja superior a US\$ 100 milhões. Para muitas comunidades insulares, especialmente no Triângulo de Coral e Oceano Pacífico Sudoeste, os recifes ainda sustentam os meios de subsistência e nutrição de populações locais que dependem muito desses recursos para a pesca de subsistência.

Os recifes de coral também protegem o litoral ao reduzir o impacto de ondas, tempestades e inundações. Isso ajuda a prevenir perda de vidas, danos materiais e



erosão. Quando os recifes são danificados ou destruídos, as comunidades costeiras podem sofrer maior dano de tempestades severas e até mesmo da ação normal das ondas. Benefícios anuais foram estimados em US\$ 3.500 por quilômetro quadrado derivados da pesca, turismo e proteção costeira.

Os corais são considerados chave para encontrar novos medicamentos. Muitos remédios estão sendo desenvolvidos a partir de compostos descobertos em animais e plantas de recifes de coral como possíveis curas para câncer, artrite, infecções bacterianas, vírus e outras doenças. Acredita-se que os recifes de coral ainda têm muito potencial medicinal inexplorado.

A Conservação Ambiental dos Recifes de Corais

O aumento das temperaturas oceânicas tem um efeito imediato sobre os corais, levando ao branqueamento. O branqueamento ocorre quando os corais, estressados pelo calor, expulsam suas algas simbióticas (zooxantelas), perdendo sua coloração e fonte principal de energia. Os eventos de branqueamento em massa tornaram-se dramaticamente mais frequentes e intensos. O evento global de branqueamento de 2016-2017 foi o mais extenso e duradouro já registrado. Na Grande Barreira de Corais, mais de 50% da cobertura de coral foi perdida em 8 meses na parte norte. As projeções futuras são alarmantes. Sob cenários de altas emissões (SSP5-8.5), mais de 50% dos recifes do mundo devem experimentar risco de branqueamento severo por mais de 9 meses por ano até 2100.

Mesmo com mitigação substancial dos gases de efeito estufa (SSP2-4.5), quase todos os recifes de coral do mundo provavelmente serão expostos a mais de 3 meses de risco de branqueamento severo até 2080.

Além do aquecimento, o aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ está causando a acidificação dos oceanos, que é uma das principais ameaças aos ecossistemas de recifes de coral. Previsões para 2100 antecipam um aumento nas concentrações de



CO₂ para entre 540 e 970 ppm, levando a uma diminuição global no pH da água do mar de 0,14 a 0,35 unidades. A acidificação dos oceanos reduz a disponibilidade de íons carbonato que os corais precisam para formar seus esqueletos de carbonato de cálcio, levando a uma diminuição nas taxas de calcificação dos corais. Sob projeções futuras, espera-se que a acidificação oceânica mude os recifes de coral de um estado de calcificação líquida para dissolução líquida.

Apesar dos desafios, várias estratégias de conservação estão sendo implementadas. As Áreas Marinhas Protegidas - AMPs são uma ferramenta crítica de manejo para apoiar a resiliência dos recifes ao abordar ameaças locais. Estudos de 20 anos da Grande Barreira de Corais demonstram que dentro das AMPs: (1) a composição da comunidade de recifes foi 21-38% mais estável; (2) a magnitude dos impactos de perturbação foi 30% menor e (3) a recuperação subsequente foi 20% mais rápida do que em habitats desprotegidos adjacentes. A restauração de corais pode assumir várias formas, desde simples cultivo e plantio até a colheita de milhões de óvulos e espermatozoides naturalmente produzidos para criar milhões de novos indivíduos genéticos. Pesquisadores estão explorando técnicas inovadoras como criopreservação de material genético coral, seleção assistida para maior tolerância térmica, e probióticos para melhorar a saúde dos corais.

Apesar das projeções alarmantes, nem todos os recifes enfrentarão o mesmo destino. Estudos recentes identificaram "pontos brilhantes" onde os recifes podem ter melhores chances de sobrevivência, incluindo áreas na Indonésia, Malásia, Filipinas centrais, Nova Caledônia, Fiji e Polinésia Francesa. A correlação positiva entre a cobertura percentual de coral e a temperatura máxima histórica da superfície do mar pode indicar que corais vivendo em recifes historicamente expostos a temperaturas máximas relativamente altas sofreram menos com ondas de calor marinhas recentes do que corais vivendo em outros lugares.



CORAIS

BIOENGENHEIROS



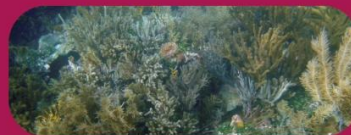
Recife no Rio Grande do Norte

O QUE SÃO RECIFES?

Recife é um obstáculo à navegação - pode ser um afloramento rochoso ou uma laje submersa no oceano. Recifes biogênicos são aqueles produzidos por organismos vivos, como algas coralíneas, bivalves, corais, etc. Recifes tropicais biogênicos modernos são formados principalmente por corais escleractíneos.

FLORESTAS TROPICAIS DO MAR

Recifes tropicais ocupam menos de 0,1% da área do oceano, mas fornecem habitat para 25% das espécies marinhas conhecidas. Estima-se que 1,9 milhão de espécies dependem de recifes de corais saudáveis para sua sobrevivência.



Recife de coral no Panamá - Bocas del Toro

BRANQUEAMENTO

Quando há aquecimento da água do mar, ocorre uma quebra da simbiose entre o coral (hospedeiro) e a zooxantela (endossimbionte), descolorindo os tecidos do coral. Acredita-se que o branqueamento é provocado por um excesso de geração de radicais livres pelo coral sob estresse térmico, ou à queda na produção de proteínas essenciais à simbiose por parte da zooxantela.

Branqueamento em *Mussismilia hispida*

ECOSSISTEMAS AMEAÇADOS

A permanência dos recifes de corais depende da manutenção de um equilíbrio muito delicado entre interações ecológicas e condições do ambiente: por viverem muito próximos do limite de tolerância térmica e serem muito susceptíveis à poluição, os recifes de corais são os "canários na mina" dos oceanos.

SERVIÇOS AMBIENTAIS

Os serviços ambientais prestados por recifes de corais estão avaliados em US\$ 375 bilhões de dólares anuais - valor maior que o PIB de 169 países (em 2022)! Eles beneficiam 500 milhões de pessoas, população inferior apenas às da Índia e China. Esses benefícios incluem recursos alimentares, proteção da linha de costa e manutenção da biodiversidade. Apenas o mercado de bioprospecção farmacológica de organismos recifais é estimado em 1 trilhão de dólares!



Recifes ao longo da costa do nordeste brasileiro evitam a erosão costeira

Os recifes de coral estão em crise, mas não é tarde demais para agir. A conservação efetiva requer ação simultânea em mudanças climáticas, poluição marinha e desenvolvimento excessivo. As estratégias de restauração são ferramentas de mitigação – instrumentos para ganhar tempo para os recifes, enquanto as causas raiz de seu declínio devem ser abordadas globalmente. Como "canários na mina de carvão" do ambiente marinho, os recifes de coral nos alertam sobre mudanças mais amplas no oceano. Sua preservação não é apenas sobre manter a beleza natural – é sobre proteger a segurança alimentar, os meios de subsistência e a identidade cultural de centenas de milhões de pessoas ao redor do mundo. O futuro dos recifes de coral está em nossas mãos. Cada decisão que tomamos – desde as políticas climáticas globais até as escolhas de protetor solar individual – pode fazer a diferença entre um oceano com recifes prósperos ou um mundo onde esses ecossistemas extraordinários se tornam apenas memórias em livros de história.

Referências

- Hughes, T. P. et al., 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543, pp. 373–377.
- Hoegh-Guldberg, O. et al., 2017. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318, pp. 1737–1742.
- Mellin, C. et al., 2016. Marine protected areas increase resilience among coral reef communities. *Ecology Letters*, 19(6), pp. 629–637.
- Sully, S. et al., 2022. Coral reef bright and dark spots through climate change. *Global Change Biology*, 28, pp. 4055–4071.
- Van Hooidonk, R. et al., 2016. Local-scale projections of coral reef futures and implications of the Paris climate agreement. *Scientific Reports*, 6, 39666.



ANTÁRTICA: TESTEMUNHOS DE GELO

Flavia Sant'Anna Rios^{1,2,3}; Júlia Beatriz Ferreira Carvalhal Santos¹
Ana Paula Nascimento Corrêa⁵, Ananda Karla Alves Neundorf⁵, Lucélia
Donatti^{1, 4, 5}

¹ Departamento de Biologia Celular – Setor de Ciências Biológicas – UFPR

² Mestrado Profissional em Ensino de Biologia – Setor de Ciências Biológicas – UFPR

³ Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGECM) – Setor de Ciências Exatas – UFPR

⁴ Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular (PPGBCM) – Setor de Ciências Biológicas – UFPR

⁵ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (PPGECO) – Setor de Ciências Biológicas – UFPR



Grupo Ciência Interativa

Coordenação: Profa. Dra. Flavia Sant'Anna Rios

O Ciência Interativa desenvolve pesquisas voltadas à criação e avaliação de materiais didáticos inovadores para o ensino de Ciências e Biologia, com ênfase em metodologias ativas, recursos lúdicos e experimentais. As investigações ocorrem em articulação com escolas públicas, permitindo testar e aperfeiçoar práticas pedagógicas em contextos reais de ensino. Além disso, o grupo realiza ações extensionistas voltadas à formação de professores da educação básica, promovendo a apropriação crítica dos materiais produzidos e o fortalecimento da prática docente. Um dos temas de destaque nas ações de pesquisa e desenvolvimento didático é o estudo das regiões polares e das mudanças climáticas, abordado de forma interdisciplinar e contextualizada, contribuindo para a ampliação do repertório docente e a sensibilização de estudantes sobre questões socioambientais globais.





Laboratório de Biologia Adaptativa

Coordenação: Profa. Dra. Lucélia Donatti

O Laboratório de Biologia Adaptativa desenvolve, de forma integrada, estudos com peixes tropicais e antárticos, analisando seu comportamento e fisiologia frente às alterações das condições ambientais (temperatura, salinidade, microplásticos, poluentes, dentre outros) e possibilitando uma avaliação multidisciplinar dos mecanismos celulares e respectivas respostas biológicas. Saídas de campo em diferentes ambientes aquáticos, incluindo a Antártica, são realizadas visando coletas, experimentação de peixes e processamento de amostras nos laboratórios do Departamento de Biologia Celular/UFPR e/ou instituições de pesquisa colaboradoras nacionais ou internacionais. A disseminação do conhecimento e a qualificação de jovens pesquisadores, com ênfase em Ciência Antártica, também são prioridades do Laboratório. Alunos estão matriculados em diferentes programas de Pós-Graduação da UFPR e a disseminação do conhecimento é realizada através da publicação de trabalhos em revistas científicas especializadas, participação em congressos e similares e palestras ministradas para alunos do ensino fundamental e médio de escolas de Curitiba.

Água e gelo na Antártica

A Antártica é um continente com cerca de 14 milhões de km² que apresenta montanhas, vulcões e outras formações geológicas marcantes. Algo que a diferencia dos outros continentes é a imensa quantidade de gelo que cobre quase toda a sua superfície. Enquanto em outras regiões do planeta a maior parte da terra fica exposta, na Antártica aproximadamente 98% do território está coberto por uma espessa camada de gelo, que pode ultrapassar quatro quilômetros de espessura e forma grandes geleiras acumuladas



ao longo de milhões de anos. No inverno, o congelamento do oceano ao redor do continente faz com que essa camada de gelo se expanda sobre o mar, praticamente dobrando a área do mesmo. Todo esse gelo representa cerca de 70% de toda a água doce do planeta, tornando a Antártica uma das maiores reservas naturais de água da Terra. Embora possua uma enorme quantidade de água, a maior parte está congelada, ou seja, em estado sólido, havendo pouca água líquida disponível. Por essa razão, paradoxalmente, a Antártica é considerada o maior deserto do mundo!

Este grande deserto é também o local mais frio da Terra. A menor temperatura já registrada foi de $-89,2^{\circ}\text{C}$, documentada na base russa de Vostok na Antártica, a aproximadamente 3.400 m de altitude, no dia 23 de julho de 1983. As temperaturas médias na região central do continente durante o inverno variam entre -30°C e -65°C .

Mas por que essa região é tão fria? São vários os fatores que contribuem para isso. Primeiro, devemos considerar que a Antártica está localizada no Hemisfério Sul, quase inteiramente dentro das latitudes 60° e 90° S, ou seja, dentro do chamado Círculo Polar Antártico. Devido à inclinação do eixo da Terra, os raios solares atingem essa região de forma muito inclinada, espalhando a energia solar por uma área maior e tornando o aquecimento menos eficiente. Por essa razão, mesmo durante o verão, a região não recebe calor suficiente para esquentar significativamente.

Com isso, ao longo de milhões de anos, a neve acumulada ano após ano não derrete, fazendo com que ela se acumule cada vez mais e vá se compactando devido ao seu próprio peso. Como se isso não bastasse, o gelo e a neve, por serem brancos, refletem grande parte dos raios solares que chegam à superfície, ao invés de absorvê-los. Estima-se que cerca de 85% da luz solar que alcança o continente seja refletida de volta para o espaço pela extensa camada de gelo e neve, que cobre a maior parte do continente. Essa alta capacidade de reflexão, conhecida como efeito albedo, impede que o calor seja retido pela superfície, contribuindo ainda mais para o clima extremamente frio da Antártica.



Se considerarmos toda a água existente na Terra, a grande quantidade de água armazenada na forma de gelo na Antártica influencia diretamente o equilíbrio hídrico dos demais continentes. A água está em constante circulação por meio do ciclo hidrológico: quanto mais gelo derreter na Antártica, mais água será liberada para os oceanos. Isso aumenta a quantidade de água disponível para evaporar nas regiões mais quentes do planeta, o que, por sua vez, pode resultar em mais chuvas em outras partes do mundo. Assim, o gelo da Antártica não é apenas uma reserva congelada, mas parte fundamental de um ciclo dinâmico que conecta o clima e a disponibilidade de água em escala global.

A Antártica como uma testemunha da história do planeta

Na Antártica, a água congelada ao longo de milhares e até milhões de anos funciona como um verdadeiro arquivo natural da Terra. À medida que a neve se acumula, pequenas bolhas de ar ficam aprisionadas entre os cristais de gelo, preservando amostras da atmosfera daquele período. Com o tempo, essas camadas se compactam, formando o que os cientistas chamam de testemunhos de gelo — cilindros retirados por perfuração em grandes profundidades. Quanto mais profundo o gelo, mais antigo é o ar contido nessas bolhas. Estudando esses testemunhos, os pesquisadores conseguem reconstruir a composição da atmosfera em diferentes momentos da história do planeta, incluindo as concentrações de gases como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), bem como poluentes e radiação. Essas análises ajudam a compreender as variações naturais do clima ao longo do tempo e a avaliar as mudanças provocadas pelas ações humanas nas últimas décadas.



ANTÁRTICA

TESTEMUNHOS DE GELO

Na Antártica, a água congelada e acumulada ao longo de milhares de anos guarda, em pequenas bolhas de ar, amostras da atmosfera do passado. Quanto mais profundo é o gelo, mais antigas são essas amostras. Ao estudá-las, os cientistas conseguem revelar a composição da atmosfera em diferentes períodos da história.

2016

O dióxido de carbono era 1,5 vezes maior que no período pré-industrial

1970

O metano é o dobro do registrado nos últimos 800 mil anos, e o cobre foi detectado devido à intensa mineração

1915

O dióxido de carbono excede qualquer nível detectado nos últimos 800 mil anos

1870

Níveis de metano superaram os dos últimos 800 mil anos devido à queima de combustíveis fósseis

Fonte:


1975

Deteção do inseticida DDT, intensamente usado para controlar pragas agrícolas e combater doenças

1954

Substâncias radioativas geradas em testes com bombas atômicas foram detectadas

1889

O início da poluição global por chumbo foi detectado, coincidindo com a intensa atividade mineradora

1750

Elevação da concentração de dióxido de carbono devido ao desmatamento para uso do solo



O Oceano Austral e o clima global

O Oceano Austral é o principal meio de conexão entre os oceanos Atlântico, Índico e Pacífico, promovendo trocas de energia, calor e matéria que desempenham um papel fundamental no controle do clima global. As águas geladas da Antártica são muito ricas em nutrientes. Além disso, são muito densas porque têm baixa temperatura e alta salinidade. Por isso, elas afundam e dão origem a correntes profundas que percorrem os oceanos. Quando essas águas frias se deslocam em direção ao norte e alcançam regiões mais quentes, próximas à linha do Equador, elas começam a se aquecer. Com o aumento da temperatura, tornam-se menos densas e sobem à superfície. Esse movimento de afundamento nas regiões polares e de subida em áreas tropicais provoca a circulação oceânica, que ajuda a distribuir calor, nutrientes e gases por todo o planeta, influenciando o clima e os ecossistemas marinhos.

Com isso, as águas profundas e ricas em nutrientes provenientes da Antártica acabam influenciando a produtividade de regiões oceânicas em outras partes do mundo. Quando essas águas retornam à superfície, alimentam ecossistemas marinhos e favorecem o crescimento do fitoplâncton — base da cadeia alimentar oceânica. Esse processo afeta diretamente os estoques pesqueiros em diversas regiões, incluindo a América do Sul e o litoral brasileiro. Portanto, o Oceano Austral é fundamental para a sustentabilidade da pesca em escala global.

Além disso, o Oceano Austral exerce papel importante na regulação do dióxido de carbono (CO_2), um dos principais gases de efeito estufa, ao promover trocas entre a água do mar e a atmosfera. Os ventos intensos característicos da região, somados à alta produtividade de microalgas durante o verão, favorecem o intenso sequestro de carbono da atmosfera para o oceano. Esse processo natural contribui para a mitigação do aquecimento global, tornando o Oceano Austral uma peça-chave no equilíbrio climático do planeta.



A Biodiversidade na Antártica

Dá para imaginar que as condições climáticas da Antártica são extremamente desafiadoras para a existência da vida. Além das baixíssimas temperaturas, a maior parte do solo permanece permanentemente congelada, o que impede o desenvolvimento de plantas com raízes profundas. Por isso, a escassa vegetação antártica, restrita principalmente às áreas costeiras, é composta quase exclusivamente por musgos e por algumas poucas gramíneas. Além dessas plantas, também estão presentes líquens e algas, que, embora sejam organismos fotossintetizantes, não são considerados plantas. Essas formas de vida ficam expostas apenas no verão, sendo cobertas por neve durante o inverno. Outro fator que limita a presença desses organismos é o regime de luz. Devido à posição geográfica da Antártica, os dias de inverno são marcados por escuridão quase total, enquanto os de verão apresentam longos períodos de claridade. Essa variação extrema no fotoperíodo dificulta a sobrevivência de organismos que dependem da luz solar para produzir nutrientes.

Como consequência, o ambiente não é nada favorável para animais herbívoros, que não encontrariam vegetação suficiente para sobreviver. Mesmo para os carnívoros, as condições inóspitas do inverno tornam a permanência em terra inviável, forçando muitos a migrar em busca de alimento. Essas migrações só podem ocorrer por dois caminhos: pelo ar, como fazem as aves migratórias, ou pelo mar, como é o caso das baleias, focas e pinguins. Não há rotas terrestres de migração, já que a Antártica é completamente isolada pelo Oceano Austral. Portanto, a grande maioria dos animais antárticos é marinha ou altamente dependente do oceano.

Suas águas profundas e frias circulam com velocidade ao redor do continente, criando uma barreira natural que dificulta o deslocamento de animais menores, como peixes e invertebrados, para dentro ou para fora da região antártica. Essa combinação de isolamento geográfico e condições extremas favorece o alto grau de endemismo na fauna antártica, ou seja, muitas espécies existem apenas na Antártica e em nenhum outro lugar



do planeta. Esses animais são altamente adaptados ao frio, produzindo proteínas especiais que evitam o congelamento de seu sangue e demais fluidos corporais.

Dentre os invertebrados antárticos, destaca-se o krill, um pequeno crustáceo que desempenha um papel essencial na cadeia alimentar marinha. Embora sejam pequenos, esses animais, que lembram camarões, são incrivelmente abundantes. Estima-se que, se fosse possível pesar todos os krills da Antártica, sua massa total superaria a de toda a população humana do planeta. Essa impressionante abundância, aliada ao alto valor nutritivo do krill, atrai uma enorme variedade de animais — como baleias, focas, pinguins e aves marinhas — que retornam à Antártica a cada verão em busca de alimento.

Como as mudanças climáticas e as ações humanas afetam a Antártica

Tendências recentes de aquecimento atmosférico e do oceano vêm sendo observadas, especialmente ao redor da Península Antártica — uma das regiões mais sensíveis às mudanças climáticas. O aumento das temperaturas vem sendo registrado desde meados do século XX, com relatos atuais de até 3 °C em ambientes marinhos rasos da região. Projeções climáticas indicam que, até o fim do século XXI, algumas áreas costeiras do Oceano Austral poderão aquecer ainda mais, com elevação de até 2 °C adicionais.

Uma das principais consequências desse aquecimento é o derretimento acelerado das geleiras e a redução da cobertura de gelo marinho ao longo da Península Antártica. Isso provoca o aumento da quantidade de água doce no mar, o que reduz a salinidade e a alcalinidade total da água. Além disso, há alterações nas correntes oceânicas e aumento da presença de poluentes, como os microplásticos.

Estudos recentes apontam sinais crescentes de antropização dos ecossistemas antárticos, ou seja, de impactos causados por atividades humanas. A acidificação dos oceanos, por exemplo, altera a disponibilidade de nutrientes e as cadeias alimentares,



afetando a reprodução, a alimentação e os mecanismos de defesa de muitos organismos marinhos. A introdução de espécies não nativas, favorecida pelo turismo e pela navegação, também contribui para o desequilíbrio ecológico.

Diante dessas transformações, torna-se urgente investir em pesquisa, conservação e cooperação internacional para mitigar os impactos das mudanças climáticas e proteger esse ecossistema único, extremamente sensível e rico em biodiversidade.

Antártica: um continente dedicado à paz e à ciência

Desde meados do século passado, a Antártica é regida pelo Tratado da Antártica, um acordo internacional que estabelece que o continente deve ser usado exclusivamente para fins pacíficos e para a promoção da cooperação científica. Proibindo atividades militares, testes nucleares e qualquer forma de exploração mineral com fins comerciais, o tratado define a Antártica como um território dedicado à pesquisa e à preservação ambiental. Essa perspectiva reforça a importância da ciência como ferramenta central para compreender e proteger um dos ambientes mais extremos e sensíveis do planeta.

As expedições científicas brasileiras à Antártica são coordenadas pela Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), em parceria com a Marinha do Brasil e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tendo também o apoio da Aeronáutica.

A Universidade Federal do Paraná (UFPR) participa ativamente desse esforço internacional. Sua ligação com o continente antártico começou ainda nos primeiros anos da presença científica brasileira na região, com a atuação de pesquisadores, como Metry Bacila (*in memoriam*) e Edith Susana Elisabeth Fanta (*in memoriam*), na Operação Antártica II (1983/1984), e se consolidou com a criação da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) na Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, no Arquipélago das Shetlands do Sul, em 1984. Desde então, projetos coordenados por docentes do Setor de Ciências



Biológicas têm contribuído significativamente para o avanço do conhecimento sobre a biodiversidade e os impactos ambientais na região.

A atuação da universidade, especialmente do Setor de Ciências Biológicas e do Departamento de Biologia Celular, no âmbito do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), consolidou-se ao longo das décadas. Entre os projetos inicialmente coordenados pela Professora Dra. Edith Susana Elisabeth Fanta, destacam-se:

“Evolução e Biodiversidade na Antártica: uma resposta da vida a mudanças.”

“Biologia Integrativa de peixes nos ecossistemas Antártico e subtropical.”

“Áreas protegidas: ferramenta para manutenção da biodiversidade.”

“Comportamento alimentar, nutrição e bioenergética de peixes e seu papel no ecossistema.”

A professora Edith Fanta deixou um legado significativo de pesquisas e formação de recursos humanos, tendo orientado pesquisadores e docentes que hoje atuam tanto na UFPR quanto em outras instituições do país e do exterior.

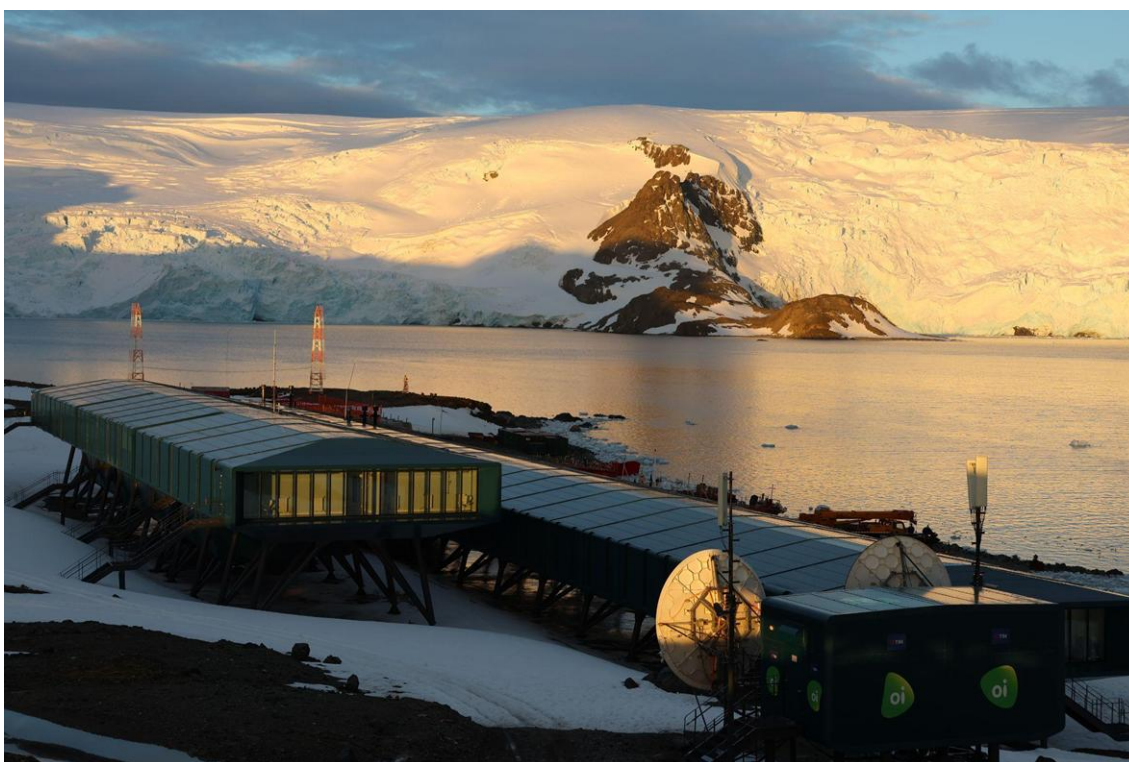


Figura 1. Estação antártica Comandante Ferraz (EACF) localizada na ilha Rei George, South Shetlands, Antártica. **Fonte:** Acervo do Projeto FRAGILMAR (UFPR).

Há mais de dez anos, novos projetos vêm sendo conduzidos pela Professora Lucélia Donatti, do Laboratório de Biologia Adaptativa (<https://biologiaadaptativa.com.br/sobre/>), vinculado ao Departamento de Biologia Celular. Entre os projetos em andamento está o “FRÁGILMAR – Fragilidade do Ecossistema Antártico: Investigando os impactos da ação humana no metabolismo e na biodiversidade dos organismos marinhos austrais”. Esse projeto tem como objetivos:

- Realizar o levantamento das espécies de peixes da Baía do Almirantado e Península Antártica por meio de DNA ambiental (eDNA);
- Detectar e quantificar contaminantes ambientais (como nanopartículas plásticas, metais, poluentes orgânicos persistentes e contaminantes emergentes) em peixes e gastrópodes da Baía do Almirantado;
- Avaliar experimentalmente, nos laboratórios da Estação Antártica Comandante Ferraz, os efeitos de estressores ambientais (temperatura, salinidade, pH, metais e nanopartículas plásticas) em peixes (*Notothenia rossii* e *N. coriiceps*) e gastrópodes (*Nacella concinna*), utilizando proteômica e transcriptômica.

Além da pesquisa científica, o FRÁGILMAR também tem como meta a formação de recursos humanos em ciência antártica. Estudantes de mestrado e doutorado dos programas de pós-graduação em Biologia Celular e Molecular (PPGBCM) e em Ecologia e Conservação (PPGECO), ambos vinculados ao Setor de Ciências Biológicas da UFPR, estão diretamente envolvidos e desenvolvem suas dissertações e teses com base nas pesquisas realizadas na região.



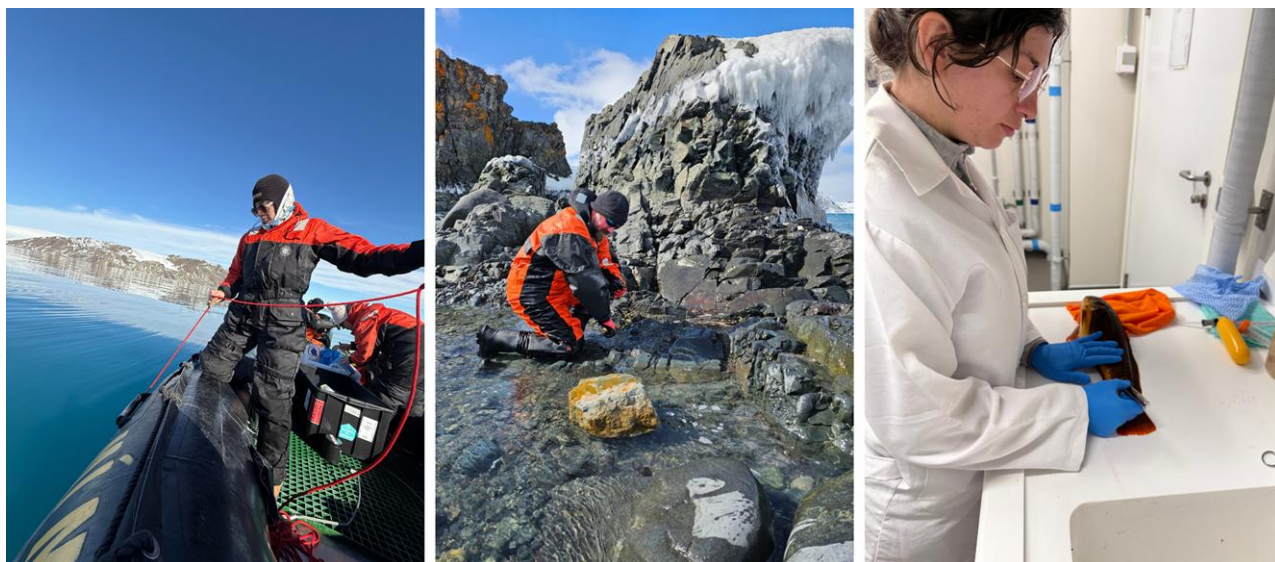
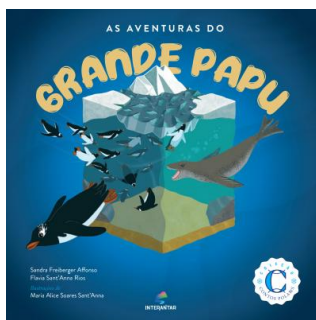


Figura 2. Atividades de pesquisa na estação antártica Comandante Ferraz e em suas proximidades, ilha Rei George, Antártica. **Fonte:** Acervo do Projeto FRAGILMAR (UFPR).

O trabalho pioneiro da Professora Edith Fanta teve continuidade na trajetória das professoras Flavia Sant’Anna Rios e Sonia Regina Grötzner, que participaram durante muitos anos dos projetos de pesquisa com peixes antárticos. Com mais de três décadas de atuação, ambas seguem contribuindo para a valorização da ciência antártica no âmbito do grupo Ciência Interativa, do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia (PROFBIO) e do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGECM). Atualmente, dedicam-se à popularização da ciência, divulgação científica e educação científica, coordenando projetos de extensão, redigindo livros paradidáticos, elaborando recursos educacionais — incluindo jogos didáticos — e promovendo cursos de formação para professores de Ciências e Educação Ambiental, com foco na abordagem da temática antártica nas escolas. Suas ações têm forte presença na rede municipal de ensino de Curitiba, aproximando o conhecimento científico do cotidiano escolar de maneira acessível, crítica e criativa. O Grupo Ciência Interativa atua em parceria com o Programa InterAntar da UFABC e vários dos seus produtos educacionais podem ser gratuitamente acessados em www.interantar.com. Dentre eles, destacam-se:





Livro: "As Aventuras do Grande Papu"



Livro: "Urso-polar come pinguim?"



Livro: "¿Y si yo fuera una pingüina?"



Jogo: "Desafio Ambiental"



Jogo: "Adapta ou Extingue?"



Jogo: "Fenômenos Climáticos"

Figura 3 - Alguns materiais didáticos desenvolvidos pelo Programa Ciência Interativa (UFPR) em parceria com o programa INTERANTAR (UFABC). **Fonte:** Acervo do Programa de Extensão Ciência Interativa (UFPR)



REALIZAÇÃO:



PROPG
Pró-Reitoria de
Pós-Graduação



PROEC
Pró-Reitoria de
Extensão e Cultura

UFPR
Biológicas



PROFBIO
Mestrado Profissional
em Ensino de Biologia



COLABORAÇÃO:



FINANCIAMENTO:

