

A vida marinha no limite: em busca das adaptações fisiológicas

Você sabia que existe vida em mares com temperaturas abaixo de zero? Já parou para pensar que muitos seres marinhos não têm uma gota de água sequer para beber no oceano?

Mas como os organismos sobrevivem nessas situações? Quais são as adaptações diante dos desafios impostos pela natureza que os permitem habitar ambientes tão diferentes?

O peixe-gelo (família Channichthyidae) está adaptado a viver nos mares congelantes da Antártica. - Doug Allan.

Todo ser vivo está sujeito às mudanças naturais do ambiente: alguns dias são quentes e ensolarados, outros frios e nublados; há períodos de seca e também de chuvas; o alimento pode estar abundante ou escasso. Essas e outras variações, quando extremas, podem limitar a sobrevivência de alguns organismos. Entretanto, outros se adaptam ao longo do tempo - normalmente milhares ou milhões de anos -, ajustando o funcionamento de suas células, tecidos ou órgãos diante das alterações ambientais. Compreender como as diferentes formas de vida funcionam sob as mais distintas situações é um dos objetivos de pesquisa da **Fisiologia**. Nos ambientes marinhos, os estudiosos da Fisiologia, chamados fisiologistas, têm especial curiosidade em entender como os organismos se ajustam a duas condições naturais: a **temperatura** e a **salinidade**.

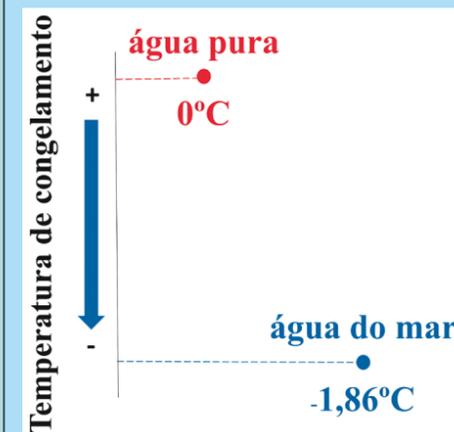


Pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) podem ser vistos no Litoral Norte de São Paulo durante o inverno, migrando da Patagônia, no sul da América do Sul. Ao longo do percurso, a espécie cruza um gradiente de temperatura entre aproximadamente 5°C e 27°C, mantendo, contudo, a temperatura corpórea estável de 38°C a 40°C.



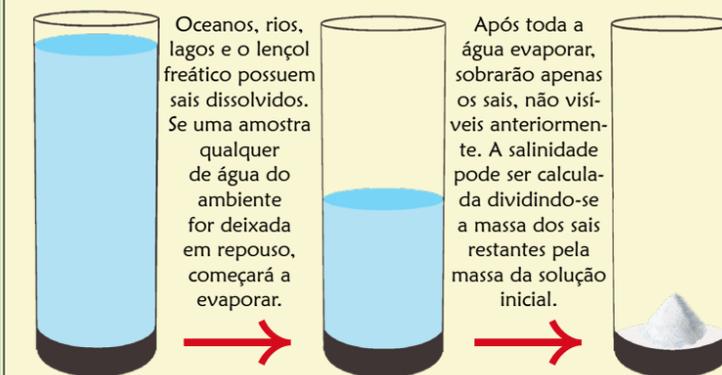
Os caranguejos chama-marés (família Ocypodidae) habitam regiões costeiras tropicais e subtropicais, sendo típicos de estuários, ambientes em que a água salgada do mar se mistura com a água doce do deságue de rios. Nesses locais, estão sujeitos a oscilações de salinidade da água, ocasionadas, sobretudo, pelas variações da maré, mas também por ressacas do mar e pelo regime de chuvas.

Todas as moléculas - sejam dos seres vivos ou da matéria inanimada - se agitam muito ou pouco, dependendo da quantidade de calor (energia térmica) trocado com elas. A temperatura é a medida do grau de agitação molecular, percebida por nós pelas sensações de quente (mais energia, maior agitação) e frio (menos energia, menor agitação). No meio marinho, a temperatura da água varia de pouco mais de 30°C nas regiões tropicais a por volta de -2°C nas zonas polares.



Sabemos que o gelo se forma a 0°C. No caso da água do mar, contudo, o ponto de congelamento (ou solidificação) é deslocado para baixo. Isso tem a ver com a quantidade de sais dissolvidos nos oceanos (veja o quadro abaixo). A presença dos sais entre as moléculas de água dificulta o arranjo delas para formar a estrutura sólida do gelo. Para que isso ocorra, a temperatura tem que ser mais baixa. Assim, em condições de salinidade média, a água do mar se congela a -1,86°C.

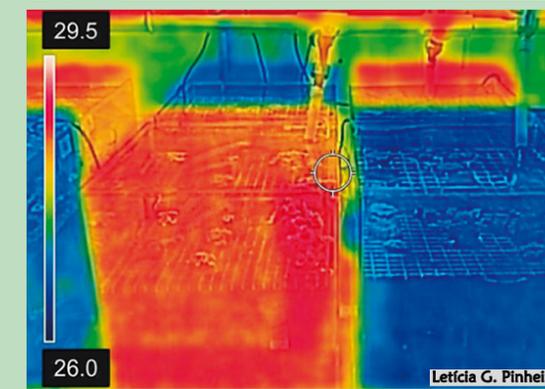
A salinidade indica a quantidade de sais dissolvidos na água. Em média, 1 kg de água do mar contém 35 g de sais, ou seja, salinidade de 3,5%. Alguns mares têm salinidade menor, como o Mar Báltico, ao redor de 0,8% - como comparação, a salinidade de rios e lagos ronda 0,05%. No outro extremo, a salinidade do Mar Morto alcança 34%! Entre os sais constituintes da água marinha, destacam-se os íons sódio (Na⁺) e cloreto (Cl⁻) - responsáveis por até 90% da salinidade -, além de sulfato (SO₄²⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺) e bicarbonato (HCO₃⁻).



A adaptação fisiológica é um dos temas centrais nos estudos em Biologia Marinha. As pesquisas podem se dar por meio de observações de campo, ou seja, no ambiente natural em que os seres vivem, mas também pela experimentação, tanto no campo quanto em laboratório. Os **experimentos** são como "parques de diversão" em que podemos "brincar" com temperatura, salinidade, intensidade de luz, fotoperíodo, alimento, gases, pressão, entre outras variáveis ambientais. Eles nos possibilitam manipular as variáveis de interesse, estabelecer os controles apropriados e neutralizar os fatores que poderiam fragilizar as relações de causa e efeito. Dessa forma, ajudam a melhor entender como a vida funciona diante das distintas condições impostas pela natureza - inclusive no contexto de **mudanças climáticas** e **poluição ambiental**.



Podemos estudar as adaptações dos corais por meio de um sistema experimental que é basicamente o oceano em laboratório: a água vem direto do mar para os aquários e uma iluminação azulada simula a luz natural penetrando no mar (imagem acima). Dessa forma, o sistema mantém as características naturais do ambiente, com exceção da variável de interesse a ser manipulada - no exemplo, a temperatura. Enquanto a água de alguns aquários é aquecida, a de outros é mantida à temperatura ambiente, o que pode ser visto na imagem abaixo, obtida com uma câmera termográfica.



Realização:
CENTRO DE BIOLOGIA MARINHA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CEBIMar USP

Apoio:
PRCEU USP
pré-reitoria de cultura e extensão universitária

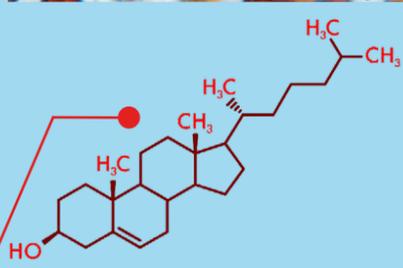
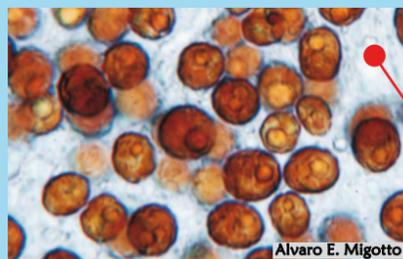
TEXTO: Samuel C. Faria e Luciano D. S. Abel
DIAGRAMAÇÃO: Luciano D. S. Abel
PRIMEIRA EDIÇÃO: julho de 2024

BAIXE ESTE
FOLHETO
COM O
CÓDIGO AO
LADO.



VEJA ALGUMAS ADAPTAÇÕES DA VIDA MARINHA A DIFERENTES TEMPERATURAS DOS OCEANOS

Uma situação desfavorável enfrentada pelos seres vivos em ambientes quentes se refere ao envoltório de suas células, a **membrana plasmática**. Ela é constituída majoritariamente por lipídios, classe de moléculas que inclui óleos e gorduras e que ficam mais fluidas sob altas temperaturas - lembre-se da manteiga derretendo ao ser aquecida. Membranas plasmáticas muito fluidas perdem parte importante de suas funções, pois deixam de regular a entrada e saída de substâncias da célula - a famosa **permeabilidade seletiva** -, ocasionando distúrbios fisiológicos aos organismos. Uma adaptação é a presença de mais moléculas de **colesterol nas membranas plasmáticas** de espécies de regiões quentes, quando comparada àquelas de climas frios. Como o colesterol possui maior estabilidade que outros lipídios sob temperaturas elevadas, confere mais solidez à membrana plasmática. É análogo à brita adicionada à argamassa com intuito de dar maior firmeza ao concreto de uma construção.



Outro exemplo de adaptação a águas quentes ocorre com certos corais que possuem associação com microalgas fotossintetizantes chamadas **zooxantelas**. Essas microalgas vivem nas células dos corais e compartilham com eles nutrientes importantes para sua saúde. Em contrapartida, os corais oferecem às zooxantelas proteção contra herbivoria e uma posição favorável na coluna d'água. É uma união em que ambos obtêm vantagens. Sob altas temperaturas, entretanto, essas microalgas aumentam a produção de substâncias tóxicas aos corais e estes, como adaptação, as expulsam, perdendo a pigmentação e expondo a cor branca do seu esqueleto adjacente - fenômeno conhecido como **branqueamento** e ocasionado, especialmente, pelo **aquecimento dos oceanos**. No entanto, ficar sem zooxantelas por muito tempo deixa os corais desnutridos, sem capacidade de crescimento e reprodução, podendo levá-los à morte, o que prejudica o equilíbrio ecológico dos recifes de corais do planeta, bem como das formas de vida que deles dependem.

DESCUBRA COMO OS SERES VIVOS SE ADAPTAM À SALINIDADE DOS DIFERENTES AMBIENTES MARINHOS

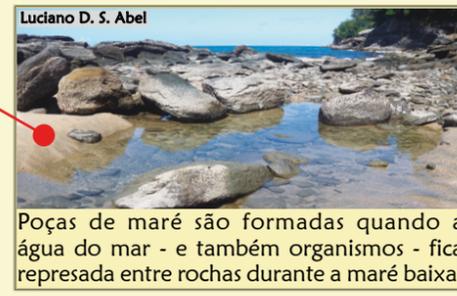
Microrganismos, algas, plantas e invertebrados marinhos normalmente possuem uma relação **isomótica** com o mar, ou seja, a concentração de sais dos seus fluidos é igual ou próxima à água circulante. Neste contexto, os sais têm fluxo livre - tanto de entrada, quanto de saída - nos corpos e células. Embora não exista muito controle fisiológico sobre essa movimentação, a salinidade desses organismos é bastante estável, já que a água do mar também é. Essa relação é bem diferente em ambientes marinhos instáveis, como o **entremarés** e **estuários**, onde a salinidade varia em função do regime pluvial, fluxo de água doce dos rios e ciclo das **marés**: diminui bastante com chuvas abundantes, especialmente durante a maré baixa, ou sobe muito devido à evaporação da água em dias quentes e ensolarados, sobretudo nas **poças de maré**. Pode ocorrer ainda uma mistura da água salgada do mar com a água doce dos rios, formando o que chamamos de **água salobra**. A variação de salinidade bastante dinâmica desses locais configura-se em um obstáculo para muitos organismos. Aqueles capazes de ocupar essas regiões apresentam uma fisiologia mais versátil: crustáceos, por exemplo, tendem a manter a estabilidade osmótica captando sais quando o meio dilui ou secretando-os quando o meio está mais concentrado.



Manguezais (foto), marismas e outros ecossistemas marinhos são típicos de regiões estuárias, situadas junto à desembocadura de rios.



As chamadas lágrimas de tartaruga são um líquido viscoso, concentrado em sais e produzido por glândulas de sal localizadas próximas aos olhos. Ao observar essa secreção, lembre-se de que a tartaruga não está chorando, mas sim eliminando o excesso de sal do seu corpo.



Poças de maré são formadas quando a água do mar - e também organismos - fica represada entre rochas durante a maré baixa.

Os vertebrados também apresentam mecanismos de controle do conteúdo interno de sais e água. Nesse sentido, será que todos eles bebem água para se hidratarem? A resposta depende do grupo de vertebrados em questão. **Tubarões** e raias, por exemplo, não bebem água. Eles acumulam substâncias orgânicas como a **ureia**, de forma que a água entra em seus corpos por **osmose** - sem ingerir, portanto. Uma certa carga de sais acompanha essa água e é expelida - com gasto energético - por **glândulas de sal** presentes no reto. Peixes ósseos, répteis e aves marinhas hidratam-se bebendo a própria água do mar. Contudo, junto com a água é ingerida uma elevada quantidade de sal, devolvida ao mar com **gasto de energia**, como nos peixes cartilaginosos. No entanto, répteis e aves marinhas possuem glândulas de sal nas narinas, nas **órbitas oculares** ou na língua, enquanto que o sal dos peixes ósseos é secretado pelas brânquias. Já os mamíferos marinhos (baleias, golfinhos, peixes-boi, leões-marinhos, focas, entre outros) não bebem água do mar para se hidratarem. Sua estratégia consiste em retirar água dos alimentos que consomem e retê-la nos seus corpos por meio de **rins** bastante eficientes em concentrar a urina, bem como via um sistema respiratório que resfria o ar exalado, condensando a água que seria perdida na forma de vapor. Assim, os vertebrados marinhos, curiosamente, possuem algo em comum com os camelos: não têm acesso fácil à água. Enquanto os camelos percorrem quilômetros no deserto para encontrar água doce, os vertebrados marinhos gastam energia para retirar o sal da água do mar a fim de se hidratarem. Conseguir água pode ser desafiador para os camelos, mas também não deixa barato aos vertebrados marinhos. O preço é salgado!

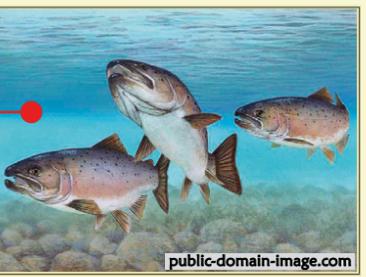
Enós humanos, podemos beber água do mar para nos hidratar? A matemática explica: nossos rins têm a capacidade de depurar 6 g de sódio do sangue para cada litro de urina formada, e a água do mar contém 12 g de sódio por litro. Isso significa que nossos rins devem eliminar mais água do que aquela contida no volume ingerido para excretar esse excesso de sal que vem com a água do mar, agravando a desidratação. Não nos beneficiamos, portanto, da ingestão de água salgada. Assim, na falta de água doce no meio do oceano, resta-nos chorar - embora as lágrimas sejam isomóticas ao nosso sangue e não ajudariam a jogar o sal pra fora do corpo, como ocorre nas tartarugas.

A VIDA MARINHA NOS EXTREMOS



O **Mar Morto** é um dos corpos d'água com maior salinidade do planeta. Situado entre Israel e Jordânia, ele é tão salgado que a grande maioria das formas de vida não consegue sobreviver nas suas águas - daí seu nome. Mas esse grande lago salino (ou mar fechado) não é de fato morto: microrganismos, principalmente bactérias, vivem suspensos na água ou associados ao fundo.

Entre os seres marinhos, existem também aqueles que adentram em rios e lagos. Um exemplo clássico é o **salmão**, peixe natural do hemisfério norte que pode nadar até alguns poucos milhares de quilômetros rio acima para se reproduzir. Na transição do mar para a água doce, os salmões alteram sua **osmorregulação**, mantendo seu conteúdo interno de sais.



Em mares polares, os organismos apresentam diferentes adaptações diante da possibilidade de congelamento. Mamíferos e aves marinhas possuem um metabolismo que gera calor (**endotermia**) e contam com uma espessa camada de gordura e pelos ou penas que os isolam, reduzindo a perda do calor gerado para o ambiente. Já os animais que não apresentam a capacidade de produzir o próprio calor (**ectotermia**) utilizam, basicamente, dois mecanismos principais:

1) **Sobrefusão**. É a manutenção da fase líquida mesmo abaixo do ponto de congelamento. Pense numa garrafa de cerveja deixada por muito tempo no congelador. Ao ser retirada, pode estar ainda no estado líquido, mas um movimento abrupto ou o calor das mãos faz com que a cerveja se congele completamente. Esses estímulos são chamados **agentes nucleadores de gelo** porque desencadeiam o congelamento. Para entender melhor, pense em um batalhão: os soldados espalhados pelo quartel correspondem ao estado líquido. Com uma ordem superior, alinham-se organizadamente em bloco, o que representa o estado sólido. Nos corpos dos animais, os agentes nucleadores de gelo são partículas que produzem um efeito análogo à ordem superior no batalhão, pois funcionam como um sinal para direcionar a organização dos cristais de gelo. Certos ectotermos de regiões polares reduzem os níveis de agentes nucleadores de gelo e, assim, mantêm os fluidos corpóreos não congelados, mesmo abaixo da temperatura de congelamento da água.

2) **Substância anticongelativas**: Alguns ectotermos (como os peixes-gelo da Antártica) apresentam adaptações genéticas e fisiológicas que os tornam capazes de produzir **proteínas anticongelativas** quando os dias começam a ficar mais curtos e frios, típicos do outono e inverno. Essas moléculas se aderem aos cristais de gelo em formação, impedindo sua expansão e congelamento do animal.

