

# Antártica e Mudanças Climáticas Globais

<sup>1</sup>\*Cecilia Nahomi Kawagoe Suda; <sup>2</sup> Marcelo Freitas Santini; <sup>1</sup>Edson Rodrigues

<sup>1</sup> Instituto Básico de Biociências e Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP.

e-mail: [cnksuda@hotmail.com](mailto:cnksuda@hotmail.com), [marcelo.santini@inpe.br](mailto:marcelo.santini@inpe.br), [rodedson@gmail.com](mailto:rodedson@gmail.com)

\* Autor correspondente

**Resumo:** A mesa-redonda Antártica e Mudanças Climáticas Globais foi realizada em 24 de outubro de 2019 durante o VIII Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento, promovido pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Os estudantes de graduação de cursos da área de Biociências constituíram o principal público-alvo, tendo havido a presença de cerca de vinte cinco deles, além da presença de docentes da Universidade de Taubaté. A maioria dos estudantes presentes era do curso de Medicina. Este é um resumo dos principais assuntos apresentados nessa mesa-redonda.

**Palavras chaves:** ciências ambientais, Antártica, clima

**Summary:** The Antarctic and Global Climate Change Roundtable was held on October 24, 2019 during the VIII International Congress of Science, Technology and Development, sponsored by the University of Taubaté (UNITAU). The main target audience consisted of Bioscience undergraduate students. About 25 students attended as well as professors from the University of Taubaté. Most of the attending students were from the Medicine course. This is a summary of the main subjects presented at this roundtable.

**Keywords:** environmental science, Antarctica, climate

## Introdução

Os efeitos do aquecimento global sobre o continente antártico têm sido noticiados pela imprensa, com uma certa regularidade. Imagens do derretimento das geleiras são frequentemente veiculadas. Entre as consequências do aquecimento global que influenciam a vida marinha, incluindo a da Antártica, estão a elevação da temperatura da água, alteração na sua salinidade e a diminuição de seu pH, a qual leva à acidificação dos oceanos. O aumento de temperatura da água do mar já foi verificado em regiões rasas (até 20m de profundidade) dos mares de Bellingshausen e Scotia (Figura 1). Vários organismos antárticos ectotérmicos e endêmicos não são capazes de sobreviver ou manter suas atividades em temperaturas que sejam 5°C acima da temperatura atual. Com relação à salinidade, pode ocorrer tanto uma redução quanto um aumento da mesma. A redução da salinidade pode ocorrer pelo derretimento das geleiras nas regiões costeiras. O aumento já foi registrado no mar de Bellingshausen, no qual já ocorreu uma redução acentuada da formação de gelo marinho durante o inverno e uma consequente diminuição do gelo derretido no verão, reduzindo o volume de água que deveria diluir as águas superficiais dessa área (Morley et al., 2018).

Esta mesa-redonda teve como objetivo apresentar as características climáticas da Antártica e discutir os efeitos do aquecimento global sobre a acidificação dos oceanos e os efeitos sobre a vida marinha antártica.

## Características do continente antártico e seu clima

O continente antártico é dividido em regiões ocidental e oriental (Fig. 2) e é um continente com superlativos: apresenta a maior altitude média (aproximadamente 2.000 m); é o mais seco, como um deserto; e o mais frio, tendo sido já registrado  $-89,2^{\circ}\text{C}$  na estação russa Vostok, na Antártica Oriental, em 1983. Apresenta uma área de quase 14.000.000 km<sup>2</sup>, incluindo todas as ilhas e plataformas de gelo, e ocupa 10% da superfície terrestre. Cerca de 90% da água doce do planeta estão na forma de gelo, e deles, 70 a 80 % encontram-se na Antártica.



Figura 1. Mapa do continente e dos mares antárticos. Antártica Ocidental (1), Antártica Oriental (2), Península Antártica (3), Mar de Bellingshausen (4), Mar de Scotia (5). Figura modificada de: <https://em.m.wikipedia.org/wiki/File:Antarctic-seas-em.jpg>

O Oceano Austral que banha o continente está em conexão com os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (Fig. 2). Do ponto de vista climático e atmosférico, a região central do continente é caracterizada pela presença de um centro de alta pressão permanente, circundado por um cinturão de baixa pressão atmosférica. Na região desse cinturão de baixa pressão, mais especificamente na região da Península Antártica, são formados sistemas transientes que migram para norte e nordeste atingindo o sul do Brasil e o oceano Atlântico sudoeste. Sistemas transientes são grandes porções de massas de ar que se estendem da superfície até médios/altos níveis da atmosfera com características termodinâmicas comuns, como centros de alta e baixa pressão atmosférica que se movimentam de forma organizada transportando características de sua região de formação para diferentes localidades. Esses sistemas transientes evoluem para sistemas atmosféricos como frentes frias e ciclones que acabam influenciando o clima do Brasil e da América do Sul.

O Oceano Austral é caracterizado pela presença da corrente circumpolar antártica (CCA), que é uma corrente oceânica que circula de oeste para leste, misturando e transportando as águas dos três oceanos e regulando os processos de troca de calor e carbono entre a atmosfera e o oceano. O oceano Austral possui grande importância do ponto de vista climático devido a sua capacidade de sequestro de carbono, pois a

solubilidade de CO<sub>2</sub> é aumentada em águas com temperaturas mais baixas. Nas regiões costeiras, como mar de Weddell e Ross, durante processos sazonais de formação de gelo marinho, o sal da água que está congelando é expulso e forma camadas de água mais densas logo abaixo, que por sua vez, contribuem para formação de águas profundas e alimentam a célula de revolvimento meridional (Pellichero et al., 2018). A célula de revolvimento meridional é um complexo sistema de cinturões de circulação oceânica que, devido a diferenças de densidade e temperatura da água do mar, entra em movimento e transporta o calor e gases absorvidos nas altas latitudes para norte e para o restante dos oceanos globais. Ventos catabáticos, que têm origem em regiões mais altas do continente Antártico, transportam o ar mais frio que o observado nas regiões costeiras, causam resfriamento e intensificam os processos de formação de gelo marinho.

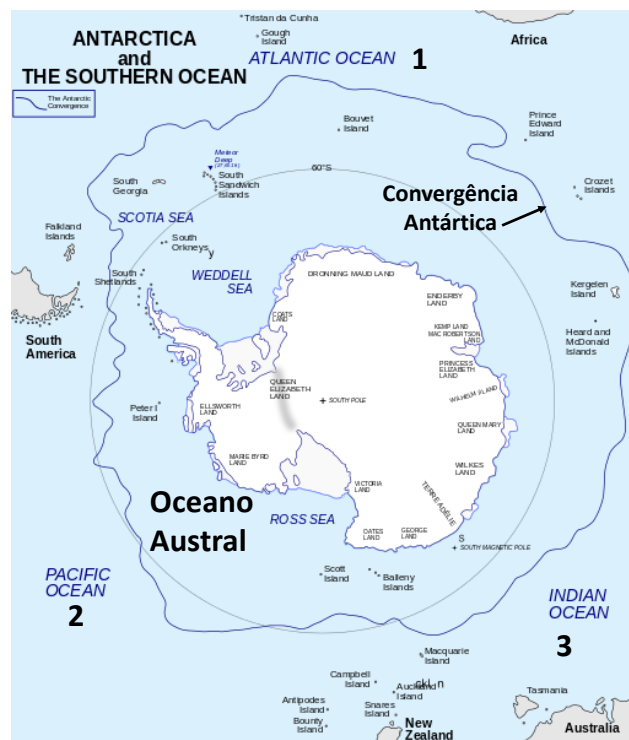


Figura 2. Antártica e os oceanos Atlântico (1), Pacífico (2), Índico (3) e Austral. Convergência Antártica (Zona da Frente Polar Antártica) é o limite onde a água antártica fria e densa encontra e afunda, ficando abaixo da água tépida e menos densa dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (Goldemberg et al., 2011). Figura modificada de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_Southern\\_Ocean\\_and\\_Antarctica.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Southern_Ocean_and_Antarctica.svg)

Na região oriental do continente antártico está ocorrendo um resfriamento, enquanto na região ocidental, especificamente na região da Península Antártica, está havendo um aquecimento. A extensão do gelo marinho do Ártico sofreu um forte declínio de 1979 a 2012 e o gelo marinho da Antártica sofreu um ligeiro aumento, mas algumas regiões da Antártica apresentaram fortes tendências de diminuição na extensão do gelo marinho. O aquecimento das regiões costeiras tem levado ao derretimento das geleiras e à desintegração das plataformas de gelo como Wilkins, Larsen A, B e C, localizadas na região da Península Antártica, alterando importantes processos de trocas entre o oceano

e a atmosfera. Alterações na cobertura de gelo marinho em regiões como o Mar de Weddell têm indicado relação direta com fenômenos atmosféricos como bloqueios, que influenciam diretamente nos padrões de temperatura e precipitação do sudeste e sul do Brasil (Carpenedo, et al., 2013). Um bloqueio atmosférico ocorre quando um sistema de alta pressão atmosférica se instala durante dias em uma determinada região. A presença desse sistema (bloqueio), de acordo com a sua intensidade, pode inibir a propagação para norte de frentes frias que deixam de atingir a região sul e sudeste do Brasil, causando baixos volumes de chuvas.

Outra relação observada entre a sazonalidade da cobertura de gelo marinho na região antártica e o clima na América do Sul é a direção predominante dos sistemas transientes. Durante períodos de máxima concentração de gelo marinho, ciclones extratropicais tendem a se propagar para norte, atingindo e modulando as condições atmosféricas até áreas próximas da Amazônia (friagens, precipitação), já durante o verão, esses sistemas tendem a se propagar para nordeste, causando maior influência nas regiões costeiras da América do Sul e sul do Brasil.

Portanto, as condições das regiões polares influenciam as condições climáticas no Brasil, afetam os oceanos Índico e Pacífico e podem ter efeito no sequestro de carbono da atmosfera. Estudos recentes indicam que o Oceano Austral pode contribuir significativamente para o sequestro de carbono do planeta. O carbono é assimilado pelos fitoplânctons marinhos nesse oceano, bem como em outros oceanos e conduzido para o fundo marinho.

## **Acidificação dos Oceanos**

O aumento da temperatura global não é a única consequência do Efeito Estufa. Esse efeito leva também à acidificação dos oceanos, impactando os seres vivos e gerando também impactos econômicos, que afetam a produção agrícola e a pesca.

O planeta esquentou e esfriou no passado, mas isso ocorreu lentamente. O Oceano Antártico já apresentou temperaturas mais elevadas, semelhantes aos mares subtropicais atuais, e também sofreu resfriamento, havendo oscilações que ocorreram ao longo de milhões de anos. Entretanto, tem sido registrada uma elevação 3°C na temperatura do ar e de 1°C na temperatura da água do mar na Península Antártica nos últimos 50 anos, e isso constitui um aumento significativo, nunca antes visto por processos naturais. Essa elevação tem sido atribuída às atividades humanas que emitem CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O nível de CO<sub>2</sub> no ar, é atualmente da ordem de 415 ppm. Os oceanos sorvem 24.000.000 t de CO<sub>2</sub> por dia. Isso gera um impacto no mar, principalmente sobre os organismos vivos e conseqüentemente sobre a pesca.

Na Antártica a água é fria, fato que aumenta a solubilidade de CO<sub>2</sub>, aumentando a sua concentração na água. Portanto, esse fenômeno impacta primeiramente as águas antárticas. O CO<sub>2</sub> dissolvido na água libera íons H<sup>+</sup> (Fig. 3), cuja concentração é refletida no valor de pH, pois  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . O valor negativo de log indica que o pH irá diminuir com o aumento da concentração de H<sup>+</sup> e isso também significa elevação da acidez.

IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) é uma entidade criada pela Organização Meteorológica Mundial, em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Atualmente o IPCC avalia as informações científicas e socioeconômicas e elabora projeções sobre os riscos relativos às mudanças climáticas e analisa as opções de mitigação e adaptação. IPCC realiza as projeções de acordo com o cenário esperado no futuro. Os cenários possíveis são representados por valores de RPC, sendo RPC 8,5 o pior cenário, em que nada é realizado para mitigar o Efeito Estufa. RPC 4,5 e 6,0 representariam cenários intermediários e RPC 2,6 representaria o cenário extremamente otimista, com grande empenho mundial para conter as emissões de CO<sub>2</sub>

atmosférico. As projeções do IPCC para o final do século (2081-2100), no pior cenário (RPC 8,5) é uma elevação de 4,3°C na temperatura do ar. No melhor cenário (RPC 2,6), esse aumento é de 1,6°C. Esses aumentos são em relação às temperaturas observadas no final do século XIX (1850-1900) (IPCC, 2019).

O aumento do nível do mar tem sido estimado em 0,63m no contexto do cenário RPC 8,5. Isso pode ter impactos sérios para os moradores da área litorânea. É possível se adaptar a essas condições, mas os custos financeiros envolvidos serão elevados.

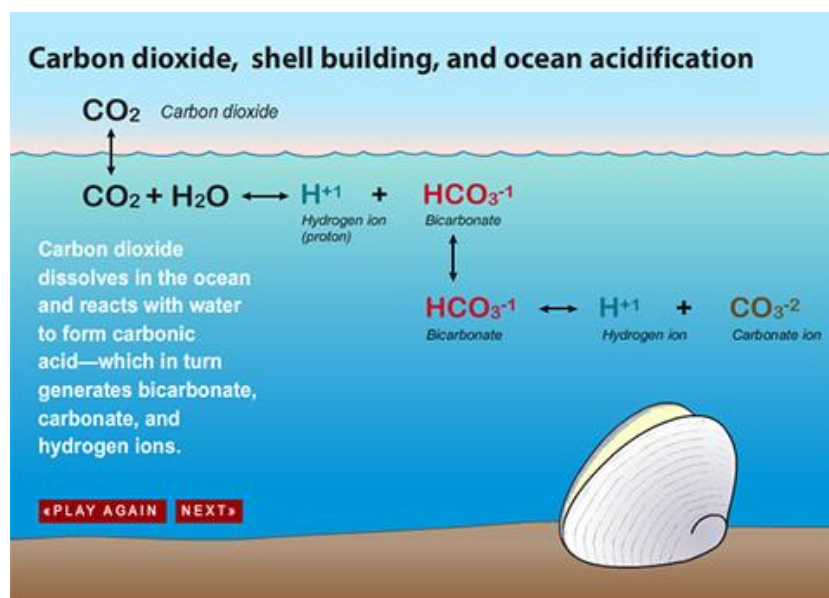


Figura 3. Reações que causam a acidificação dos oceanos. Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ацидификација\\_на\\_океан\\_и.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ацидификација_на_океан_и.jpg)

O pH do mar nos dias atuais é de 8,05. Se nada for feito, em 2100, o pH pode atingir valores abaixo de 7,5. *Nacella concinna* é um gastrópode comumente encontrado na zona entre marés da Antártica. Apresenta uma concha calcária formada de carbonato de cálcio. É a partir do  $\text{CO}_2$  é que se forma o carbonato de cálcio, mas um nível de  $\text{CO}_2$  aumentado na água eleva a concentração de  $\text{H}^+$ , deslocando o carbonato para formar bicarbonato, causando a dissolução do carbonato de cálcio (Fig. 3). Haverá também diminuição dos níveis de carbonato nos mares, se a acidificação continuar a ocorrer. No caso de *N. concinna*, sua concha torna-se mais frágil, podendo ser facilmente danificado pelo gelo que colide naturalmente com o animal, o qual vive aderido às rochas, na zona entre marés.

Para lidar com a acidificação, os organismos gastam mais energia para diversos processos metabólicos, tais como troca de íons. O transporte de gases pode também ser afetado pela acidificação do espaço extracelular dos organismos. A acidificação intracelular pode também afetar a expressão gênica, a síntese de proteínas e o crescimento do organismo. Os efeitos nas células afetam tecidos e órgãos, entre eles o sistema nervoso, que controla o funcionamento dos demais órgãos e sistemas, tais como o coração e os músculos. Ao se gastar mais energia para a sobrevivência imediata, pode haver uma diminuição da energia disponível para o esforço reprodutivo. Portanto, isso pode diminuir a população das espécies presentes no ecossistema.

Enquanto cerca de 25.000 espécies de peixes são conhecidas, na Antártica existem apenas 322 espécies conhecidas. Portanto, o ecossistema antártico apresenta pouca

biodiversidade. Isso torna esse ecossistema frágil e a acidificação pode trazer um grande impacto nesse ecossistema.

Estudos sobre a sensibilidade dos organismos marinhos à acidificação dos oceanos têm sido realizados (Wittmann e Pörtner, 2013). Num cenário pessimista de RPC 8,5, os peixes são os mais sensíveis enquanto corais, equinodermas e moluscos apresentam sensibilidade média. Os crustáceos apresentam baixa sensibilidade no mesmo cenário. Entretanto, as evidências são robustas (com mais de 20 espécies do grupo investigadas) no caso de equinodermas e moluscos. As evidências são de nível médio para o caso de corais e de crustáceos (com 16 a 20 espécies de cada grupo investigadas) e as evidências são limitadas (com menos de 16 espécies investigadas) no caso de peixes. Mais estudos são necessários para que as projeções sejam reais, principalmente no caso de peixes, pois envolvem impactos econômicos relativos à pesca.

Segundo o relatório do IPCC (2019), a diminuição do pH dos mares e oceanos é uma informação científica com grande nível de confiança e ocorrerá em todos os mares e oceanos do planeta. O aumento de temperatura ocorrerá na maioria deles, sendo uma informação de nível de confiança intermediária. As exceções ao aumento ocorreriam no Pacífico Tropical e no EBUS (Eastern Boundary Upwelling Systems), formado pelas correntes de Benguela, Canárias, Califórnia e Humboldt, as quais formam áreas de ressurgência, onde os nutrientes das regiões mais profundas são levados às regiões superficiais causando um aumento da produtividade primária. Essas áreas de ressurgência são importantes para a pesca. No Pacífico Tropical e no EBUS poderão ocorrer aumentos e diminuições de temperatura, sendo essa informação de baixo nível de confiança. O nível de oxigênio na água poderá diminuir em todos os oceanos e mares, com exceção do Ártico, sobre o qual há falta de dados. O nível de oxigênio nos mares é uma informação com baixo nível de confiança. A diminuição da extensão do gelo marinho no Ártico é uma informação com alto nível de confiança, mas no caso do Oceano Austral, poderá haver aumentos ou diminuições da área de gelo, porém essa informação apresenta baixo nível de confiança. O nível de todos os mares e oceanos irá aumentar, sendo uma informação de nível médio de confiança, exceto para o Ártico, cujo aumento do nível do mar é uma informação com baixo nível de confiança.

## Referências

- CARPENEDO, Camila; AMBRIZZI, Tércio; AÍMOLA, Luis. Possíveis relações entre a variabilidade interanual do gelo marinho antártico e a precipitação na América do Sul. **Ciência e Natura**, v. esp. p. 87-89, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X11554>
- GOLDEMBERG, José et al. **Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade**. Editora Blucher, 2011.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Summary for Policymakers approved at the Second Joint Session of Working Groups I and II of the IPCC and accepted by the 51th Session of the IPCC, Principality of Monaco, 24th September 2019. Disponível em: [https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf)
- MORLEY, Simon Anthony; BARNES, David KA; DUNN, Michael J. Predicting which species succeed in climate-forced polar seas. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 507, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00507>

PELLICHERO, Violaine et al. The Southern Ocean meridional overturning in the sea-ice sector is driven by freshwater fluxes. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1789, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04101-2>

WITTMANN, Astrid C.; PÖRTNER, Hans-O. Sensitivities of extant animal taxa to ocean acidification. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 11, p. 995, 2013. <https://doi.org/10.1038/nclimate1982>