COMPUTATIONAL
CLIMATE & OCEAN GROUP
at UC Davis



IA para os oceanos e os sistemas marinhos

Compreender melhor e fortalecer a resiliência

Maike Sonnewald

Escola de verão Climate Change AI 2026

UCDAVIS

Visão geral

O oceano físico, químico e biológico

O que está mudando?

Aquecimento, nível do mar, acidificação, ondas de calor marinhas e seus efeitos em cascata sobre o plâncton e a pesca

Que dados existem para entender e prever o oceano?

Observação in situ, sensoriamento remoto e modelos numéricos, e as lacunas de cada um

Por que AM?

Breve introdução e visão geral

Estudos de caso

pCO_2 por satélite, plâncton antártico, atribuição de ondas de calor e circulação do oceano Atlântico

Deveria se chamar planeta Oceano?

O oceano cobre cerca de 70% da superfície da Terra e contém 97% da sua água.

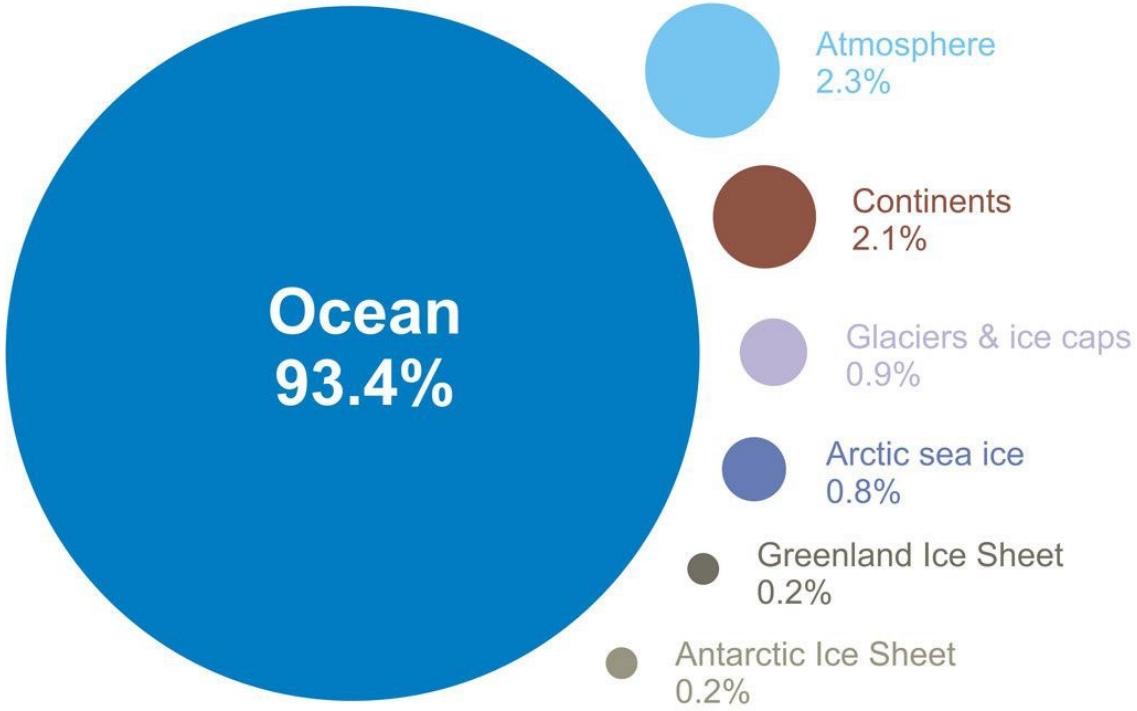


Quanto do calor adicionado pelo homem vai para o oceano?



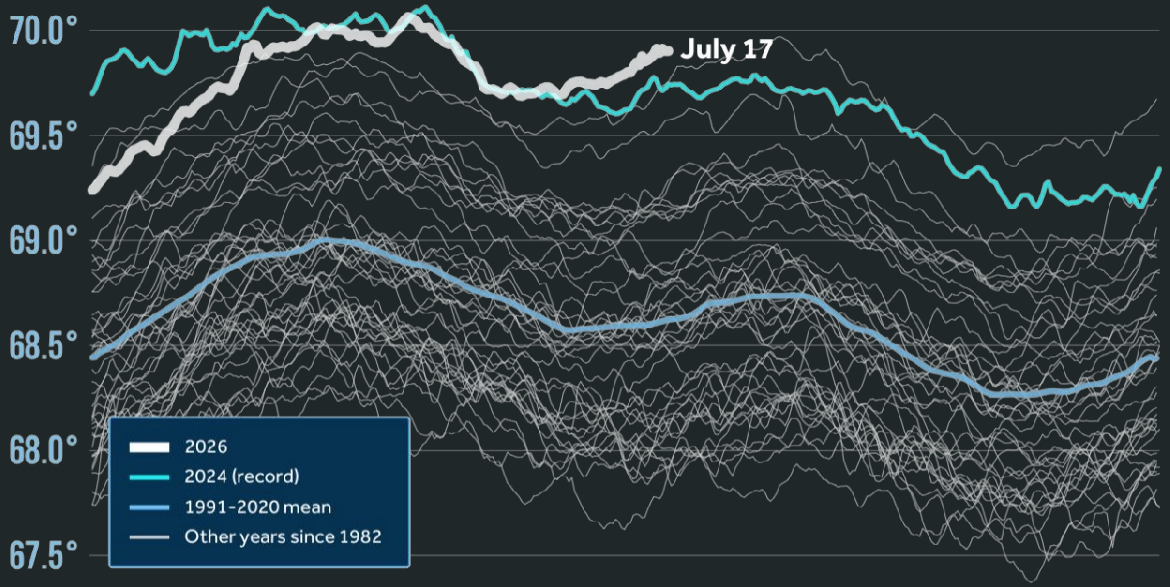
https://partici.fi/86456312

Where is global warming going?



http://skepticalscience.com/

Temperatura diária da superfície do oceano global (ºF)



Data for 2026 includes January 1 through July 17. Source: NOAA OISSTv2.1.

Os serviços que o oceano presta



71%

of Earth's surface is ocean



~90%

of global-warming heat is stored in the ocean



~25%

of our CO_2 emissions absorbed by the sea



50%+

of the oxygen you breathe made by ocean plankton

O oceano tem bacias de tamanhos diferentes

A menor: o Ártico, 5,4 milhões de milhas quadradas

A maior: o Pacífico, > 60 milhões de milhas quadradas

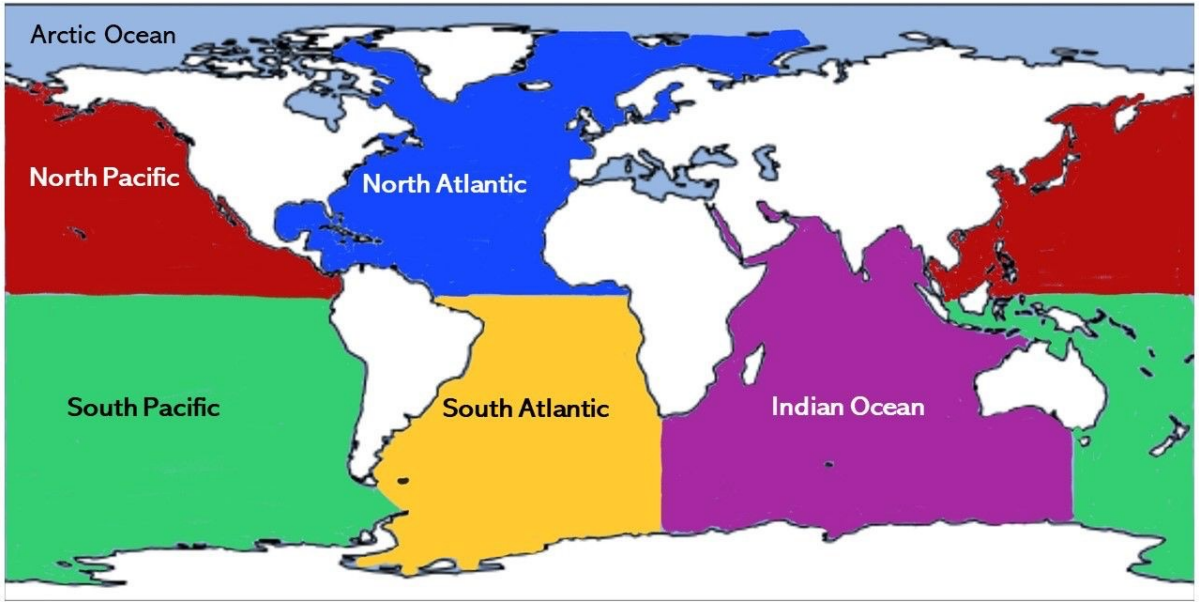
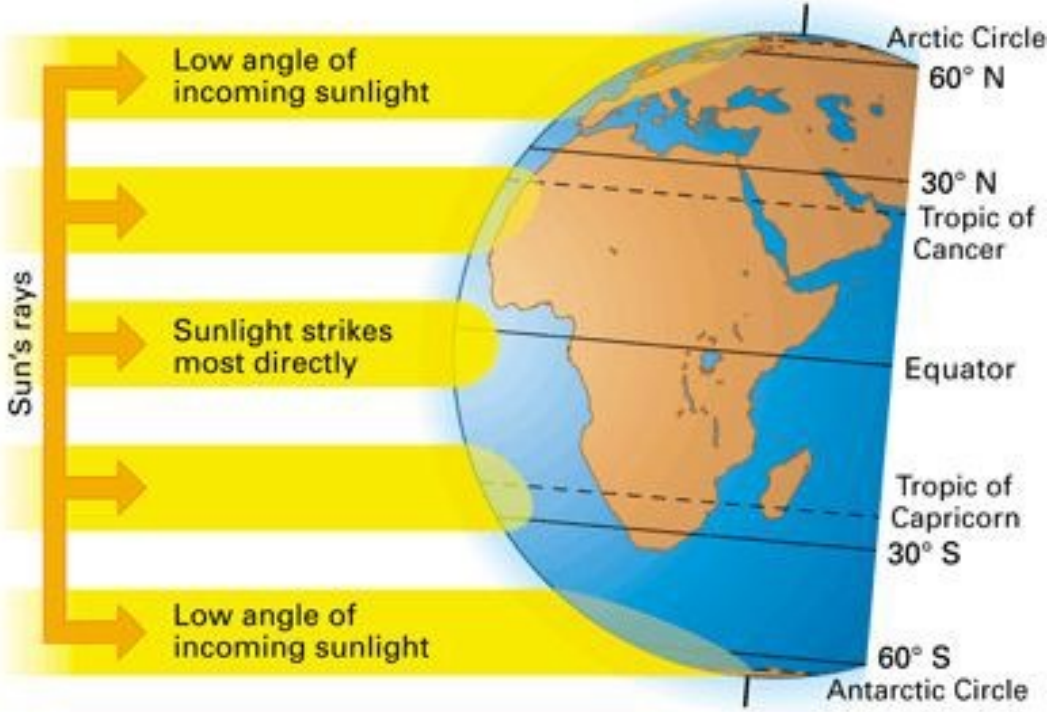


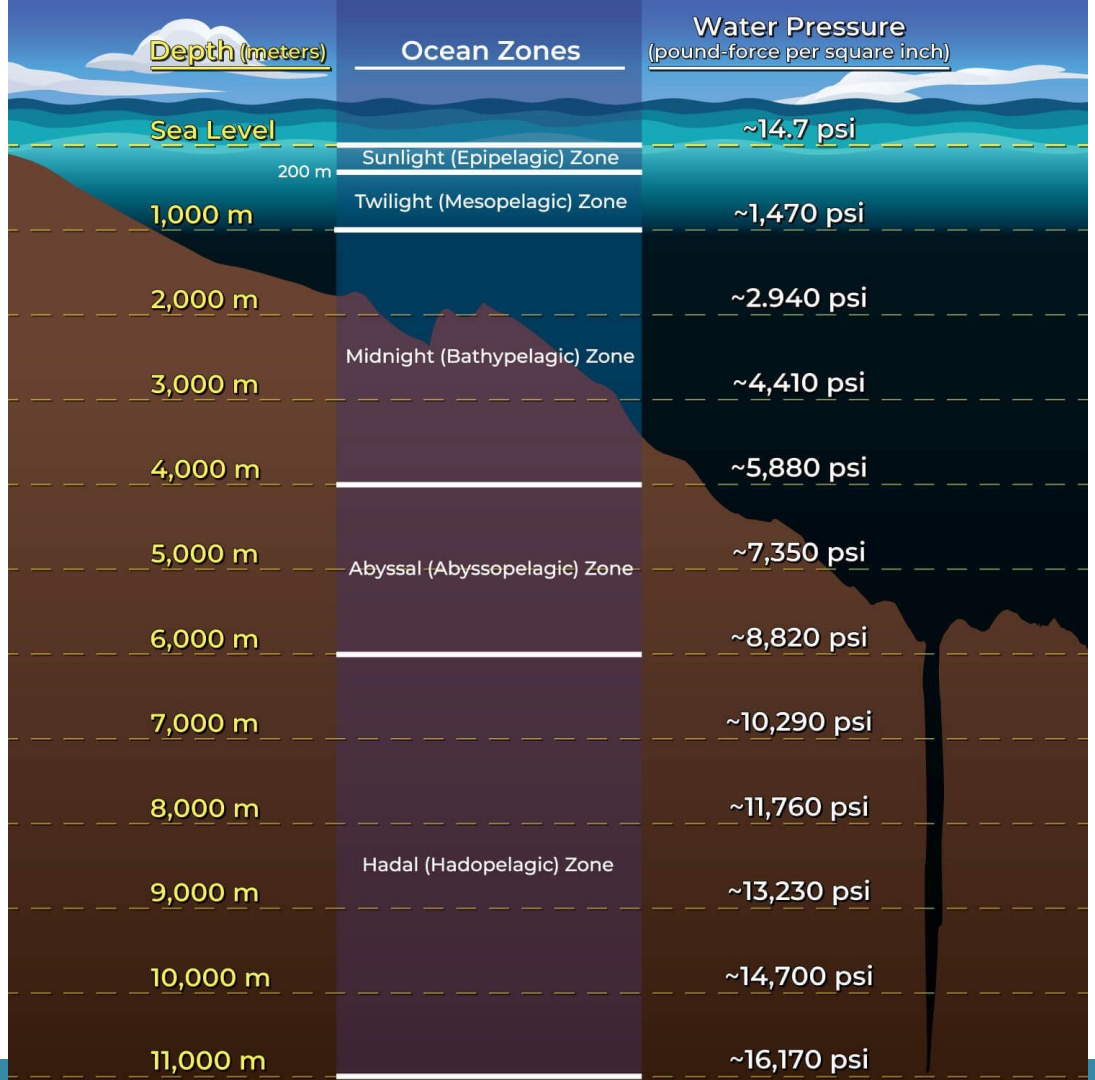
Imagem: wikipedia.com

O aquecimento desigual tem grande impacto



himaya.com

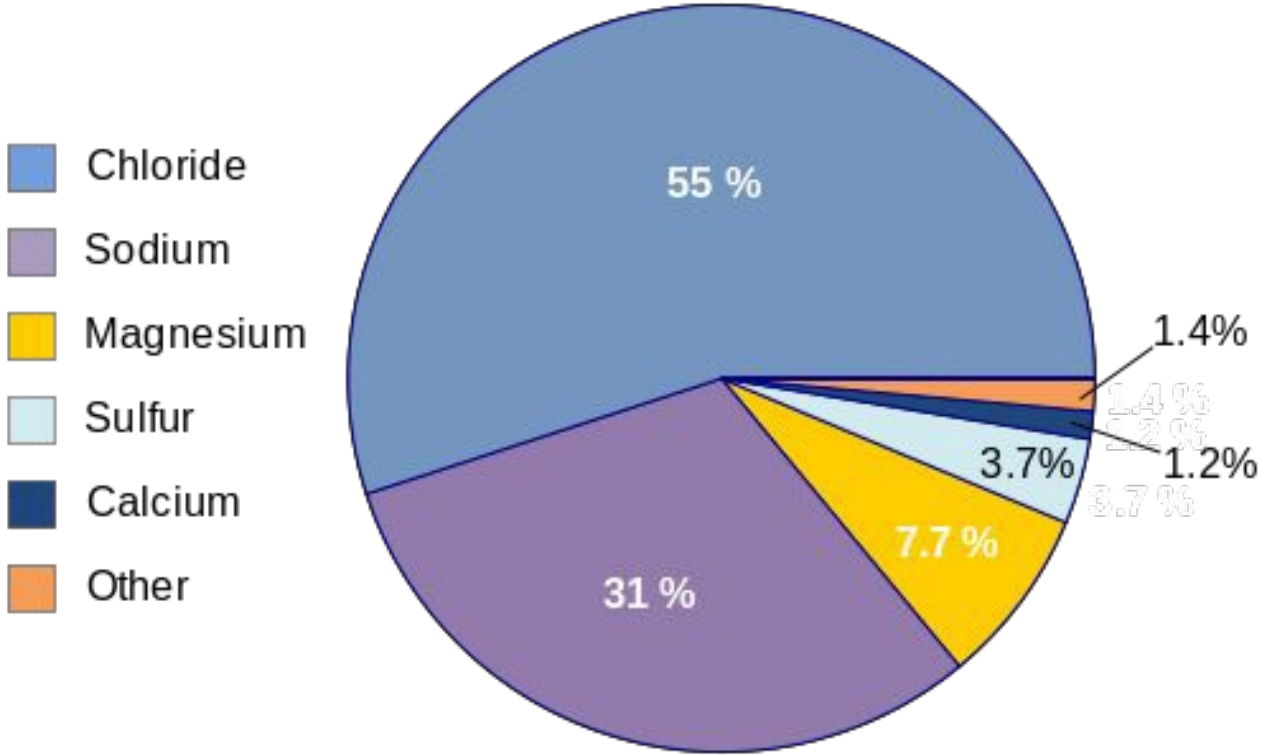
Luz



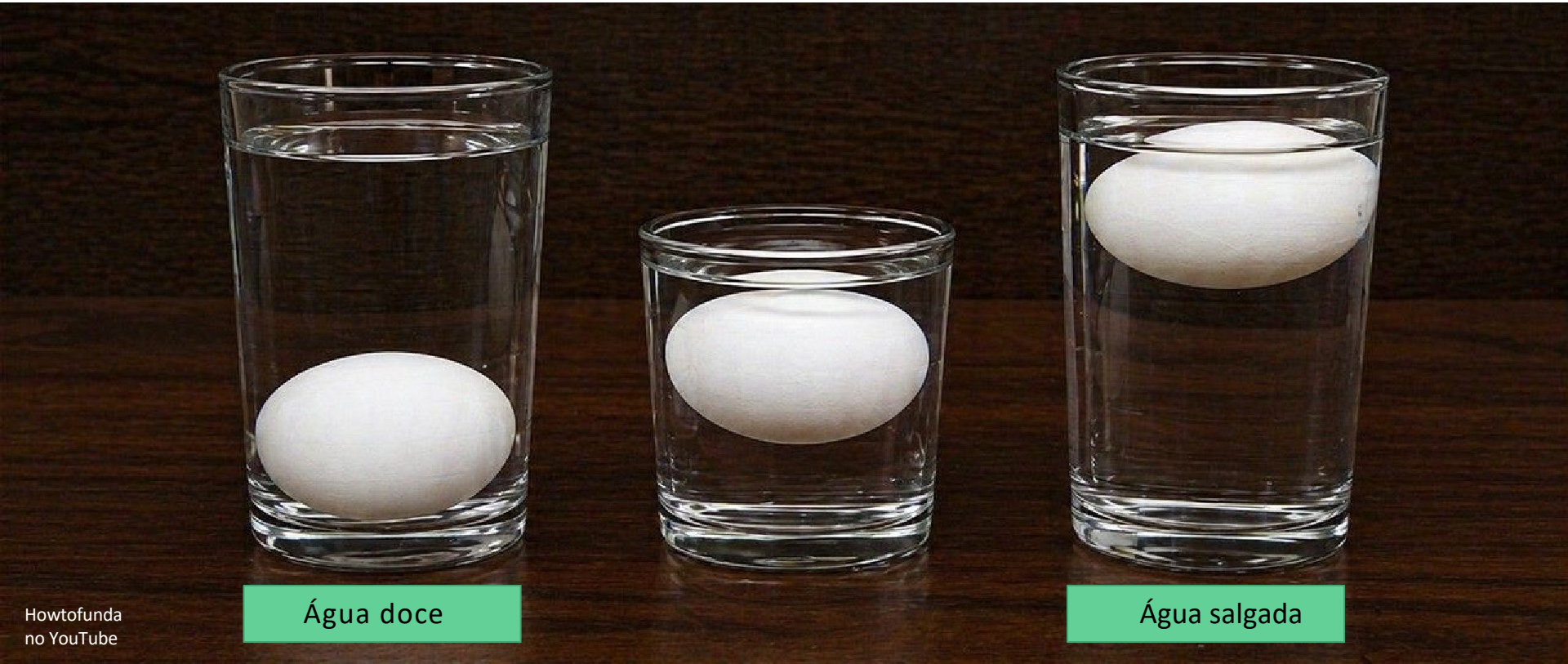
Pressão

surfertoday.com

A água do mar é composta de água e outros compostos

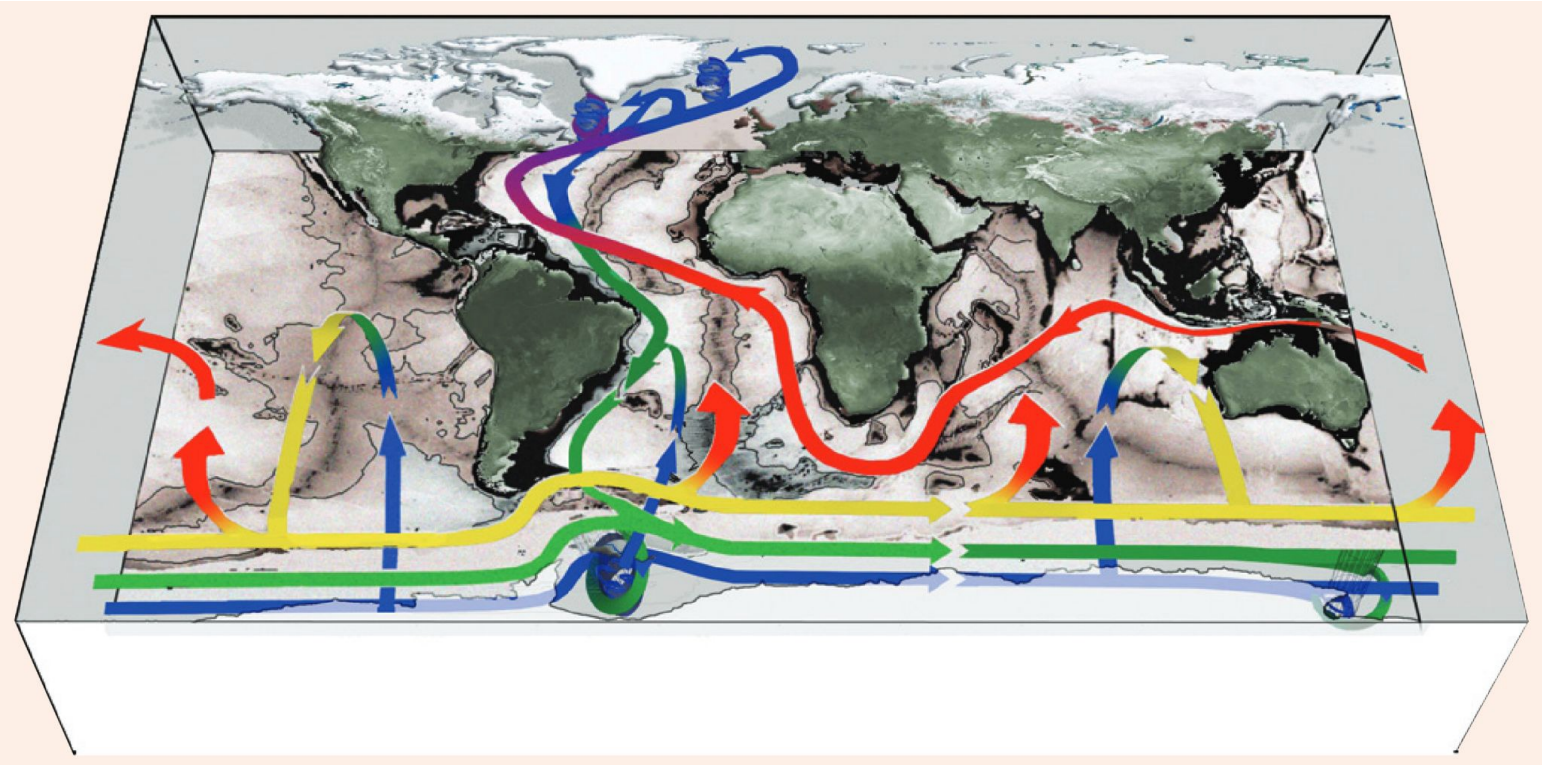


A água salgada é mais densa que a água doce



Howtofunda
no YouTube

A circulação oceânica é um fenômeno global emergente

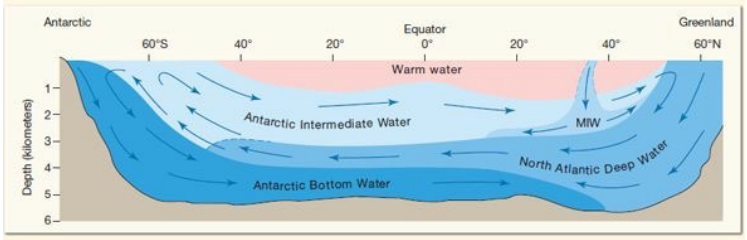


[Marshall & Speer, 2012]

Frio

Que
nte

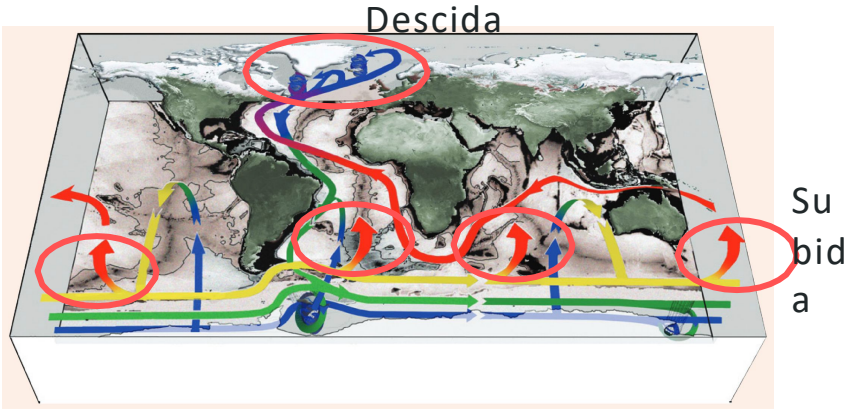
Uma “esteira” global



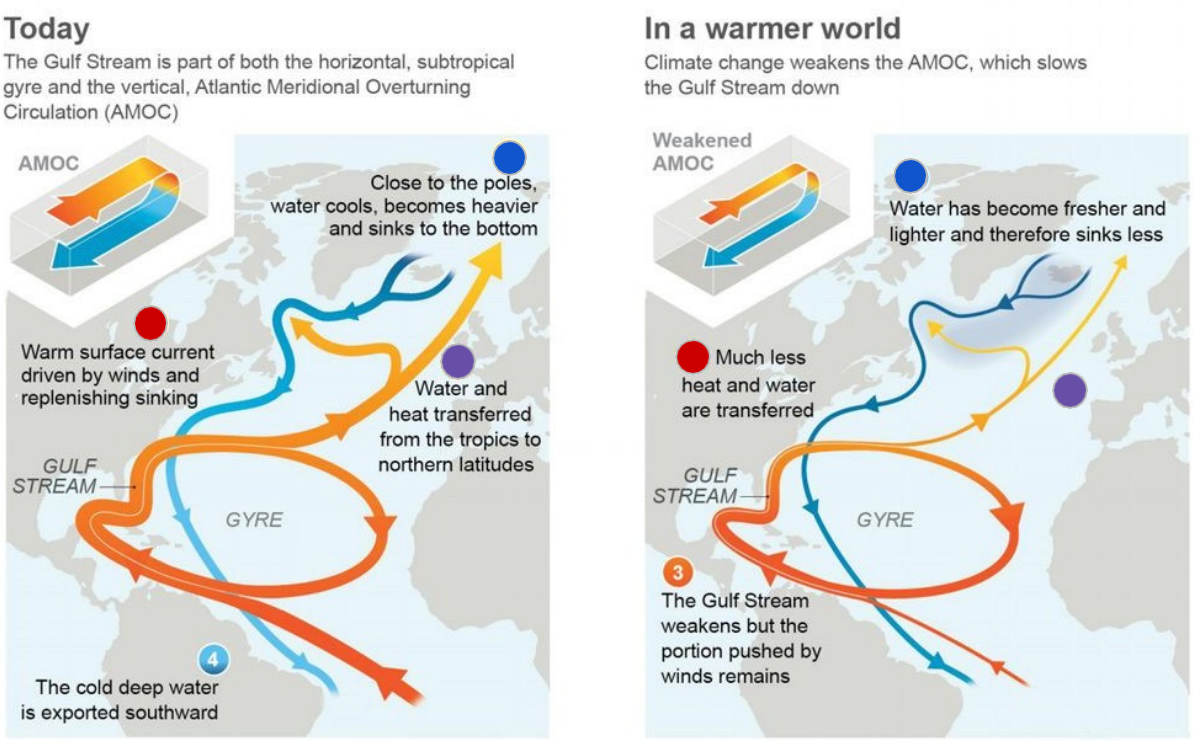
- O aquecimento/resfriamento assimétrico, junto com a rejeição de salmoura na formação do gelo, cria a circulação termohalina
- Chamada de “circulação meridional de revolvimento”

Mudanças na circulação de revolvimento têm grande impacto climático

- O oceano é estratificado, com a água mais pesada/densa no fundo
- O resfriamento intenso e a formação de gelo nos polos criam águas muito densas



As grandes correntes podem mudar em um clima mais quente: o exemplo da Corrente do Golfo

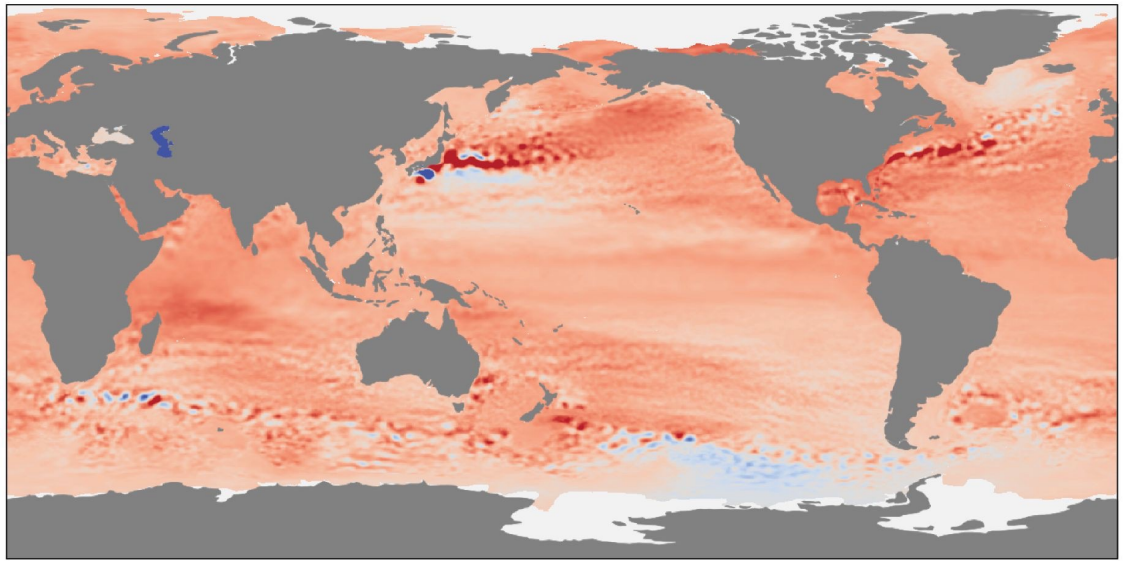


- A Corrente do Golfo se desloca para o norte
- O caminho do aporte de calor muda
- Águas menos densas/pesadas

Sexto Relatório de Avaliação do IPCC

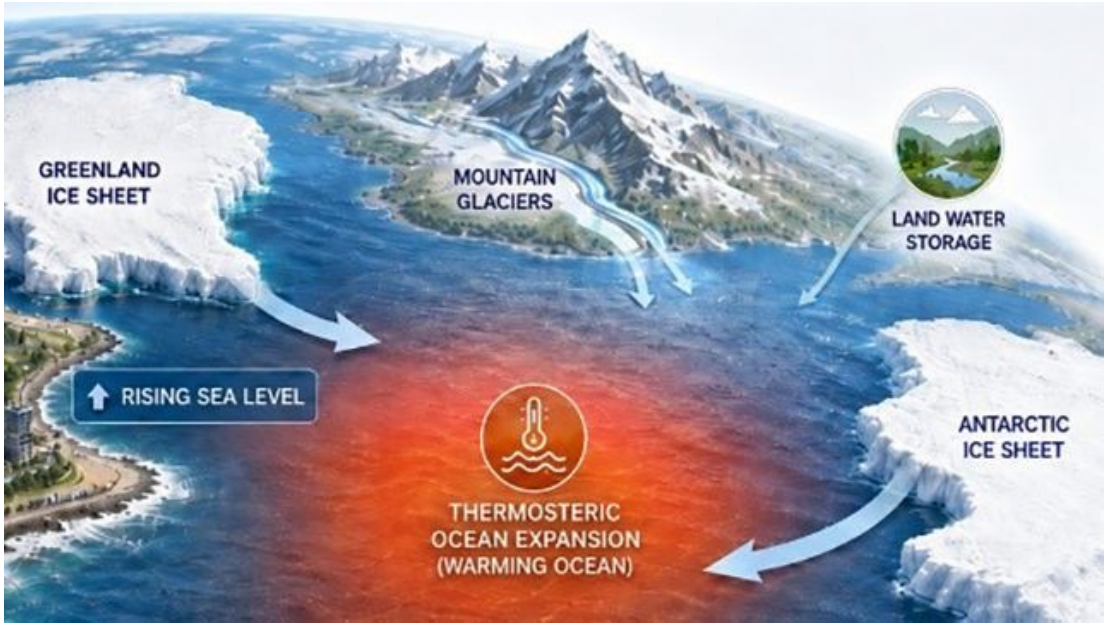
Sea level trends from February 1999 to May 2025

Data: CMEMS Ocean Monitoring Indicator based on C3S sea level product • Credit: C3S/ECMWF/CMEMS



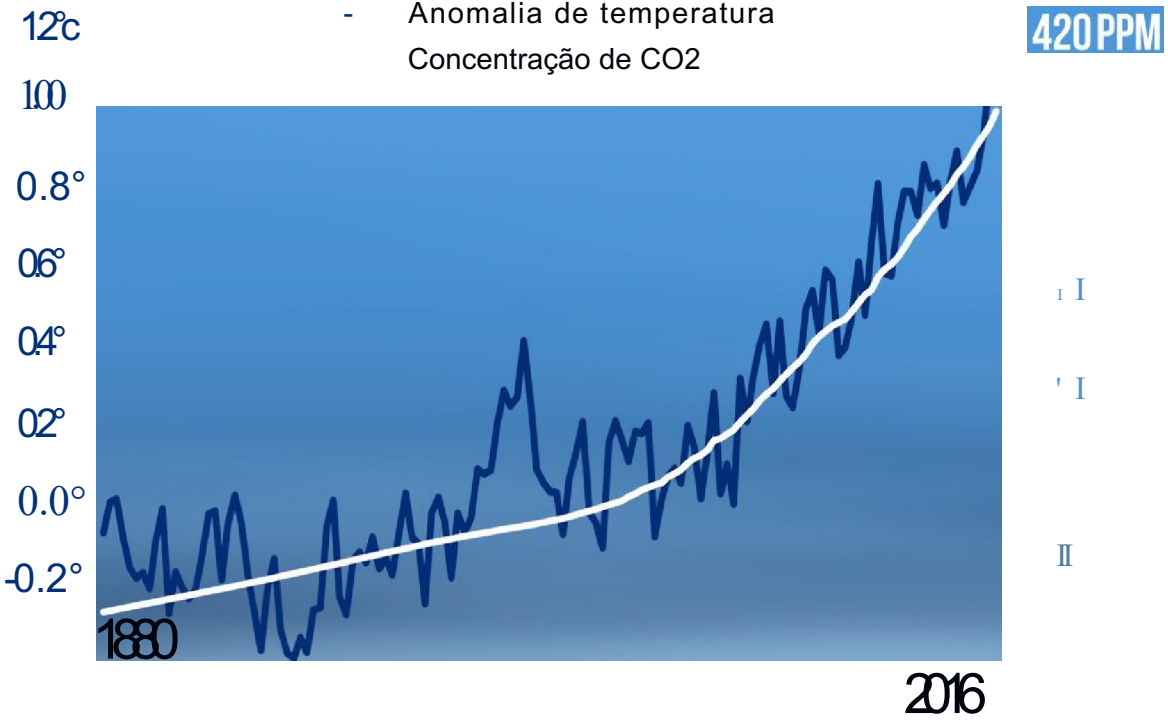
PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION
Copernicus Europe's eyes on Earth
Climate Change Service
IMPLEMENTED BY ECMWF

A elevação do nível do mar tem várias causas



sciencealert.com

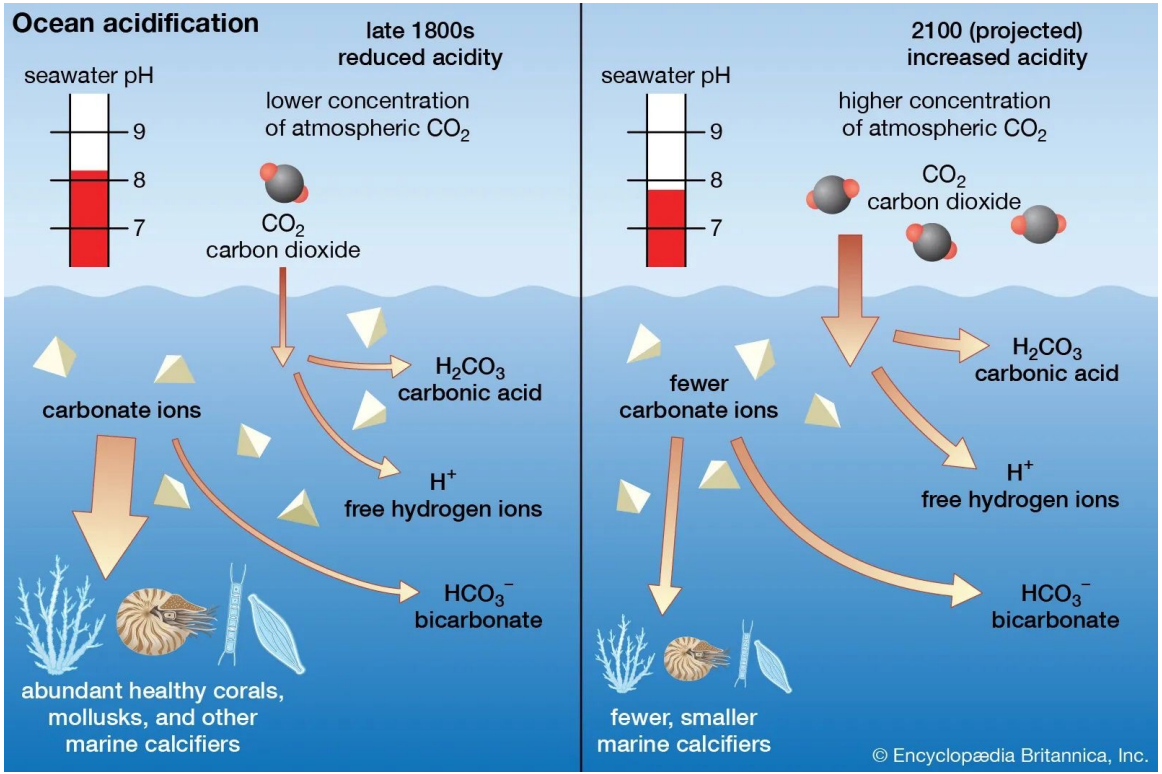
Temperatura global e dióxido de carbono



Global temperature data averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910).
Source: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL

CLIMATE CENTRAL

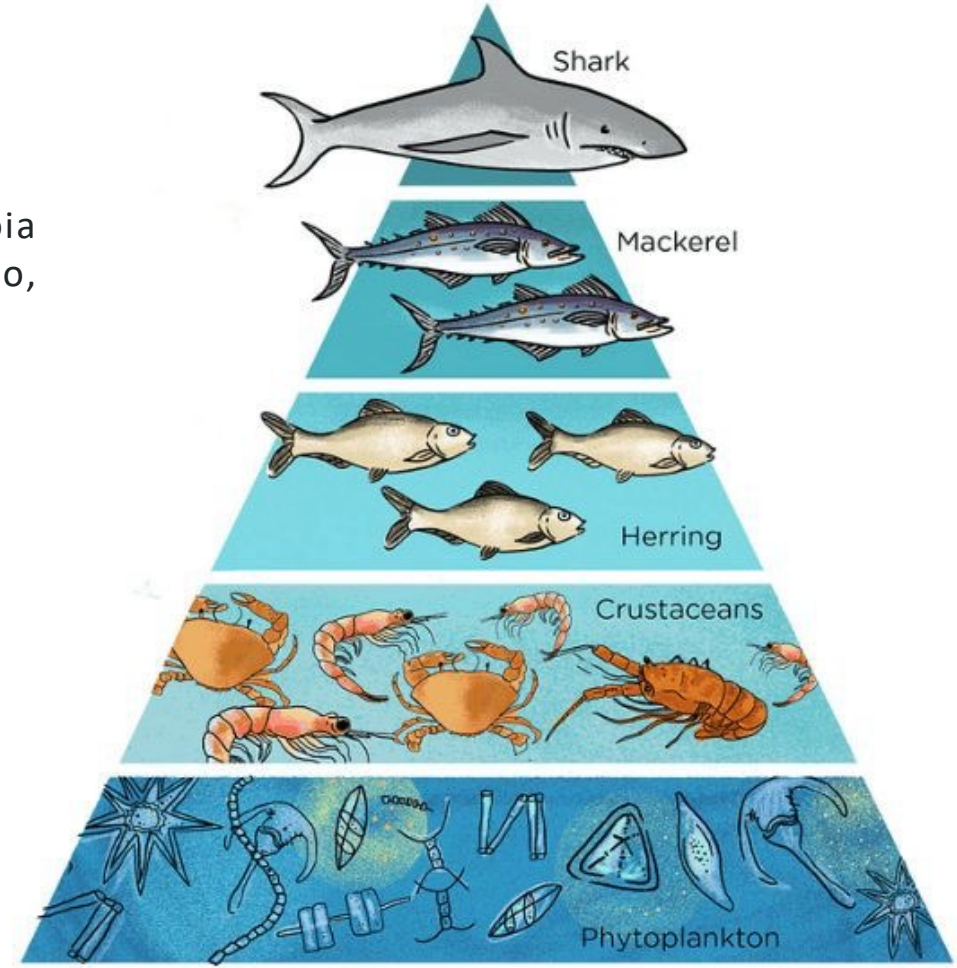
A mudança climática deixará o oceano mais ácido



britanica.com

A vida marinha

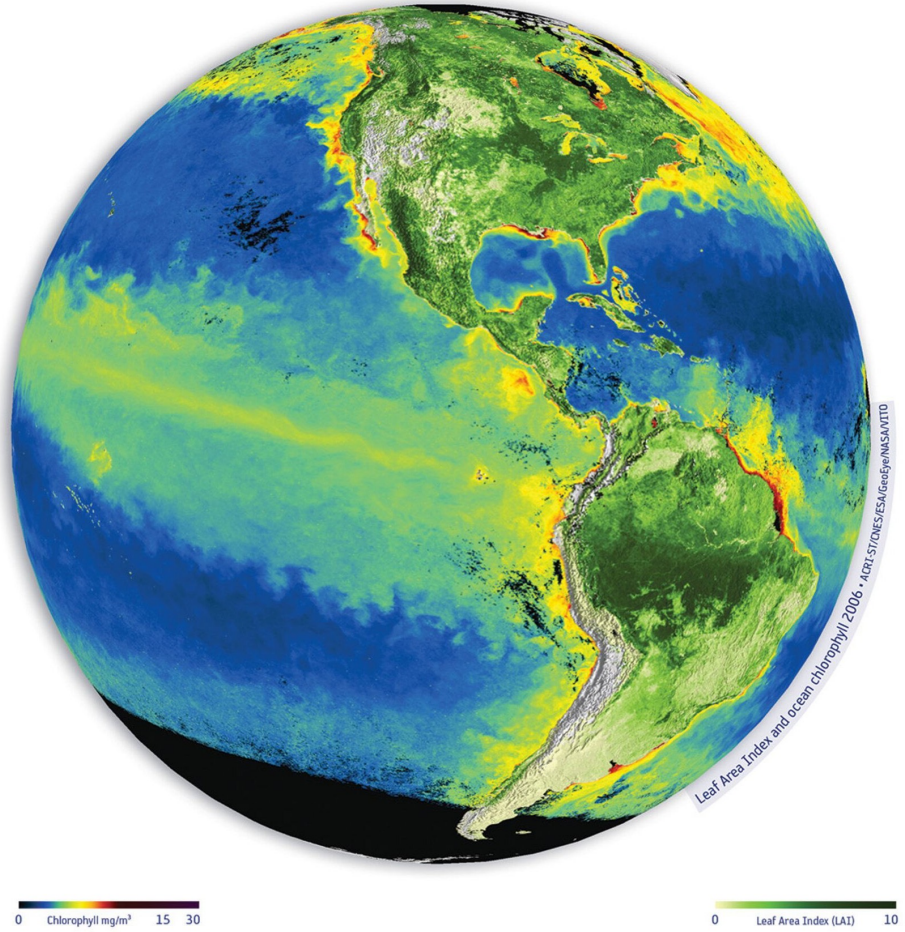
A teia alimentar se apoia nas “plantas” do oceano, com espécies muito variadas nos níveis superiores



ocean.org

A base: o plâncton

Assim como as plantas terrestres, o plâncton produz clorofila e depende de luz e nutrientes para crescer; há muitos tipos



A base: o plâncton

A grande variedade de tipos abrange várias ordens de grandeza de tamanho e ocupa “nichos” diferentes, expressos, por exemplo, no que precisam para prosperar:

Alguns constroem conchas e outros produzem seus próprios nutrientes!

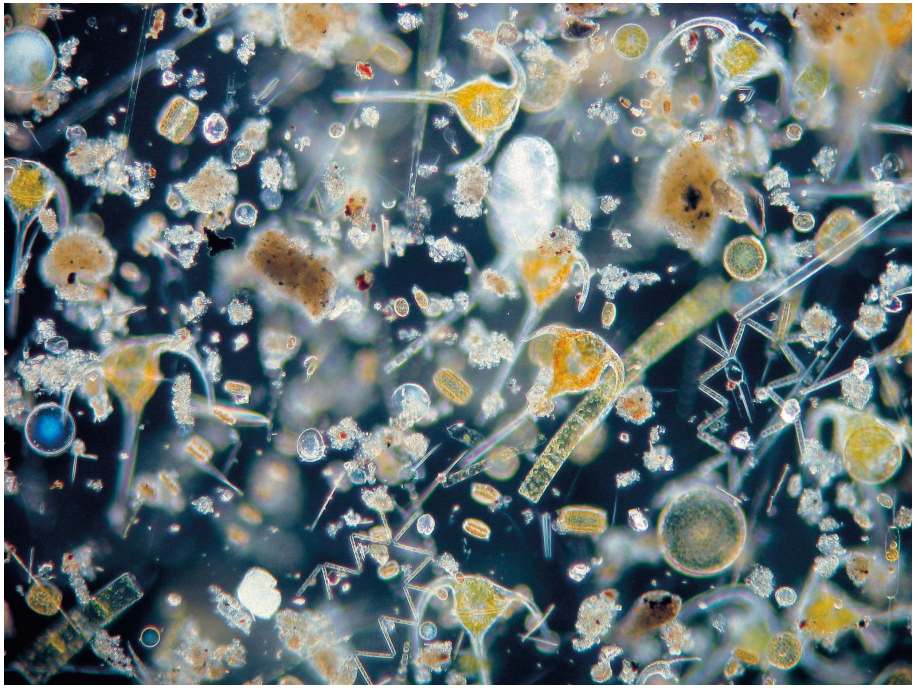
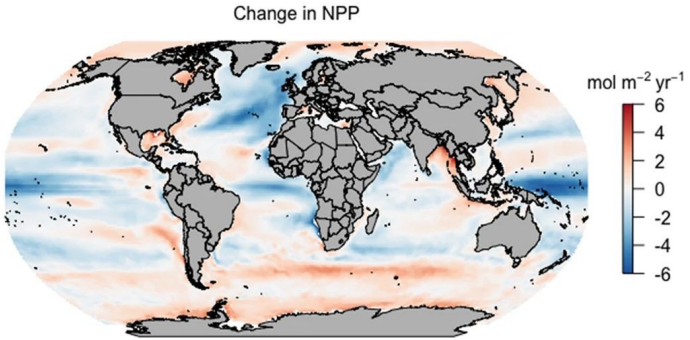


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

A base: o plâncton

A produção primária líquida (PPL) deve mudar drasticamente



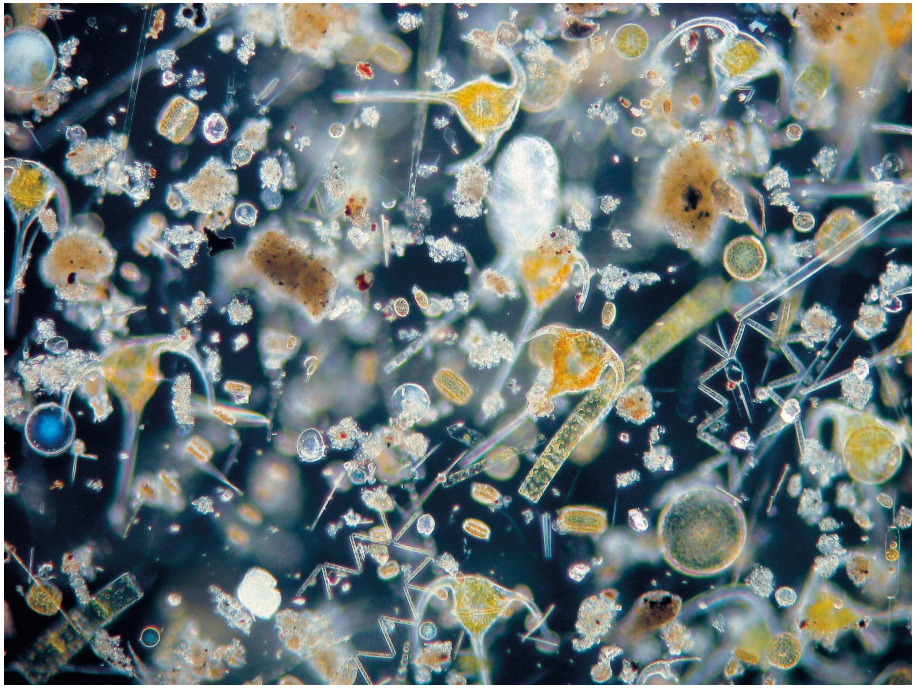


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

Ratnarajah et al., 2023

A base: o zooplâncton

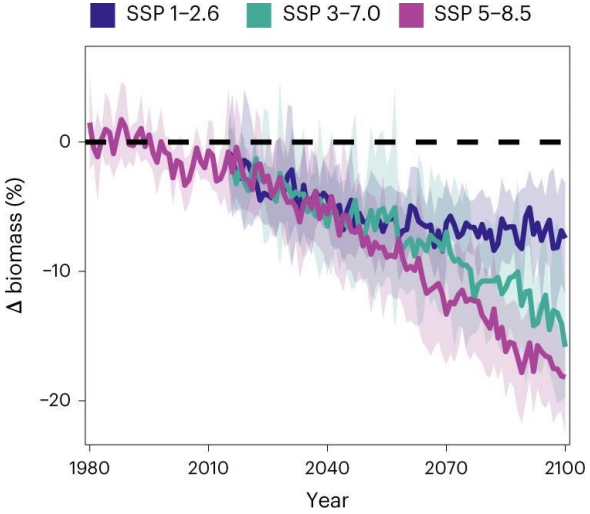
Esses organismos microscópicos que “pastam” outros plânctons também variam muito em tamanho e forma



Tyler Rohr http://communities.springernature.com/

Pesca e conservação

Os peixes dependem do zooplâncton para se alimentar



Heneghan et al., 2023

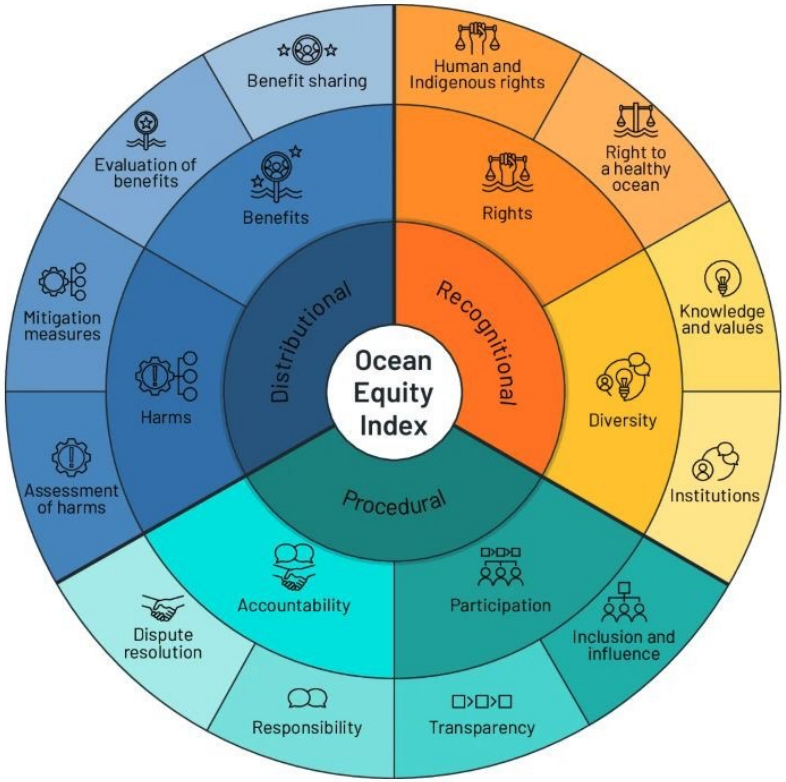


400 toneladas de carapau capturadas por um cerqueiro chileno. Foto via Wikimedia Commons.

Equidade e partes interessadas

Quem assume o risco? Quem se beneficia?

Algumas comunidades são mais vulneráveis que outras, por exemplo, as de Estados costeiros de baixa altitude ou as que dependem da pesca, e podem não ter recursos para se adaptar



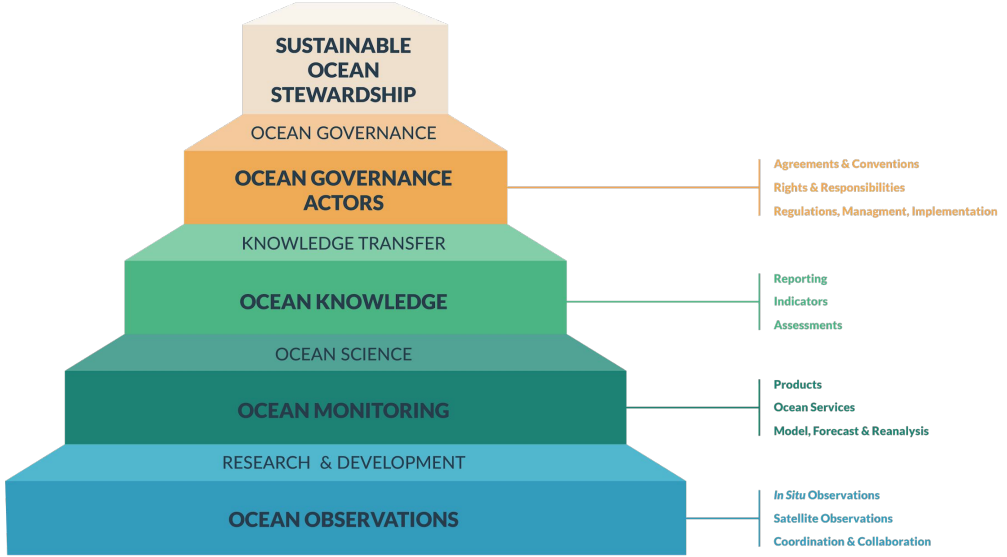
Blythe et al., 2026

Recursos e governança do oceano

Os recursos oceânicos abrangem muitas atividades: pesca, turismo, transporte marítimo e proteção ambiental

A maioria dos governos tem políticas próprias, além de alguns órgãos regionais e globais e de leis que regem as águas internacionais

Existem iniciativas globais de conservação dos oceanos, como a meta “30x30” de proteger 30% das terras e dos oceanos até 2030

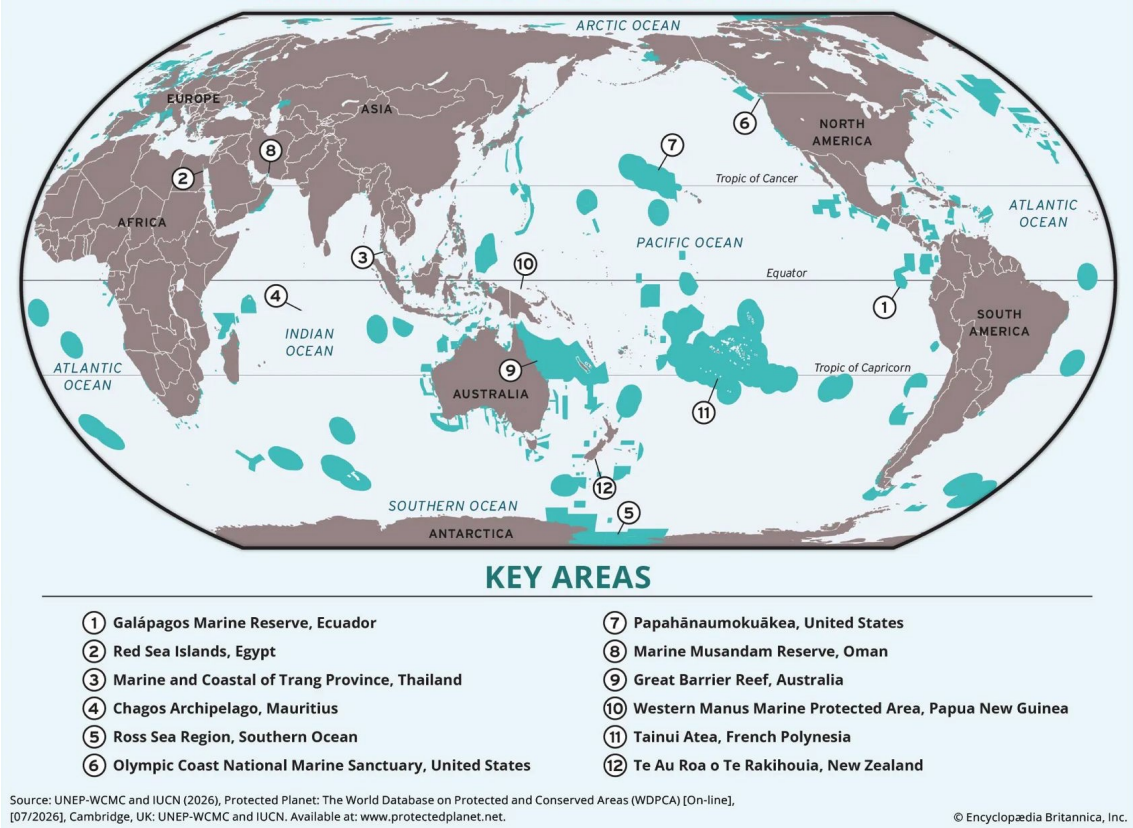


marine.copernicus.eu

2. Quanto do oceano você acha que é hoje uma área marinha protegida capaz de proteger a biodiversidade?

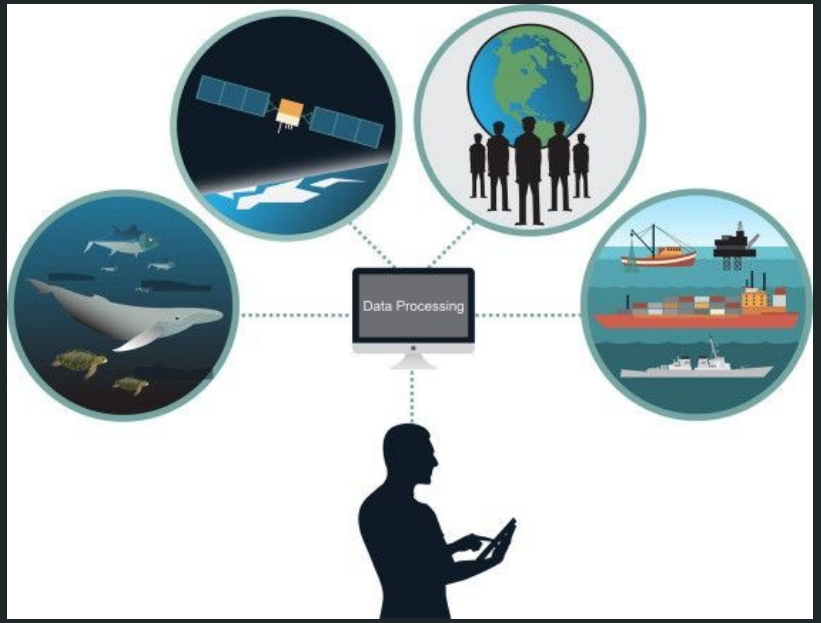
https://partici.fi/86456312

Áreas marinhas protegidas



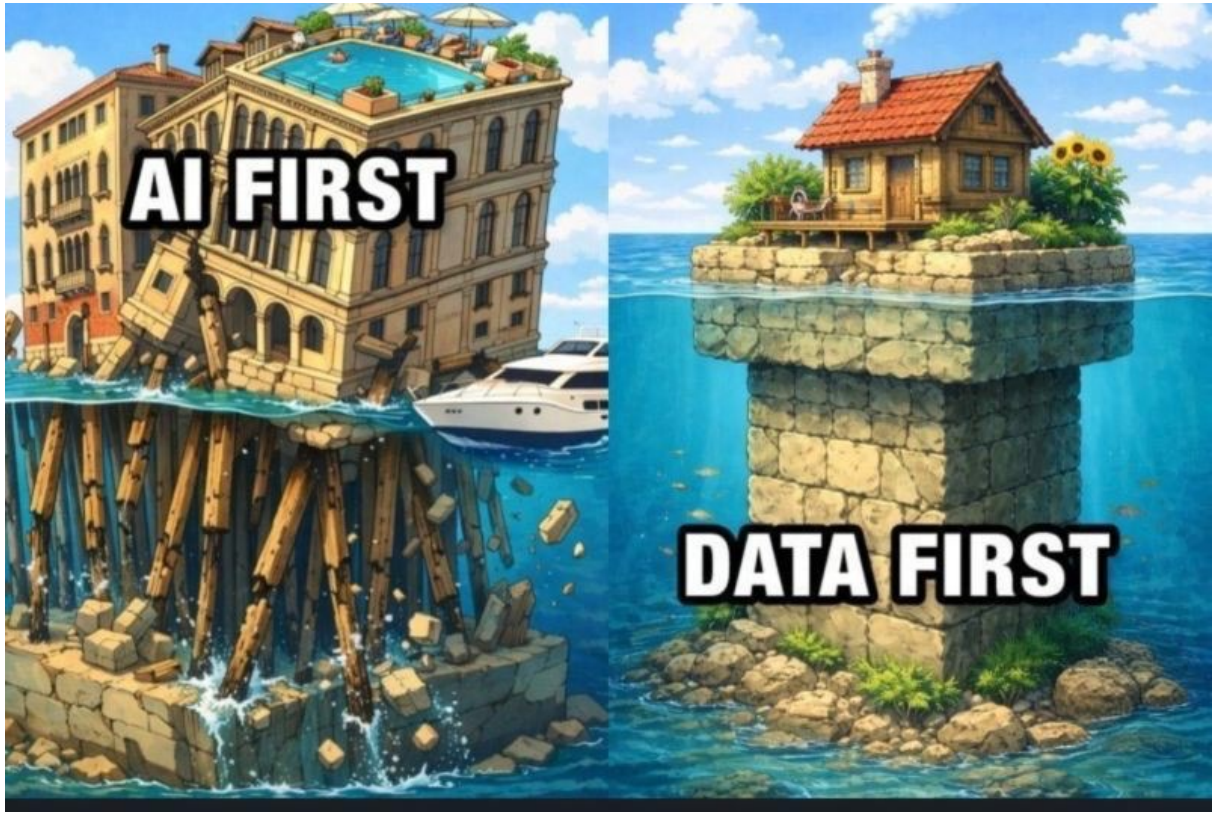
Revolução ou problema de dados?

Somos ricos em dados e pobres em compreensão, ou pobres em dados e ricos em compreensão?



Maxwell et al., 2015

Nossa IA só é tão poderosa quanto nossos dados

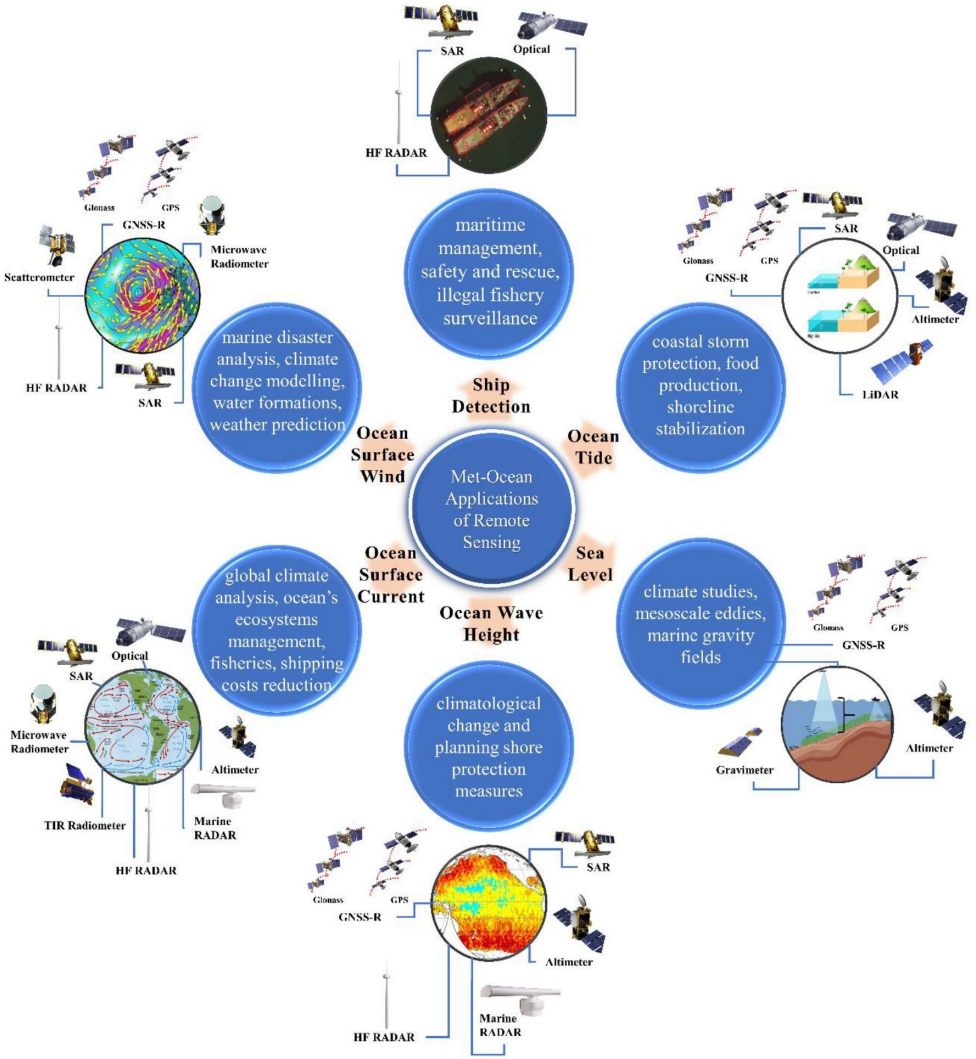


linkedin.com

Observações: coletadas “in situ”

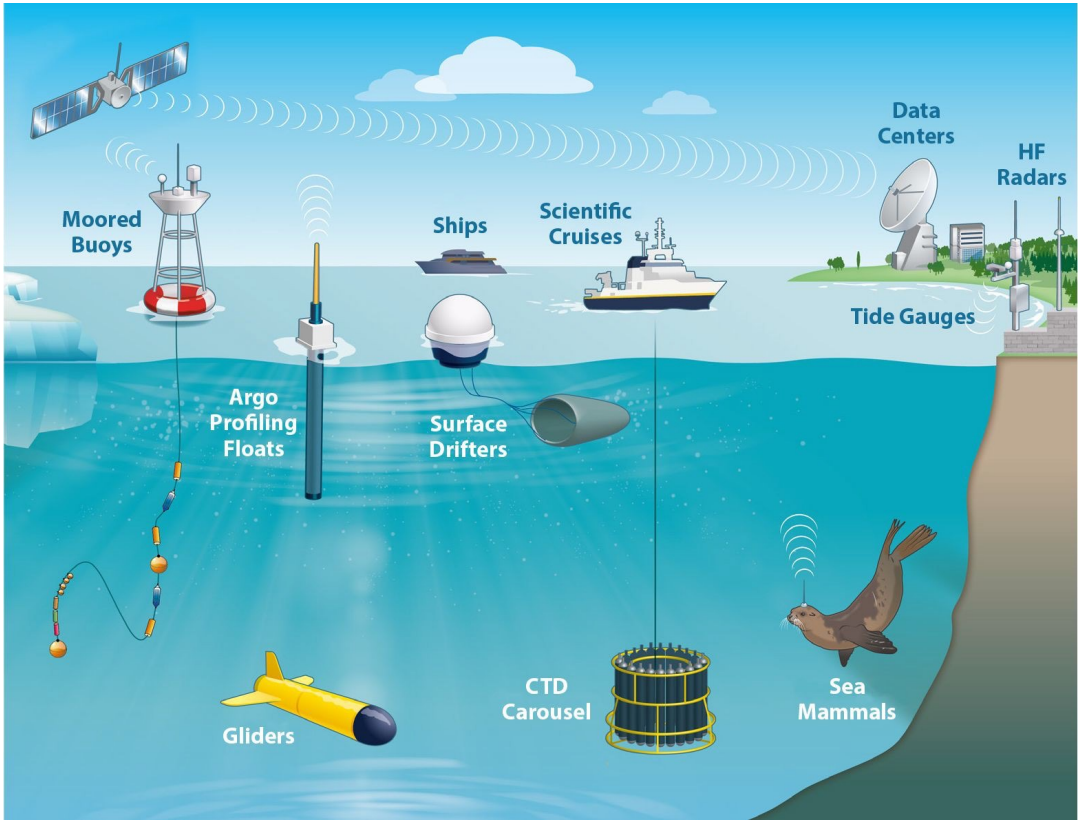


Observações: sensoriamento remoto



Amani et al., 2022

Observações: uma rede global



As observações podem contar com uma ajudinha…

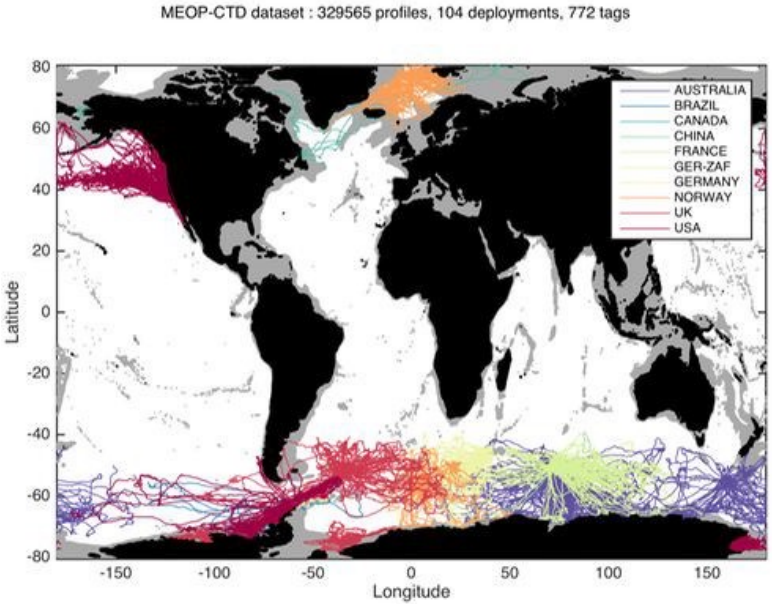
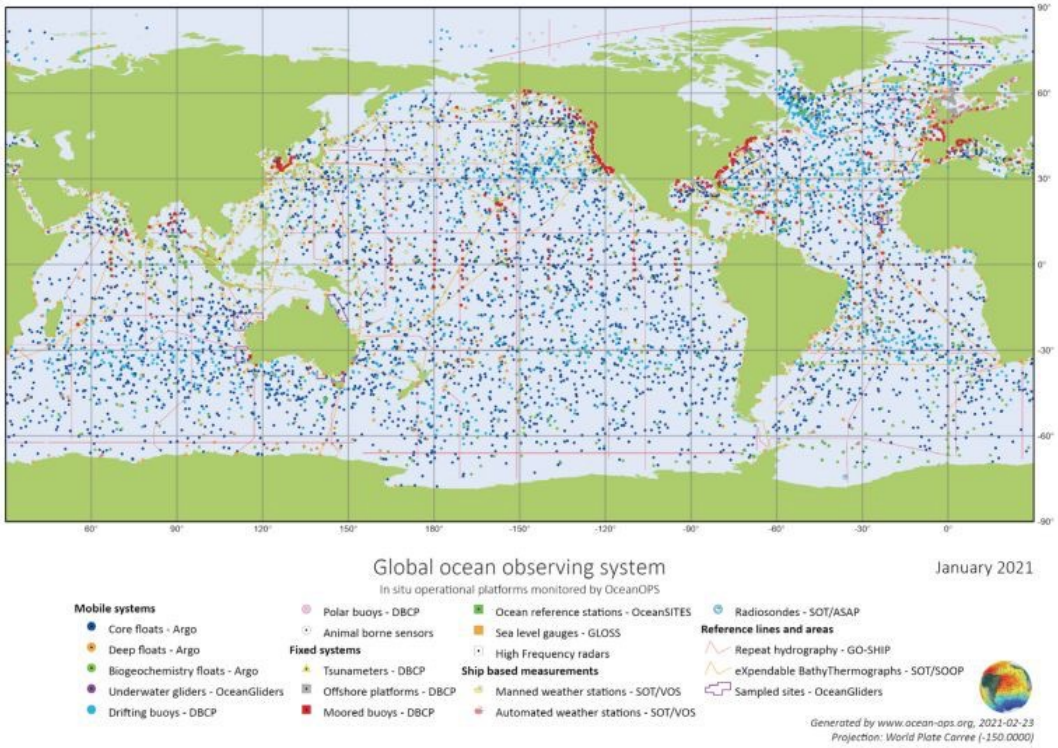


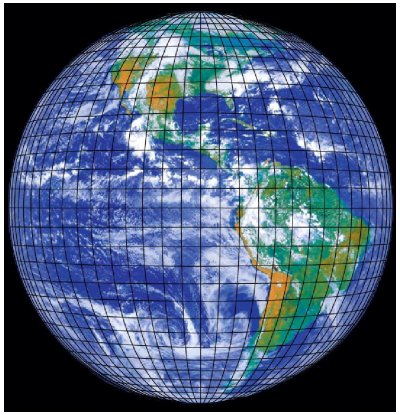


Foto: D. Costa

Equidade nas observações?

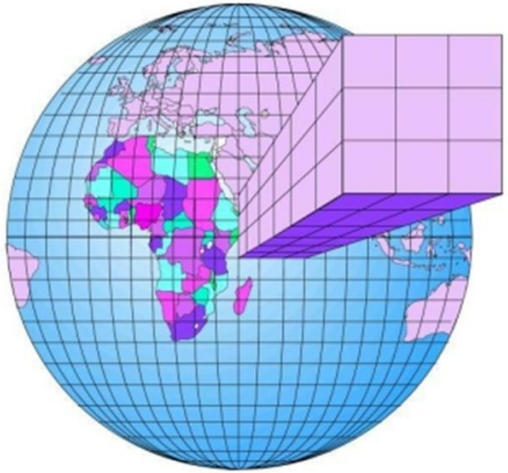


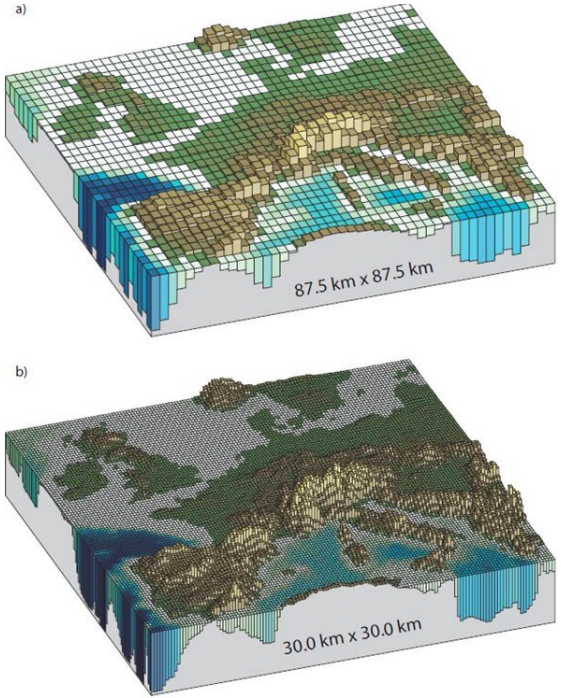
Modelos numéricos



As grades se estendem para baixo, no solo e nos oceanos.

Como na televisão, mais resolução significa mais realismo





Modelos numéricos: equações primitivas

Navier-Stokes + equação de estado: fluido fino em rotação sobre uma esfera

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial u}{\partial z}\right) + F_u, \quad \text{Momentum (u component)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial z}\right) + F_v \quad \text{Momentum (v component)}$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g, \quad \text{density}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \text{continuity}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u\frac{\partial \theta}{\partial x} + v\frac{\partial \theta}{\partial y} + w\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial \theta}{\partial z}\right) + F_\theta, \quad \text{Advection of temperature}$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u\frac{\partial s}{\partial x} + v\frac{\partial s}{\partial y} + w\frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial s}{\partial z}\right) + F_s, \quad \text{Advection of salinity}$$

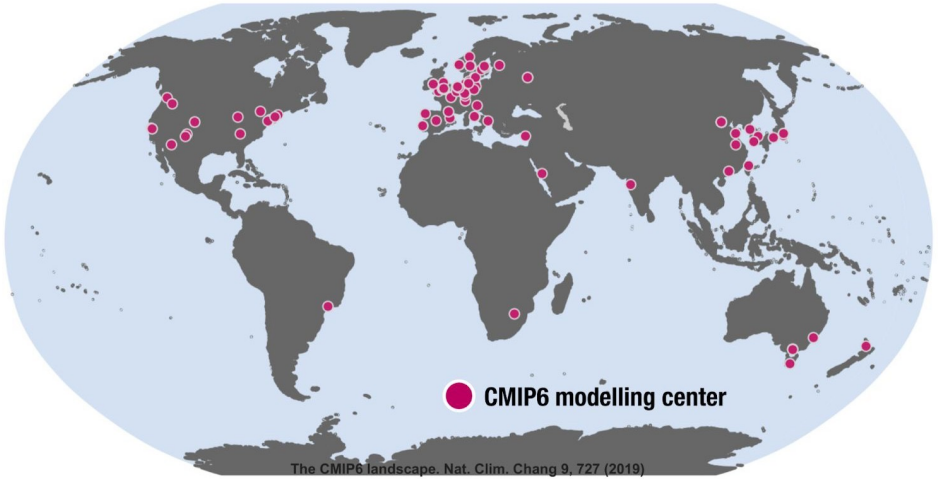
$$\rho = \rho(\theta, s), \quad \text{Density as a function of S and T}$$

O Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos (CMIP)

WCRP CMIP6
World Climate Research Programme

Os centros de modelagem colaboram globalmente para rodar e compartilhar experimentos sobre como

as ações das sociedades vão afetar o clima

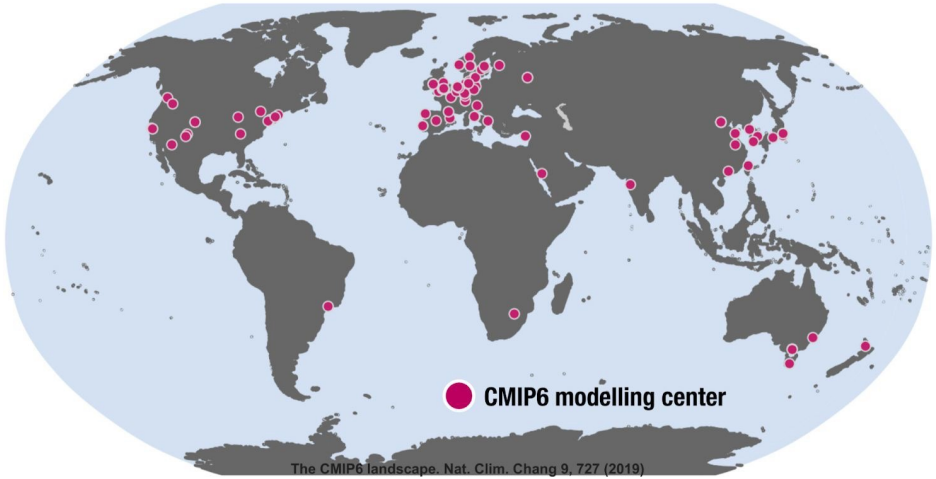


Equidade no desenvolvimento de modelos e no compartilhamento de dados?

Poucos modelos são desenvolvidos no Hemisfério Sul, então o conhecimento dessas regiões pode ser menos bem captado

Só uma parte dos dados pode de fato ser compartilhada, então os dados para entender, por exemplo, por que o oceano

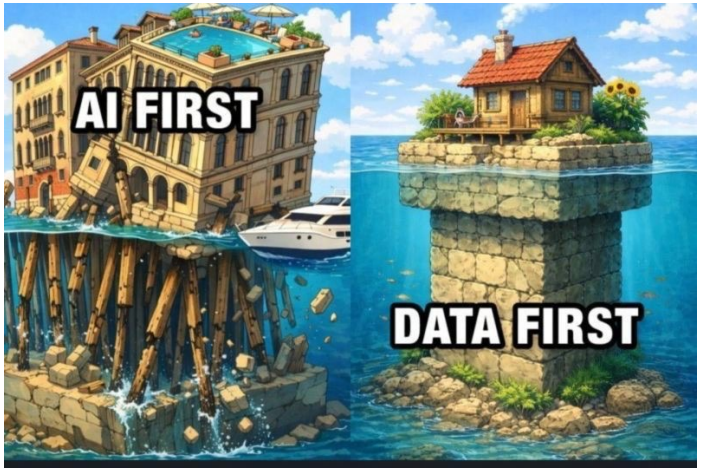
está mudando são difíceis de obter



Apoiar a coleta de dados é vital

É tentador focar só na IA, mas continuar apoiando a melhoria dos dados dos quais a IA depende é crucial

Criar conjuntos de dados com representação equilibrada de locais e desenvolvedores pode melhorar a equidade



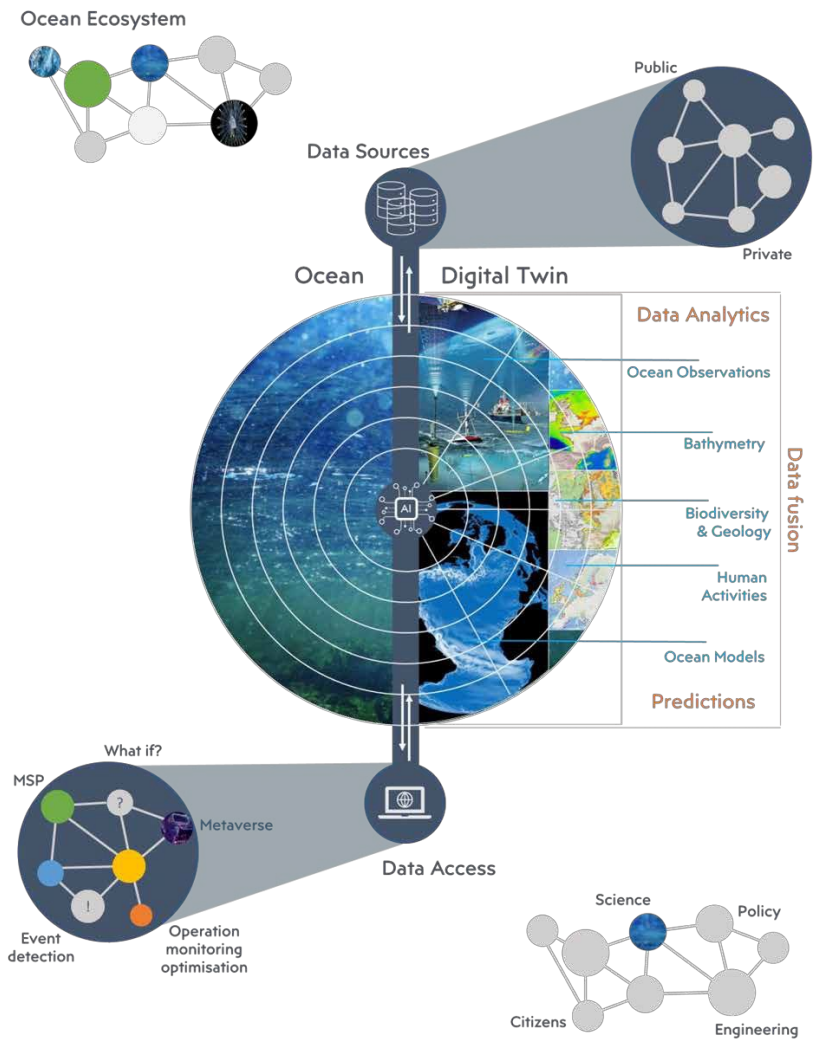
Intervalo: o que você considera mais importante proteger no oceano?



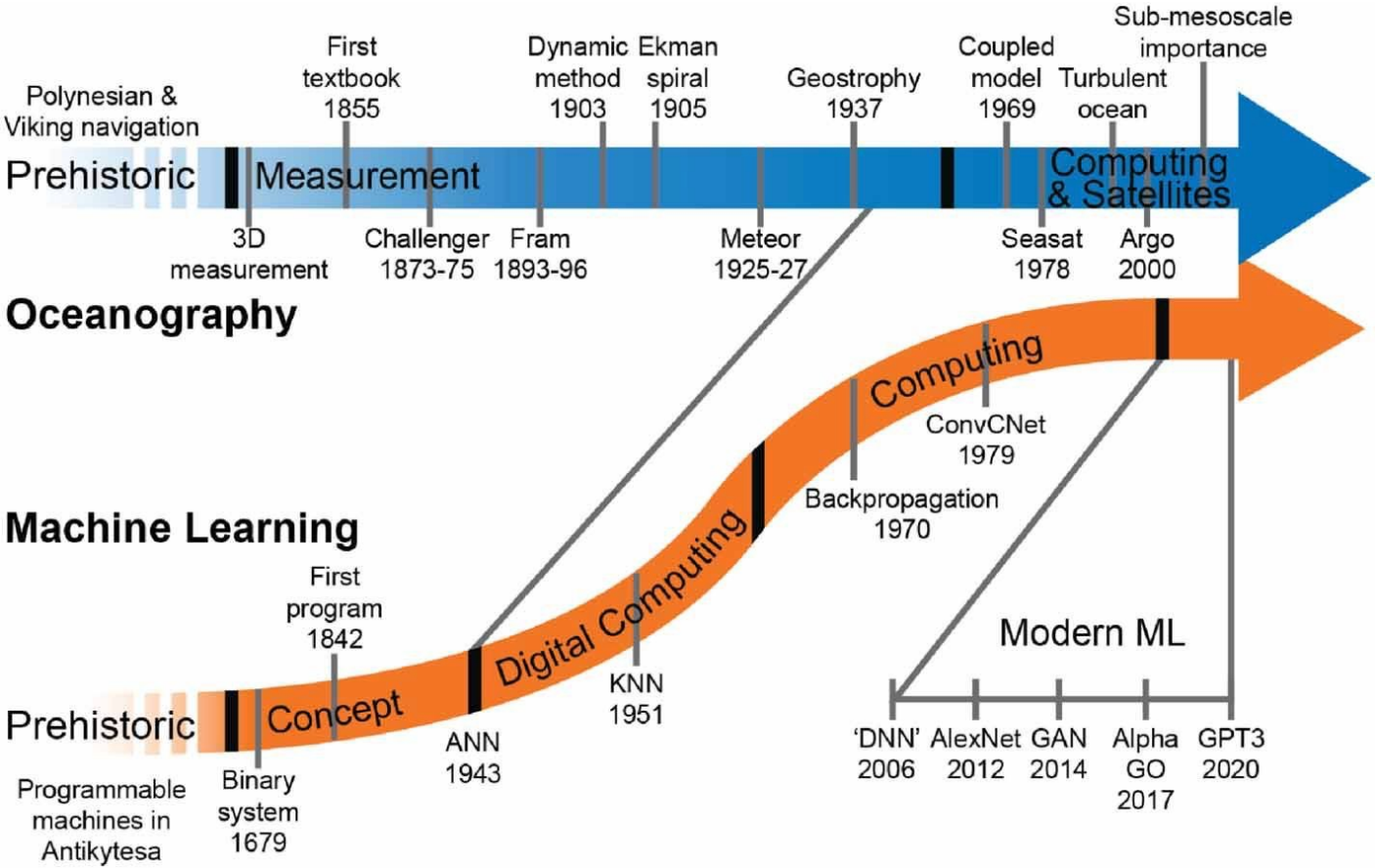
https://partici.fi/86456312

IA para os oceanos e as ciências do mar

Como podemos aprender e ajudar a fortalecer a resiliência



Bronner, Sonnewald and Visbeck, 2023



Sonnewald et al., 2021

AM: a peça que faltava?

Simples demais:
As descrições teóricas tendem a ser simplificadas demais

Difícil demais:
Inferir princípios básicos só a partir dos dados é extremamente difícil

A ponte: o AM



Sonnewald et al., 2021

AM na oceanografia



- Observation operators
- Gap filling
- Error detection and bias correction
- Synthesis of observations
- In situ feature detection

- Learn equations and boundary conditions
- Unsupervised learning to understand dynamics and causality
- Learn process interactions
- Learn sub-grid-scale representation of models

- Learn low-order models
- In situ updates of boundary conditions
- Speed-up simulations via emulation and preconditioning
- Compare models against observations
- Uncertainty quantification

- Data assimilation
- Error correction
- Down-scaling
- Understand climate response
- Improve signal-to-noise
- In situ alarm systems

- Alarm systems
- Climate mitigation
- Route planning
- Oil spilling
- Flooding

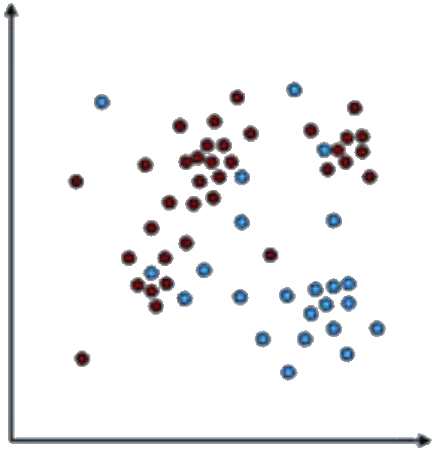
Sonnewald et al., 2021

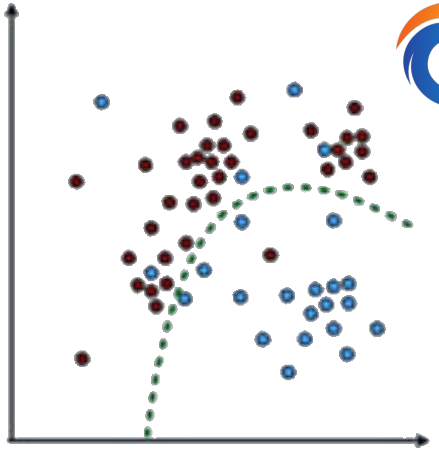
Supervised

-Labeled data

-Decision boundary

Supervisionado, não supervisionado

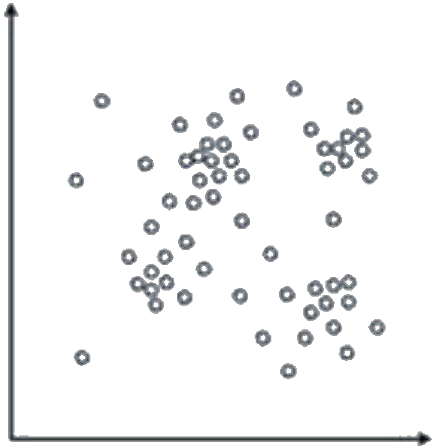




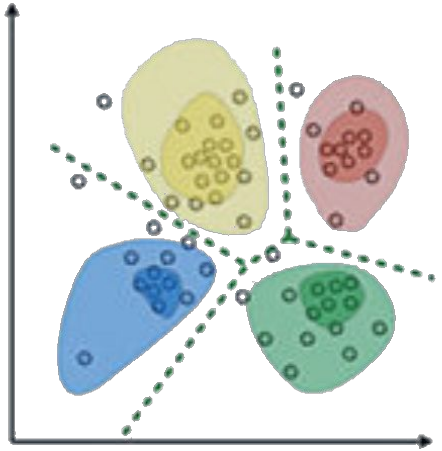
Unsupervised

-No labels

-Identify structures



Training data

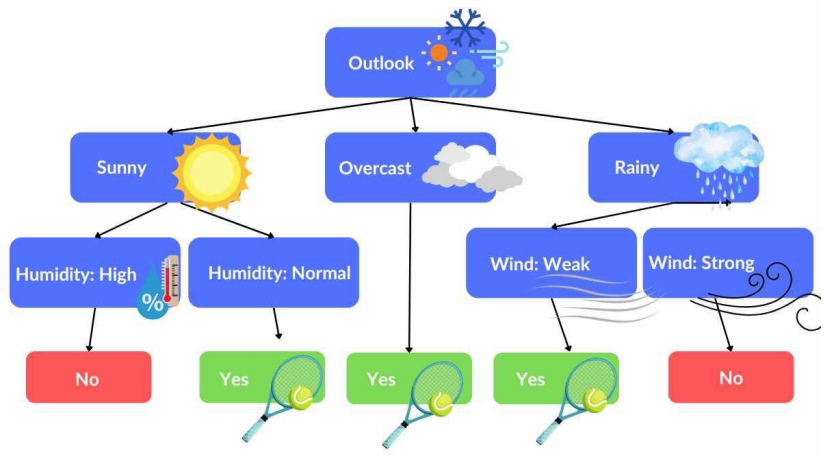


Resulting model

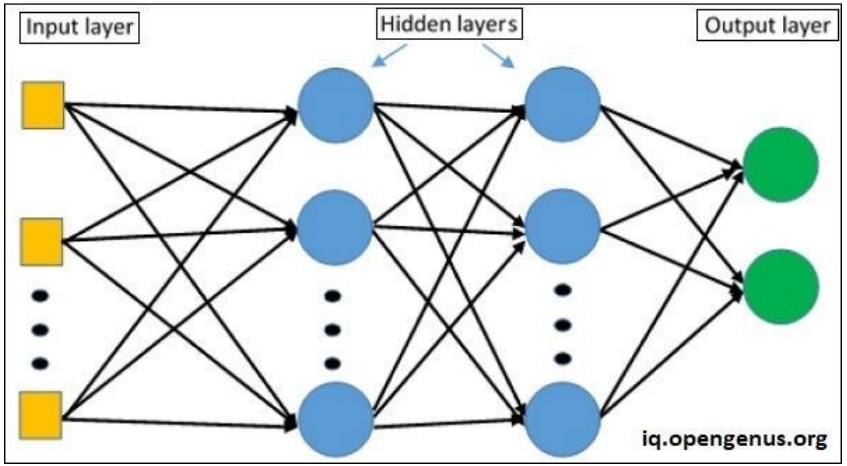
Langs et al., 2018

Dois métodos de AM supervisionado

Florestas aleatórias



Redes neurais

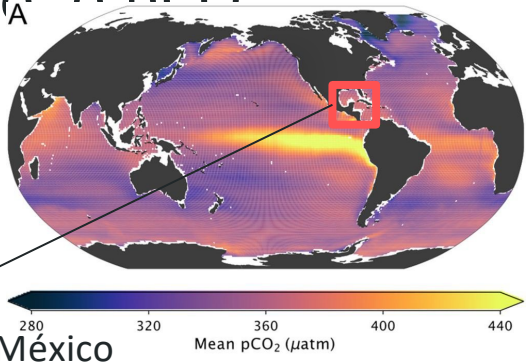


spotIntelligence.com

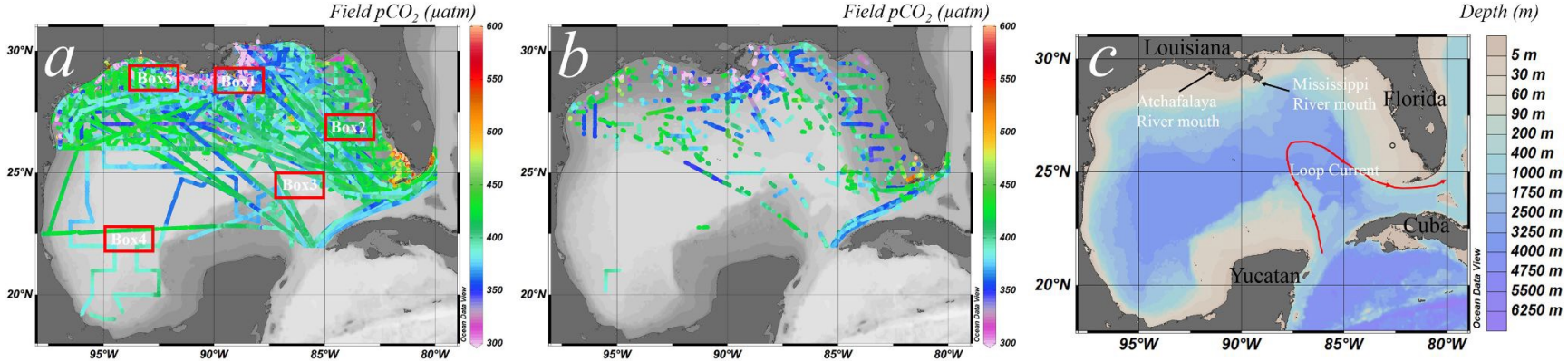
AM para monitorar, na superfície do oceano, o pCO

Medir o CO_2 exige grande esforço

Não há função conhecida entre outra variável preditora e o pCO2 de superfície



Golfo do México



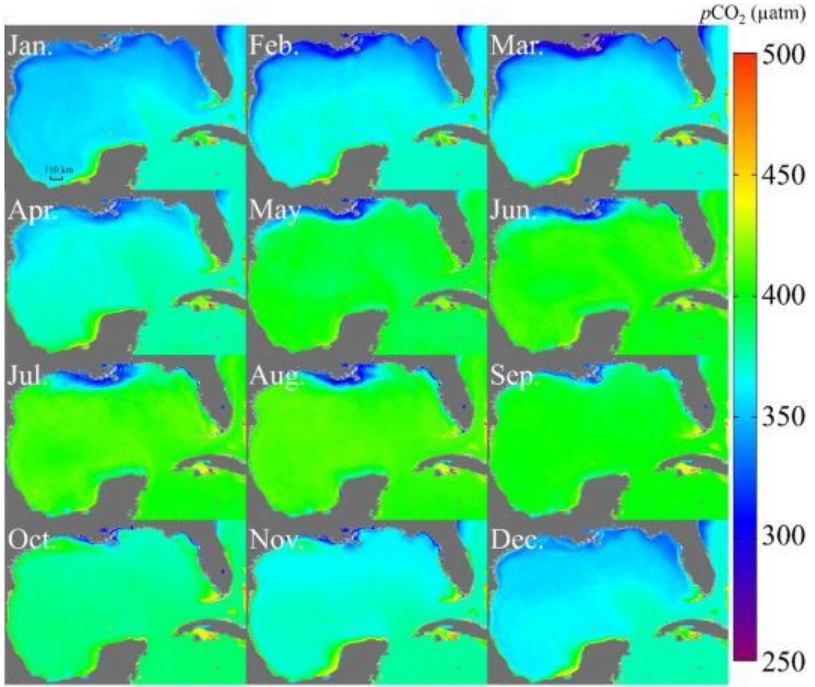
Chen et al,. 2019

AM para monitorar, na superfície do oceano, o pCO_2

Medir o CO_2 exige grande esforço

Não há função conhecida entre outra variável preditora e o pCO2 de superfície

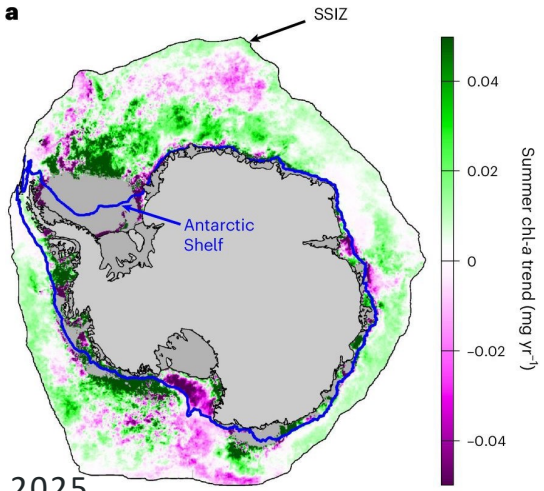
Chen et al., 2019 usaram floresta aleatória para que satélites previssem o pCO2

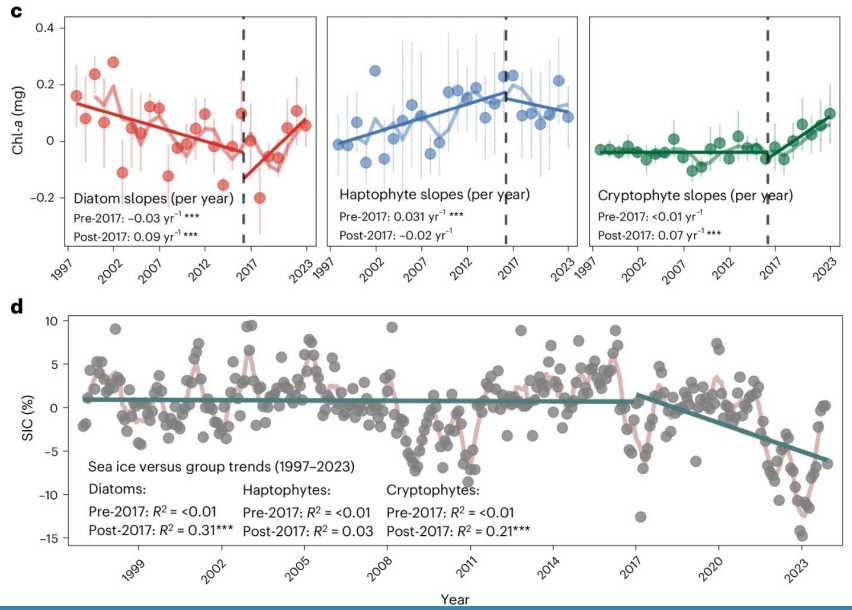


AM para monitorar o plâncton antártico

O fitoplâncton é essencial para a teia alimentar marinha antártica e o sequestro de carbono, mas as mudanças de longo prazo em sua composição são pouco compreendidas

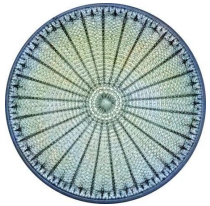
Hayward et al., 2025 usaram florestas aleatórias para mostrar como a composição das comunidades mudou com as mudanças no gelo marinho





Hayward et al., 2025

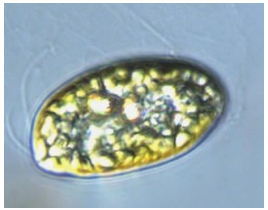
AM para monitorar o plâncton antártico



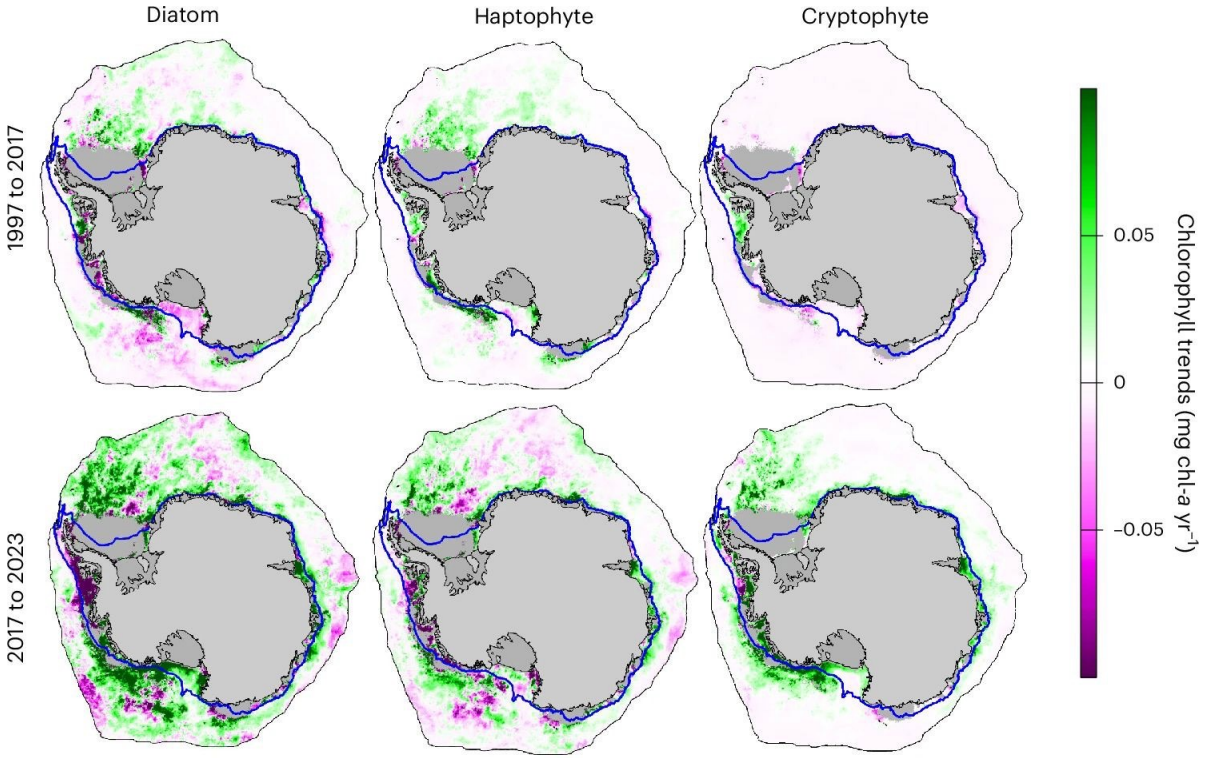
Diatomáceas



Haptófitas



Criptófitas

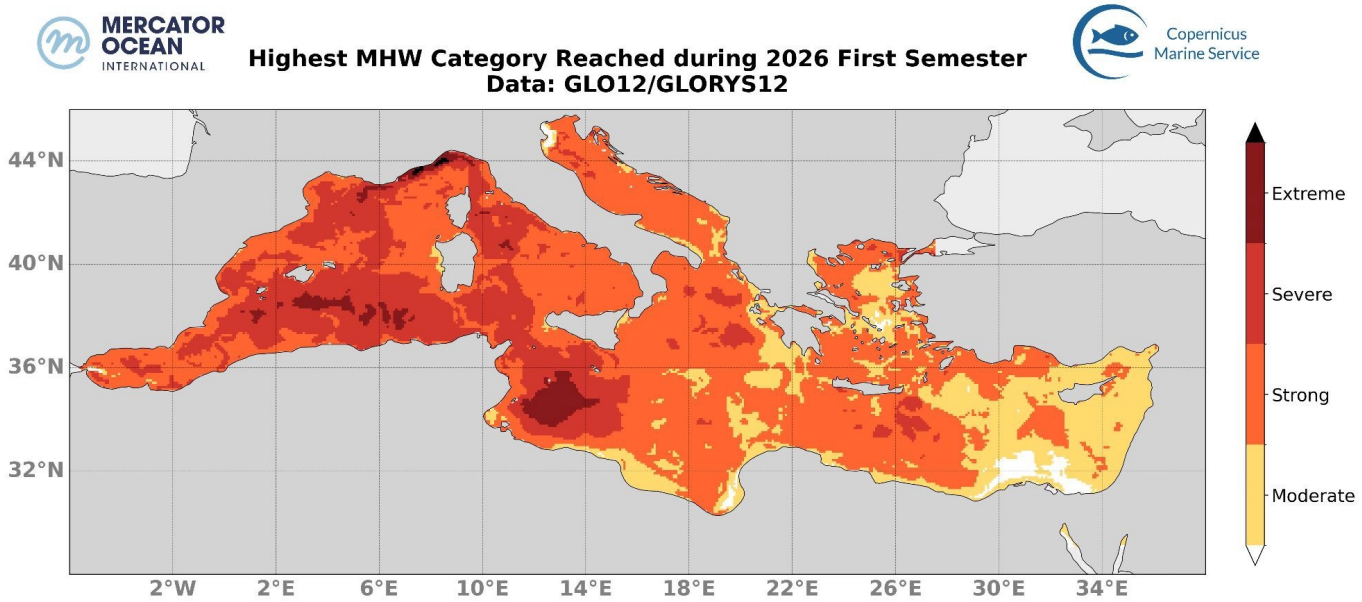


R. Graves, Wikipedia.com, J Oyandomari

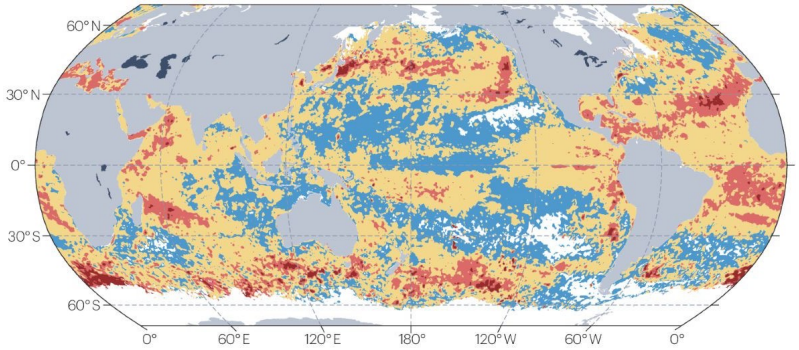
3: Quanto da superfície do Mediterrâneo passou por uma onda de calor no primeiro semestre de 2026?

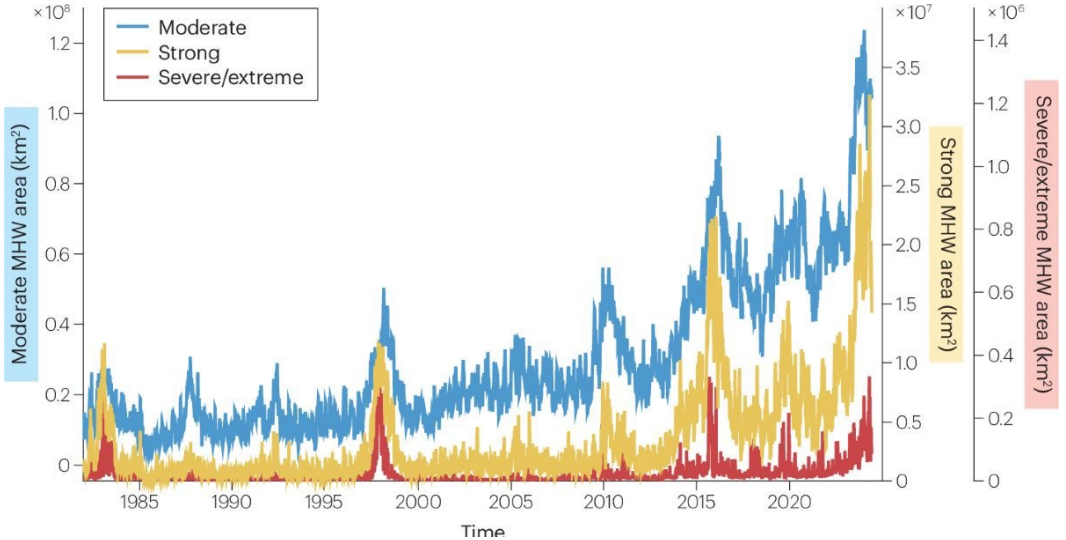
https://partici.fi/86456312

Quanto da superfície do Mediterrâneo passou por uma onda de calor no primeiro semestre de 2026?



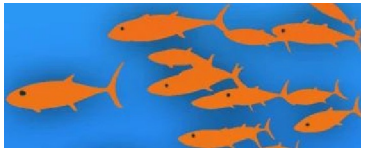
As ondas de calor marinhas estão ficando mais frequentes e intensas



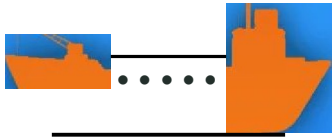


Wernberg et al., 2025

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS OCEANOS



MUDAM AS ÁREAS
DAS ESPÉCIES



IMPACTOS ECONÔMICOS
NA PESCA

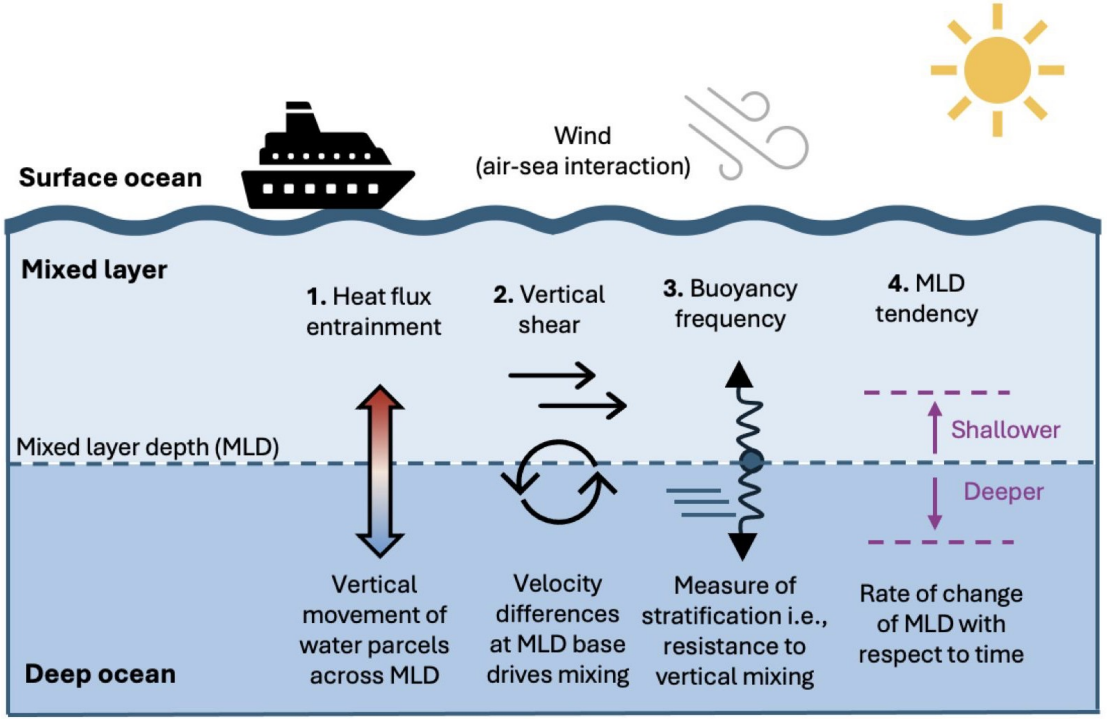
FORTALECEM
E FURACÕES TROPICAIS



BLEACHES CORAL

CLIMATE CENTRAL

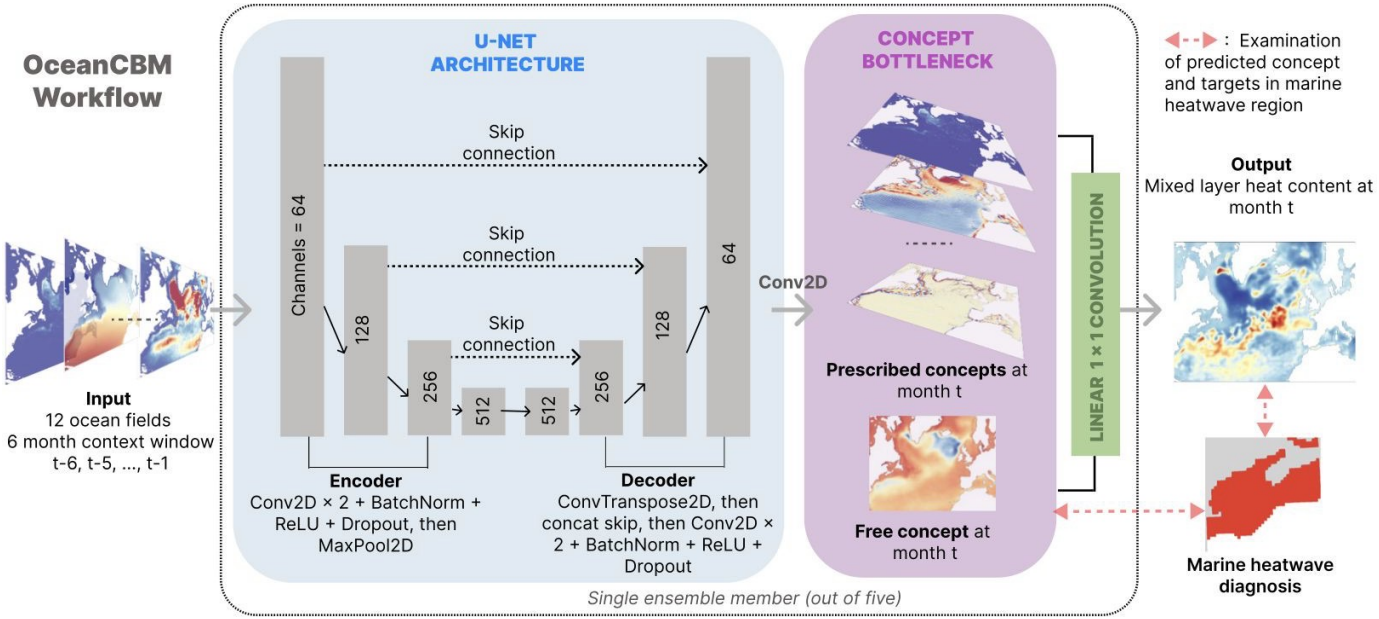
AM para previsão e atribuição de ondas de calor marinhas



Suri et al., 2026

AM para previsão e atribuição de ondas de calor marinhas

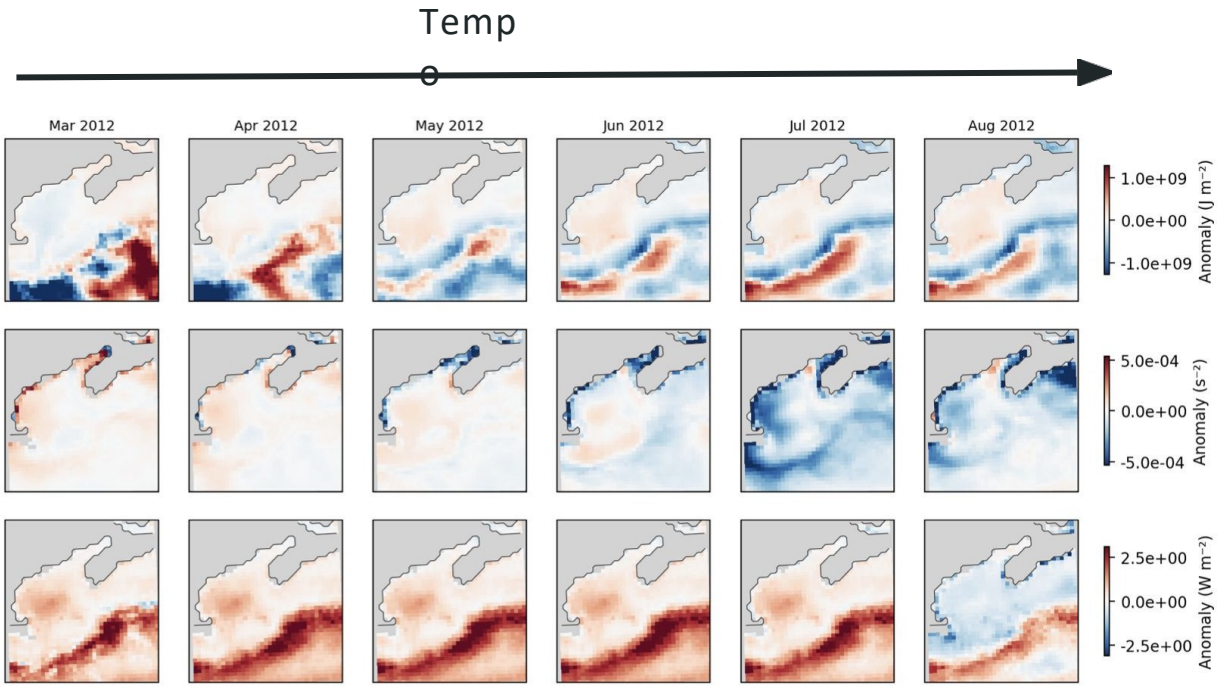
Prever o conteúdo de calor da camada de mistura deixando a rede escolher o que importa



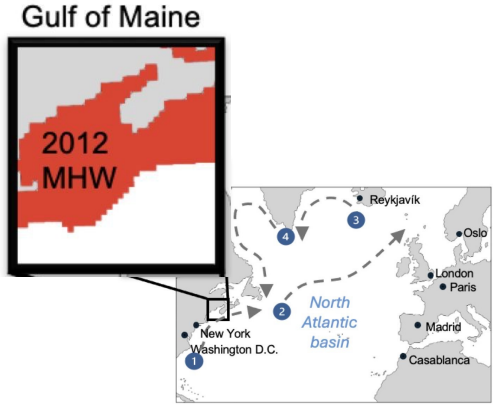
Suri et al., 2026

AM para previsão e atribuição de ondas de calor marinhas

Conceitos (seleção)

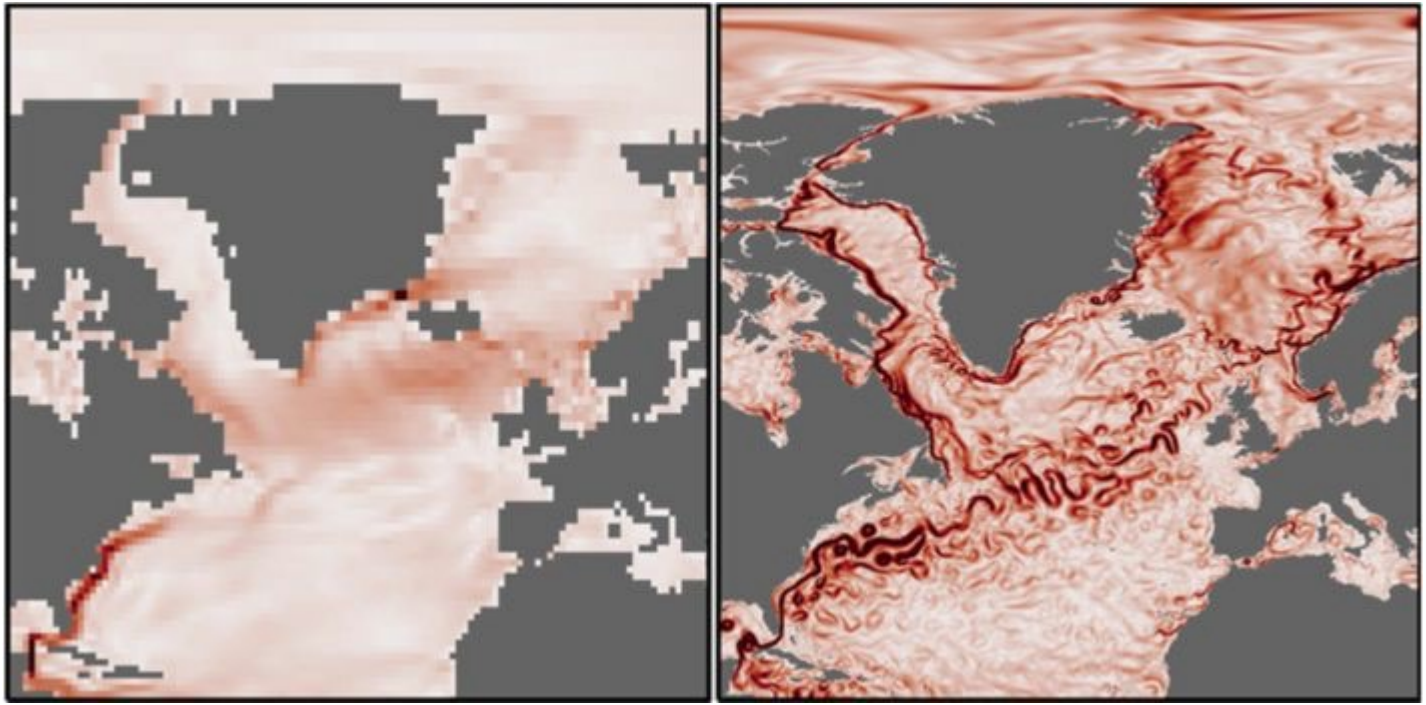


Suri et al., 2026



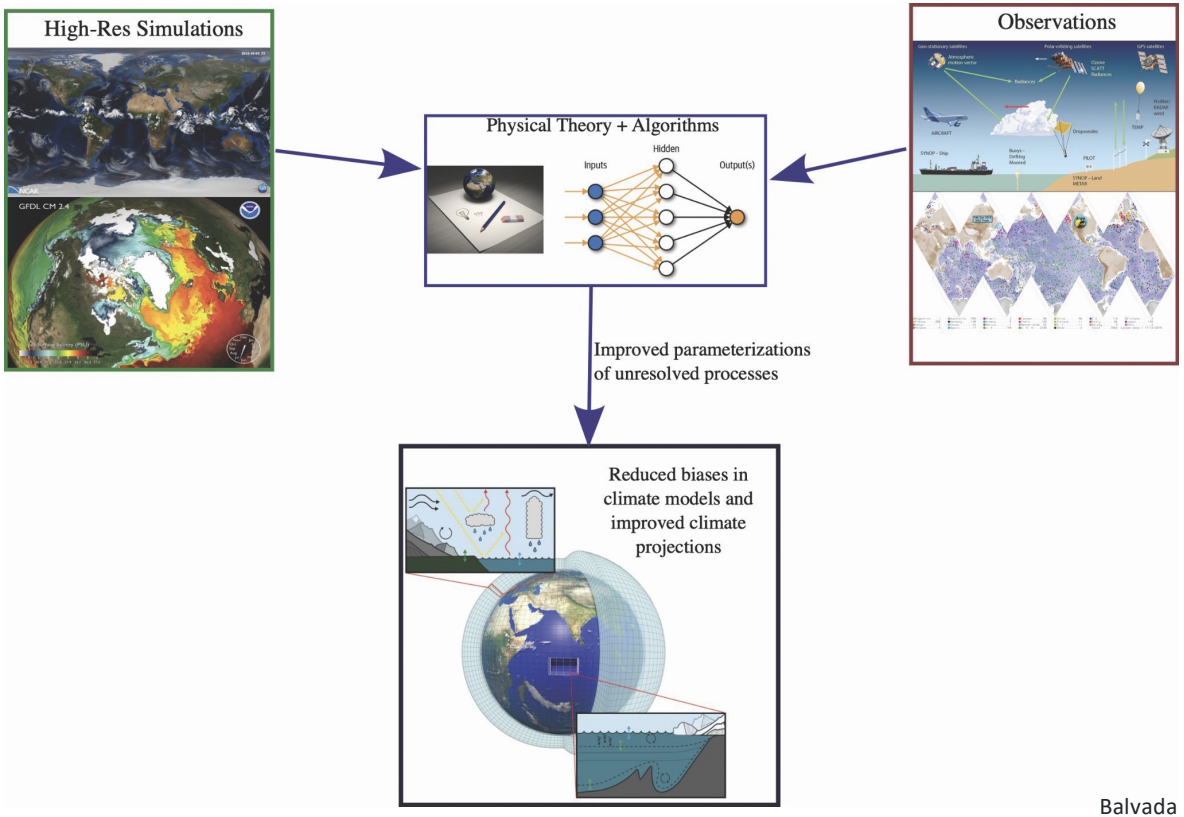
Conclusão:
O aporte de calor atmosférico que aqueceu a camada de mistura
+
o aumento da estratificação aprisionou o calor perto da superfície

AM para a parametrização de modelos oceânicos



fyfluiddynamics.com

AM para a parametrização de modelos oceânicos



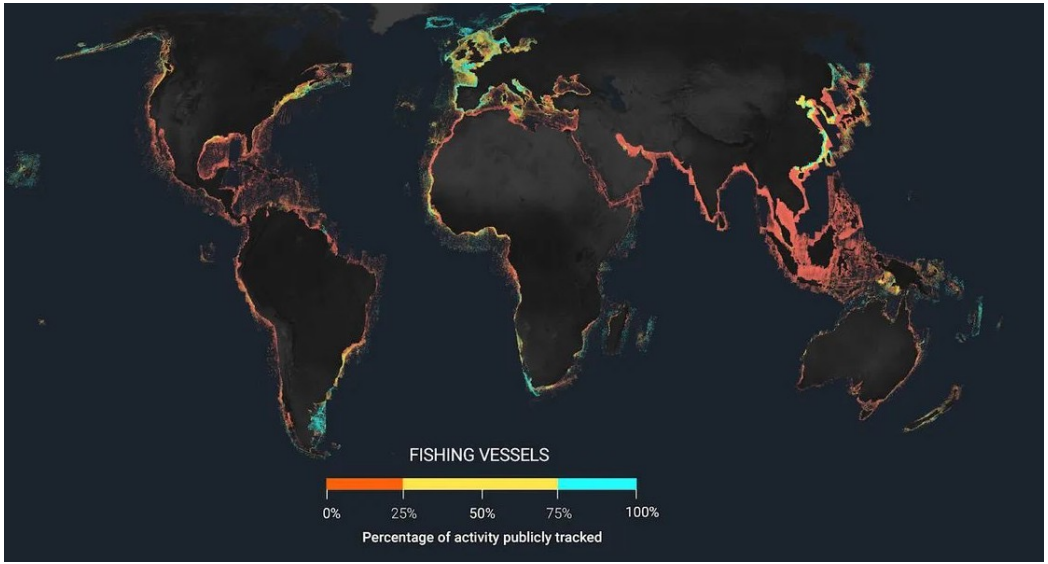
Balvada and Zanna, 2022

AM para a gestão da pesca

A Global Fishing Watch oferece um mapa quase em tempo real da pesca industrial para combater atividades ilegais

Eles usam dados de rastreamento de embarcações e IA

Os dados disponíveis dão, por exemplo, posição, velocidade e rumo, mas não a intenção. A IA classifica o tipo de embarcação (arrasteiro, espinheleiro, cerqueiro) e infere se está em trânsito ou pescando



AM para a gestão da pesca: Uma observação sobre quem se beneficia

A Global Fishing Watch revela atividades ilegais, mas a capacidade de fiscalização é distribuída de forma desigual

Detectar sem capacidade de agir pode transferir o ônus para onde há menos capacidade



Circulação oceânica e clima: aprofundamento

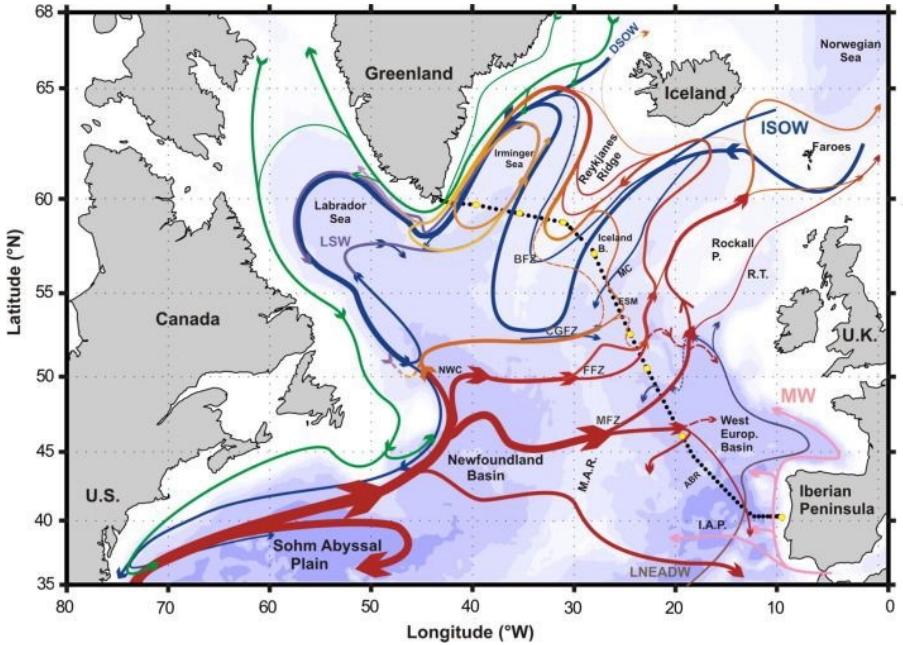
Circulação meridional de revolvimento do Atlântico (AMOC):

- Transporte de calor para a Europa
- Padrões atmosféricos
- Secas
- Nível do mar na costa leste dos EUA
- Furacões



A Islândia classificou o risco de colapso da AMOC como ameaça à segurança nacional

AM para entender a mudança da AMOC no CMIP



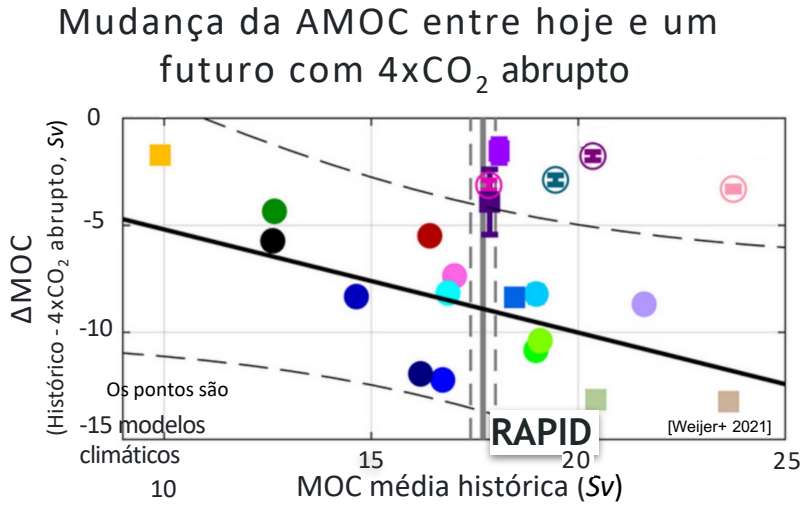
Avaliada por uma métrica simplista: a vazão a 26ºN

Um único número para descrever correntes complexas?

Daniault et al., 2016

O CMIP tem poucos dados para entender a mudança

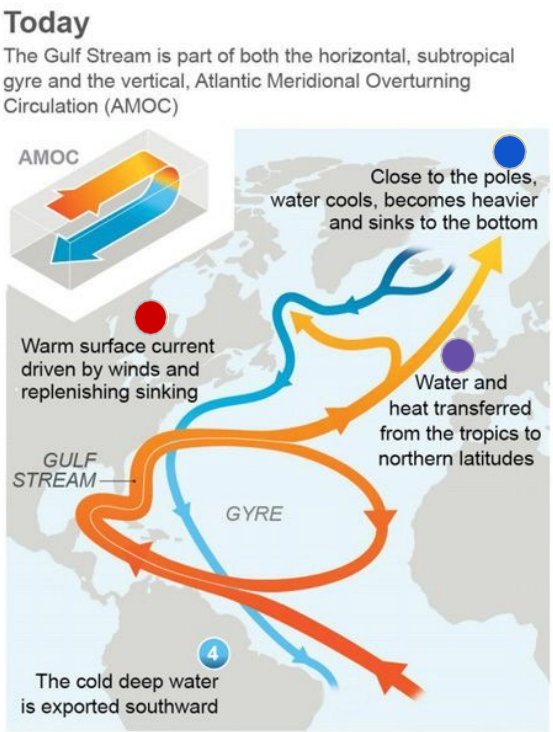
- Métricas agregadas são comuns
  - P. ex.: a métrica da circulação meridional de revolvimento do Atlântico (AMOC)
- Mede a intensidade e o transporte de volume da AMOC
- Acompanha a rapidez com que a água quente vai para o norte e a água fria volta para o sul
- Transporte de volume das correntes: medido com profundidade, velocidade, temperatura e salinidade do oceano
  - Localização dos arranjos: monitoramento nas latitudes 26,5°N (RAPID), 34,5°S (SAMBA) e em regiões subpolares.

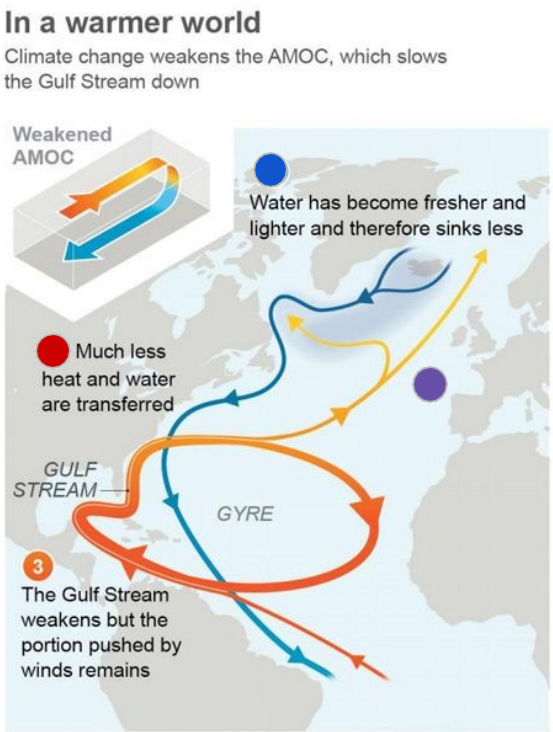


1Sv = 10^6 m^3/s

A Corrente do Golfo vai parar com a mudança climática?

Vemos marcas da mudança na dinâmica

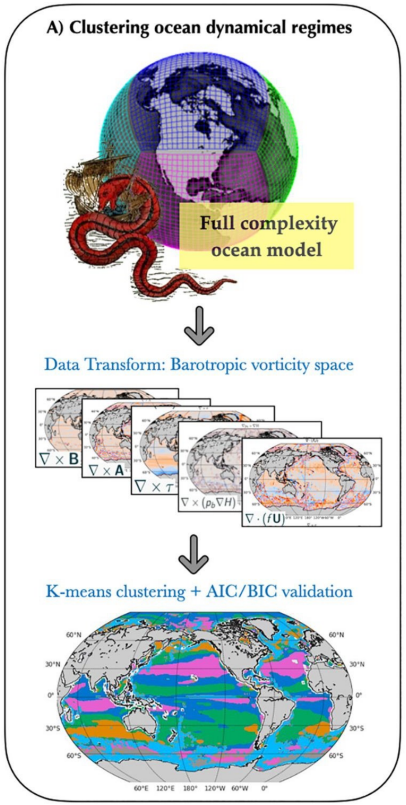


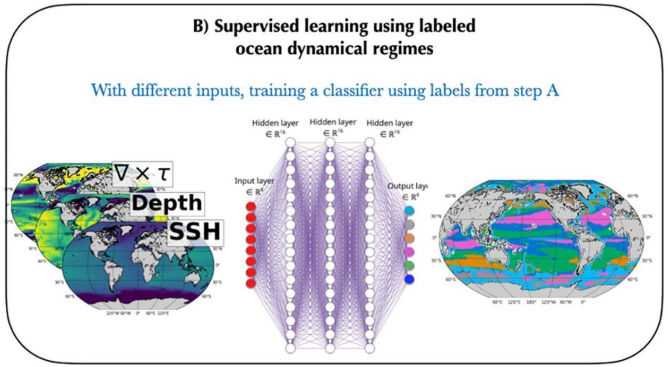


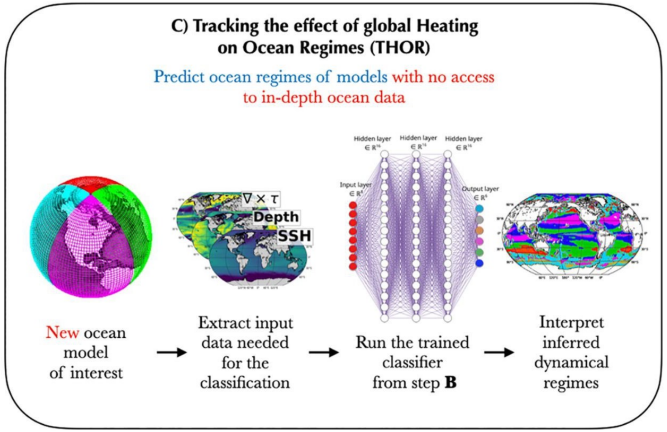
- A Corrente do Golfo se desloca para o norte
- O caminho do aporte de calor muda
- Águas menos densas/pesadas

Adaptado do AR5 do IPCC

Método: acompanhar o aquecimento global com regimes oceânicos (THOR)







Inferir o detalhe das correntes com os poucos dados disponíveis

Computação equitativa: código aberto e HPC na nuvem

GitHub maikejulie/DNN4Cli

FAIR

AWS

Sonnewald and Lguensat, 2021, ***JAMES***

Sonnewald, et al., 2021, ***International Conference on Machine Learning (ICML)* workshop paper spotlight**

Gille […], **Sonnewald** et al., 2018, **Open Code Policy for NASA Space Science, white paper**

ç

Dominar a complexidade dos fluidos nos modelos climáticos

Componente oceânico de complexidade total



Transformação simbólica

Arcabouço do espaço das equações fundamentais

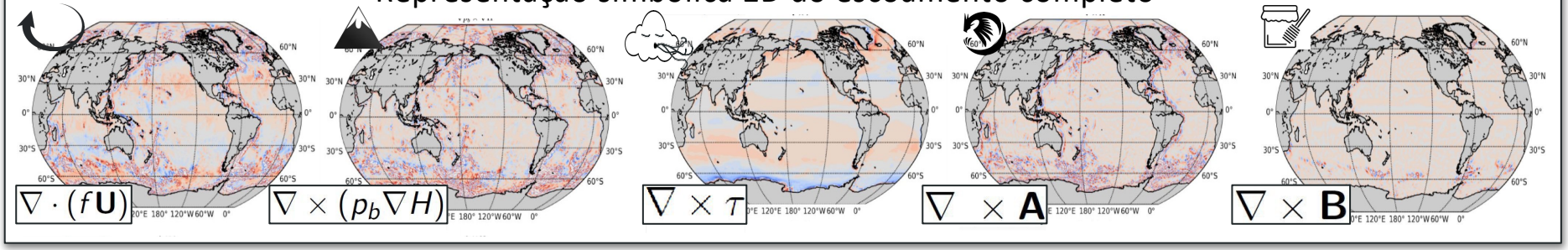
(Equação de vorticidade barotrópica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Representação simbólica 2D do escoamento completo



[SWH 2019 ESS]

Dominar a complexidade dos fluidos nos modelos climáticos

Componente oceânico de complexidade total



Transformação simbólica

Arcabouço do espaço das equações fundamentais

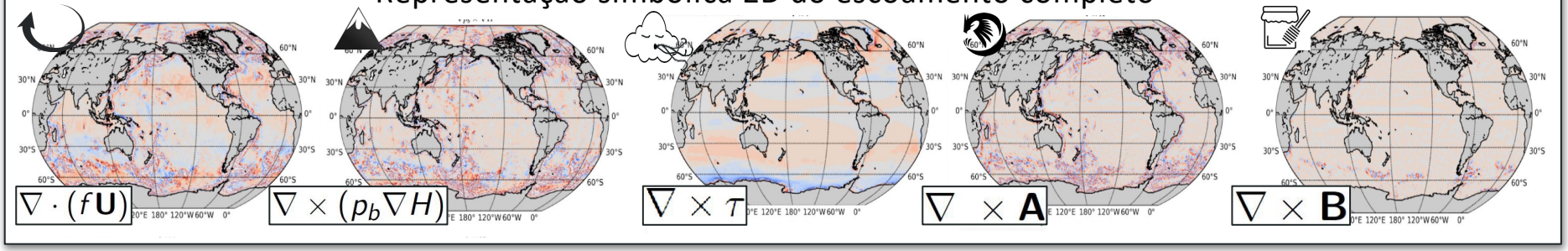
(Equação de vorticidade barotrópica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Representação simbólica 2D do escoamento completo



[SWH 2019 ESS]

Dominar a complexidade dos fluidos nos modelos climáticos

Componente oceânico de complexidade total



Transformação simbólica

Arcabouço do espaço das equações fundamentais

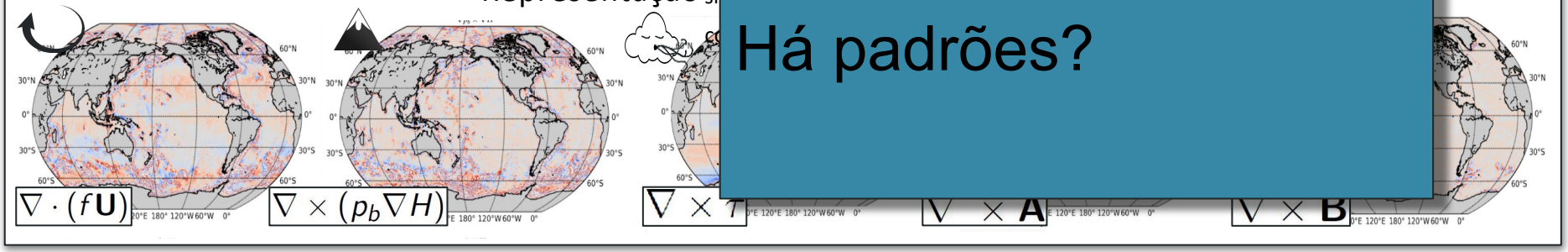
(Equação de vorticidade barotrópica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Representação si



Há padrões?

[SWH 2019 ESS]

Dominar a complexidade dos fluidos nos modelos climáticos

Componente oceânico de complexidade total



Transformação simbólica

Arcabouço do espaço das equações fundamentais

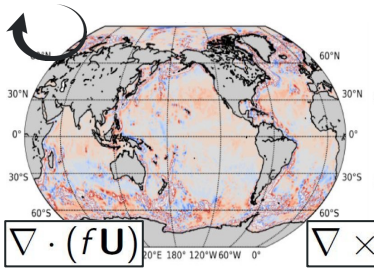
(Equação de vorticidade barotrópica)

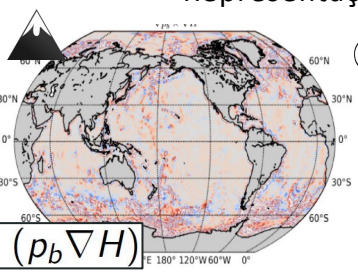
Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

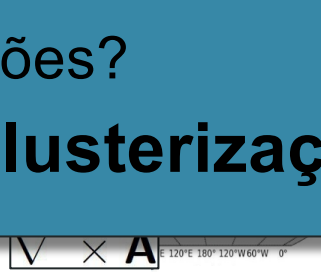
Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

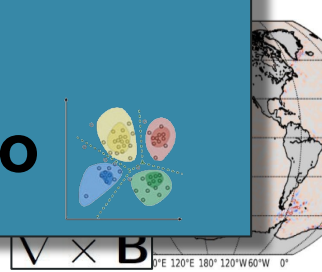
Representação







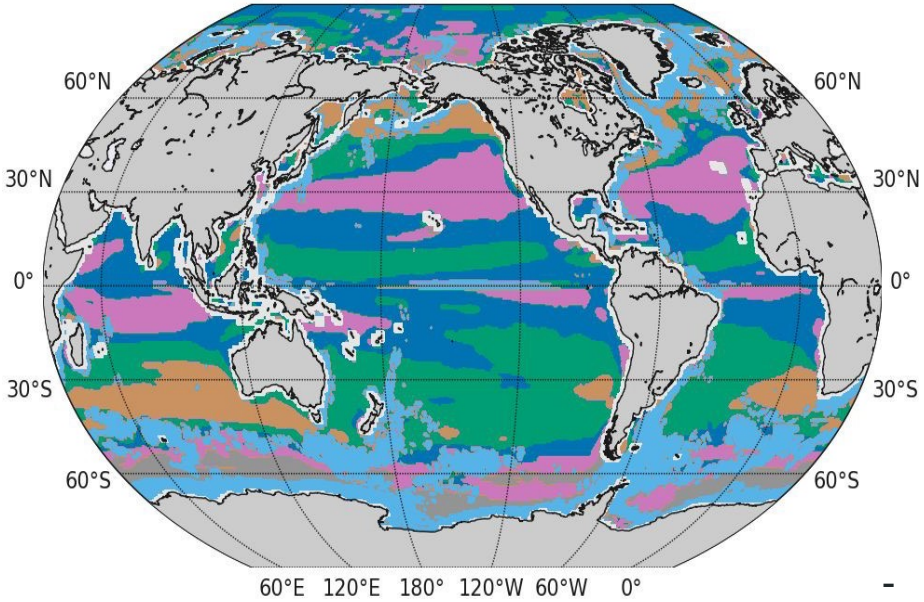


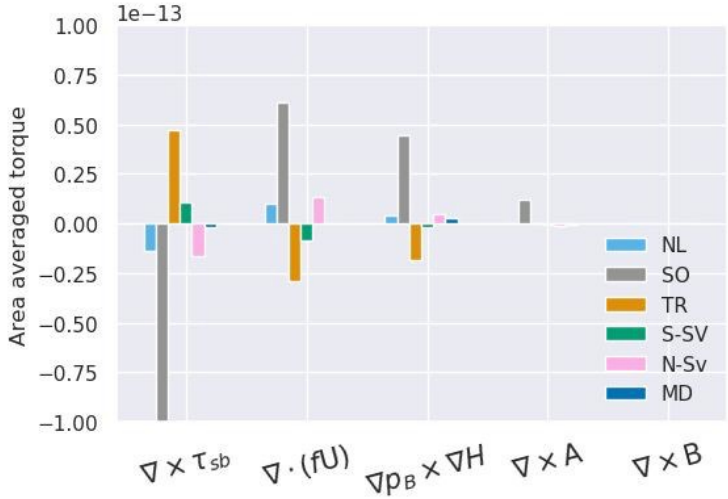


Há padrões?

Usar clusterização

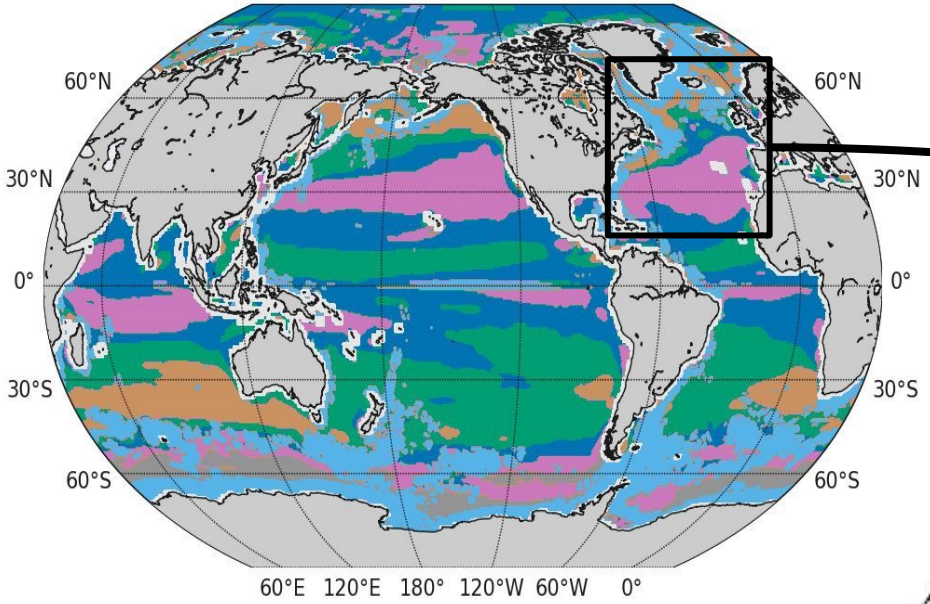
[SWH **2019 ESS**]

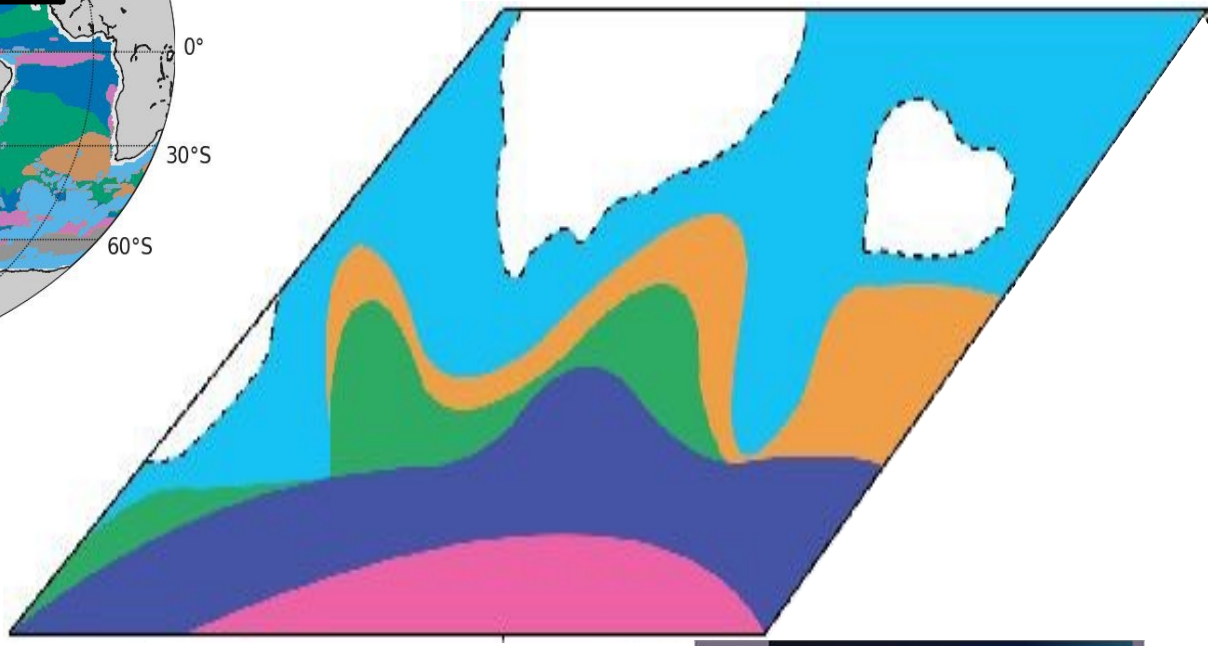




- Surgem regiões coerentes
- Os regimes indicam o equilíbrio dos termos da equação

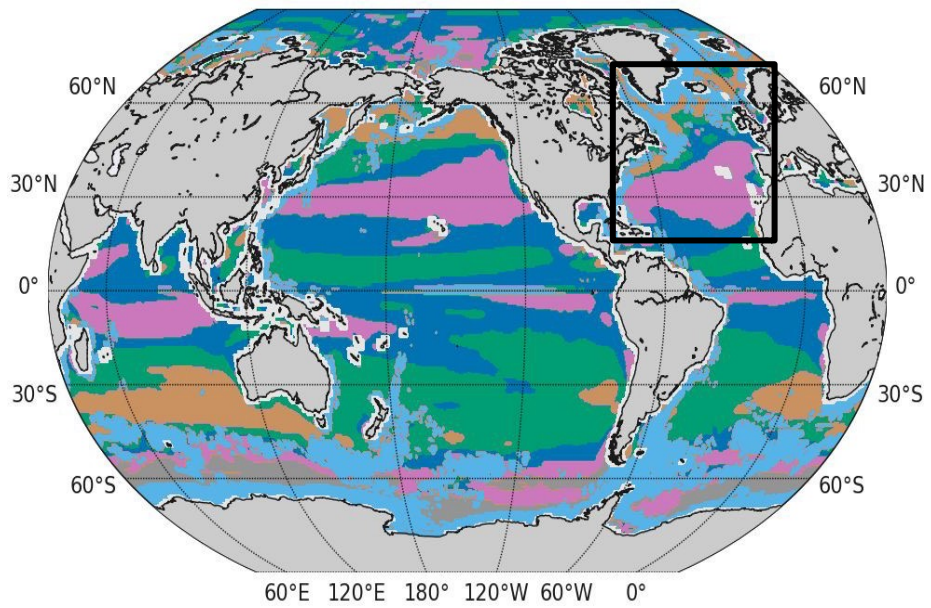
NL - Não linear	**SO - Oceano Austral**	**TR - Transicional**
S-SV - Sverdrupiano HS	**N-SV - Sverdrupiano HN**	**MD - Dominado pelo momento**

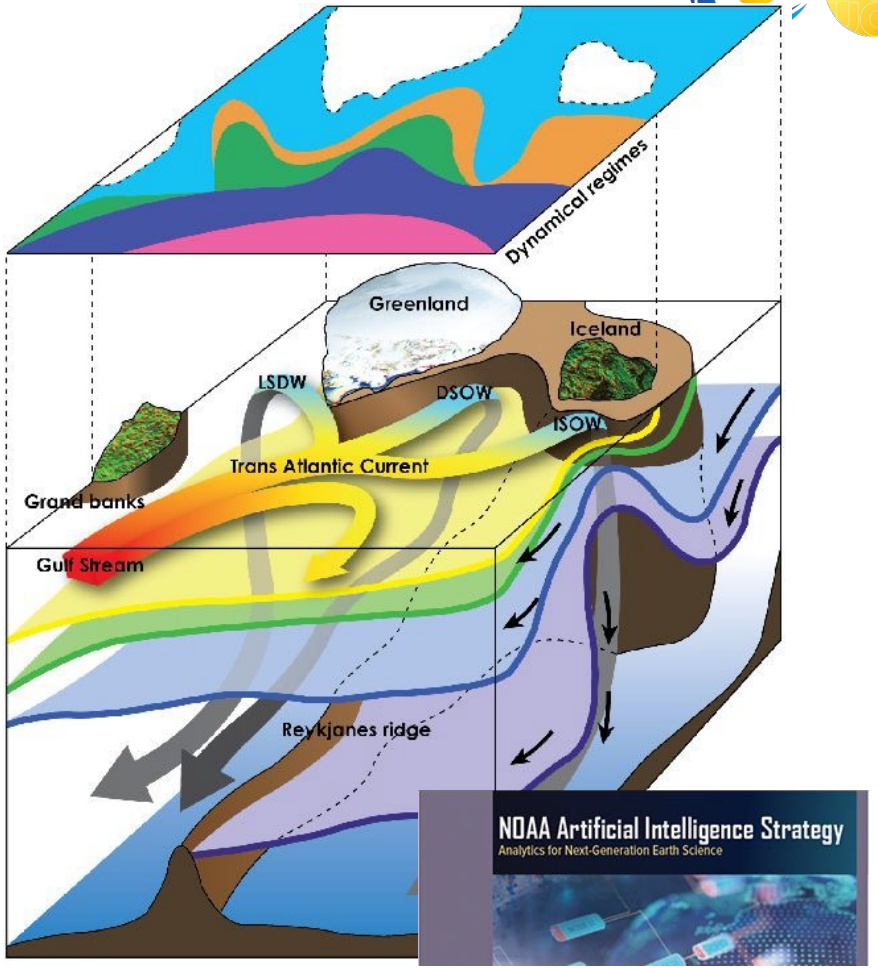






Novo conhecimento: Sonnewald, Reeve & Lguensat, 2023
Principal: Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019,
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022

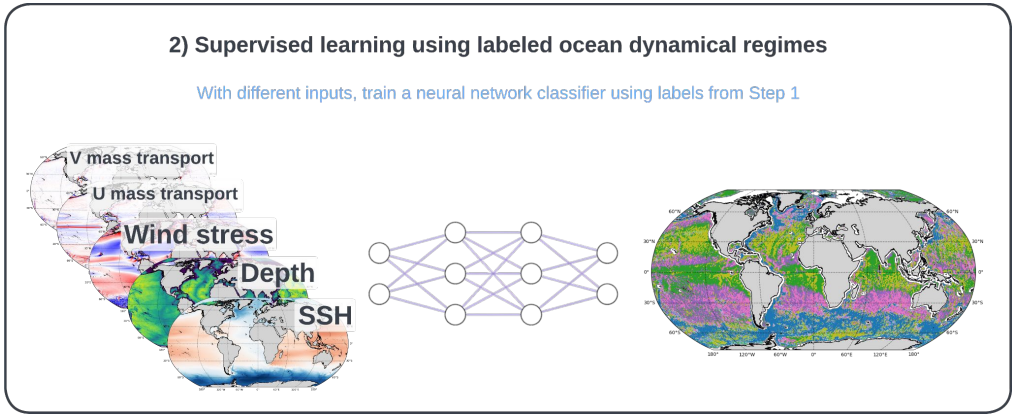




Os regimes revelam estruturas oceânicas 3D ligadas, por exemplo, ao transporte de calor

- Correntes quentes levadas ao norte (vermelho)
- Resfriamento ao cruzar a bacia (amarelo)
- Afundamento em profundidade (cinza)

Aprender regimes a partir de campos disponíveis

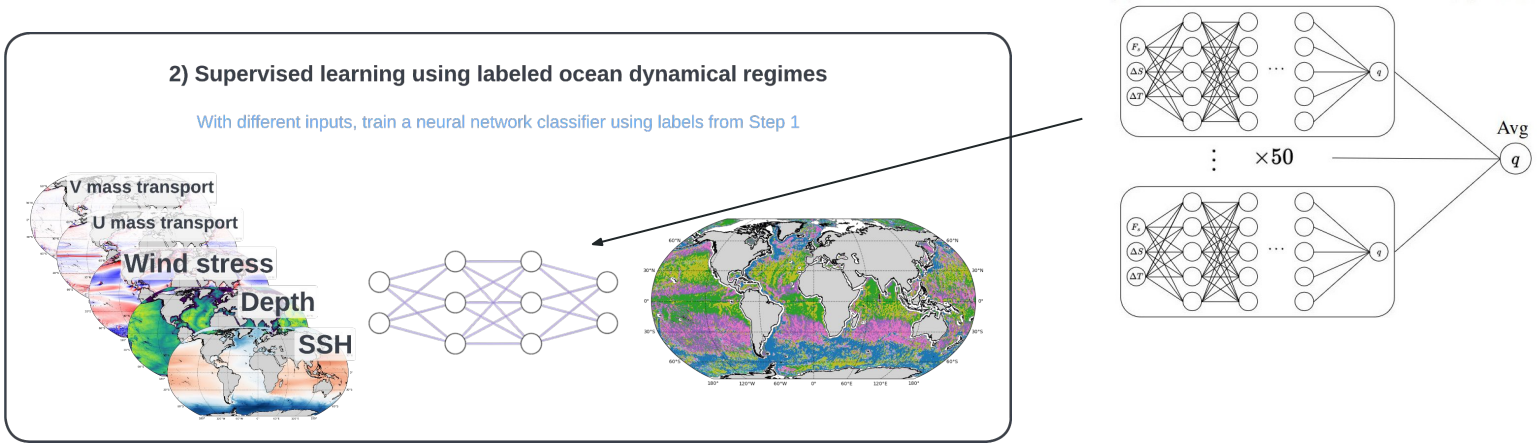


- Entradas: “palavras” aproximadas
  - Altura da superfície do mar (ZOS) + gradientes x/y
  - Profundidade (altura da coluna) + gradientes x/y
  - Rotacional da tensão do vento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de massa mensal integrado na profundidade (umo_2d + vmo_2d)
  - Parâmetro de Coriolis (f)

- Os rótulos fornecem o “contexto”: 6 regimes dinâmicos
- Deep ensemble (50 MLPs) para quantificar a incerteza
- Aplicação de técnicas de IA explicável

Sonnewald, Reeve & Lguensat, no prelo, Nature Comm. Earth and Env. Principal: Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019, ESS.
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022 Eng Appl AI

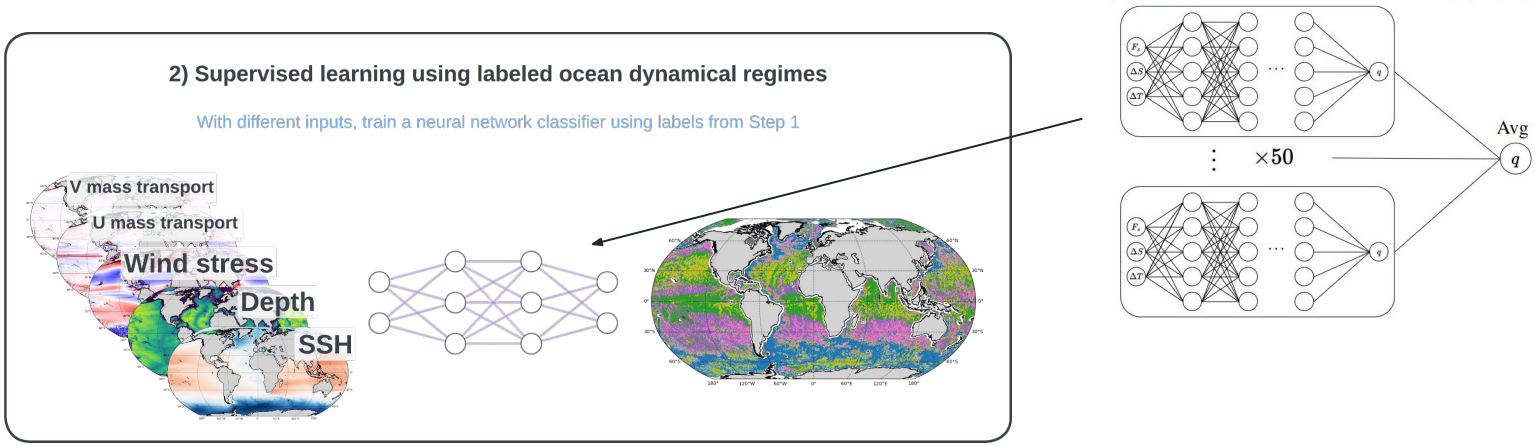
Aprender regimes a partir de campos disponíveis



- Entradas: “palavras” aproximadas
  - Altura da superfície do mar (ZOS) + gradientes x/y
  - Profundidade (altura da coluna) + gradientes x/y
  - Rotacional da tensão do vento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de massa mensal integrado na profundidade (umo_2d + vmo_2d)
  - Parâmetro de Coriolis (f)

- Os rótulos fornecem o “contexto”: 6 regimes dinâmicos
- Deep ensemble (50 MLPs) para quantificar a incerteza
- Aplicação de técnicas de IA explicável

Aprender regimes a partir de campos disponíveis



- **Entradas disponíveis no CMIP:**
  - Altura da superfície do mar (ZOS)
  - Profundidade (altura da coluna)
  - Rotacional da tensão do vento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de massa mensal integrado na profundidade
  - Parâmetro de Coriolis (f)

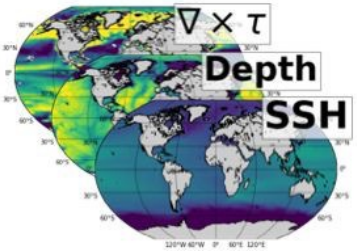
- **Modelo de AM:**
  - Deep ensemble (50 MLPs) para quantificar a incerteza
  - Aplicação de técnicas de IA explicável

Aplicar a diferentes cenários climáticos para entender as mudanças

THOR: regimes em um modelo inédito

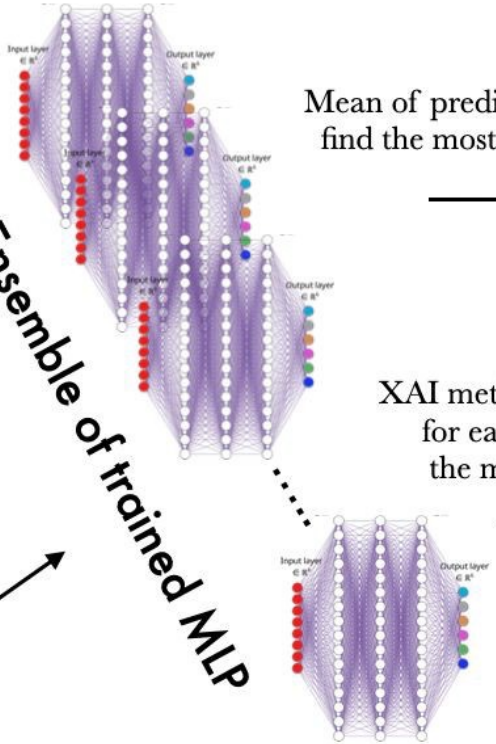


Ocean model of interest



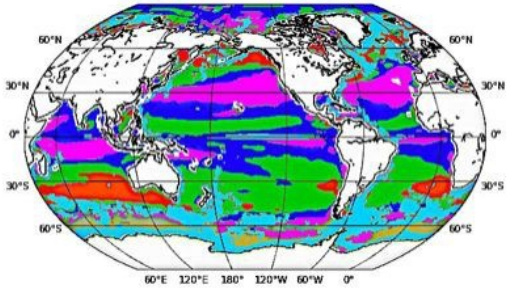
Extract input data needed by the classifier

Ensemble of trained MLP



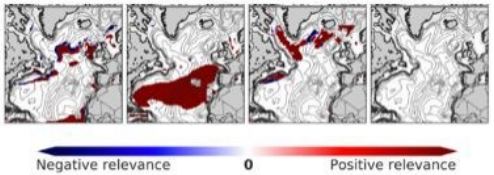
Mean of predictions is used to find the most probable class

Classification
Predict dynamical regimes in unseen data

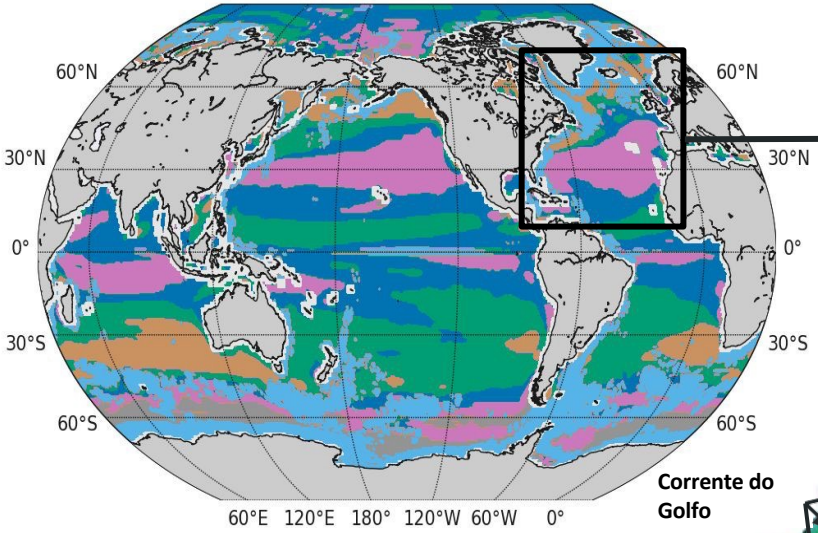


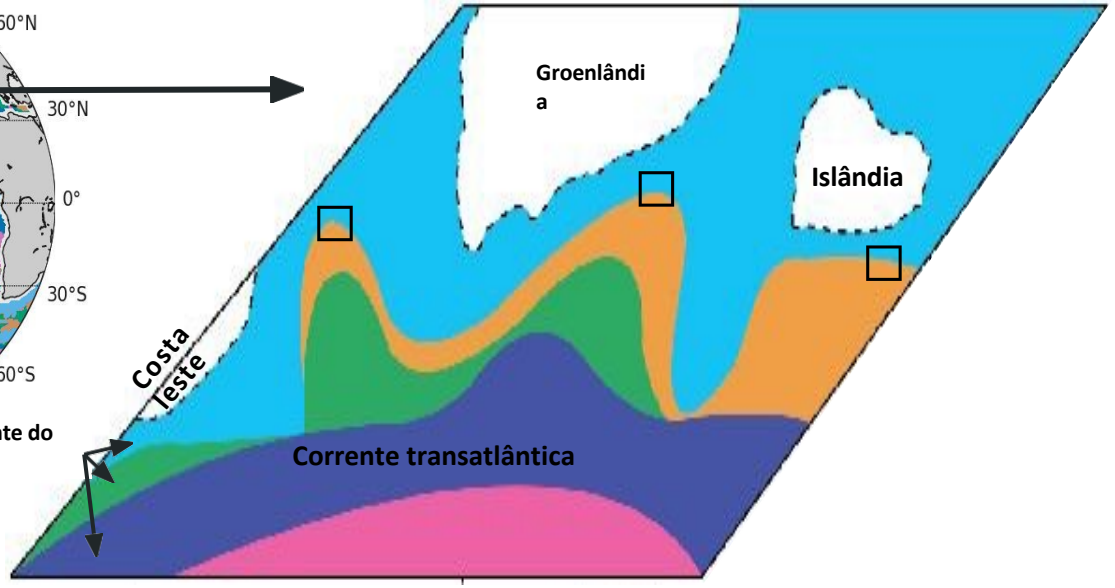
XAI method (ex: LRP) is used for each MLP to obtain the mean of relevances

Explainability
Attribute predictive skill to input features



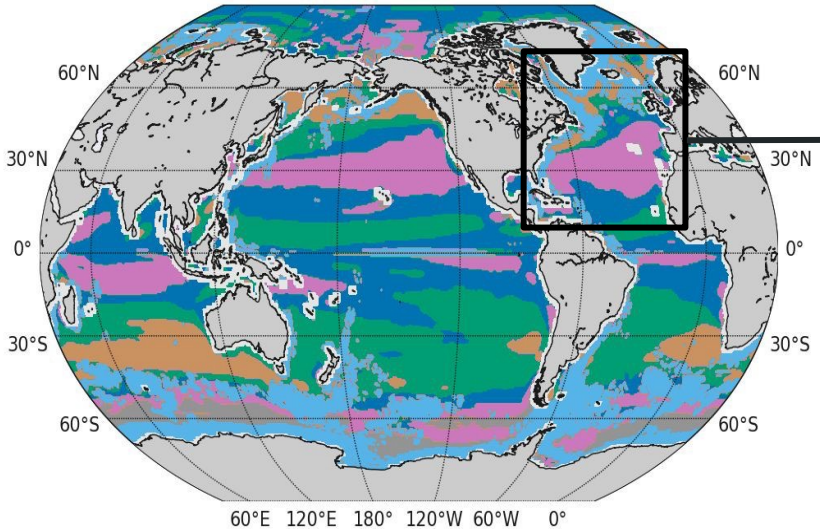
THOR: diagnosticar os processos da AMOC





□ = água densa na superfície

THOR: diagnosticar os processos da AMOC

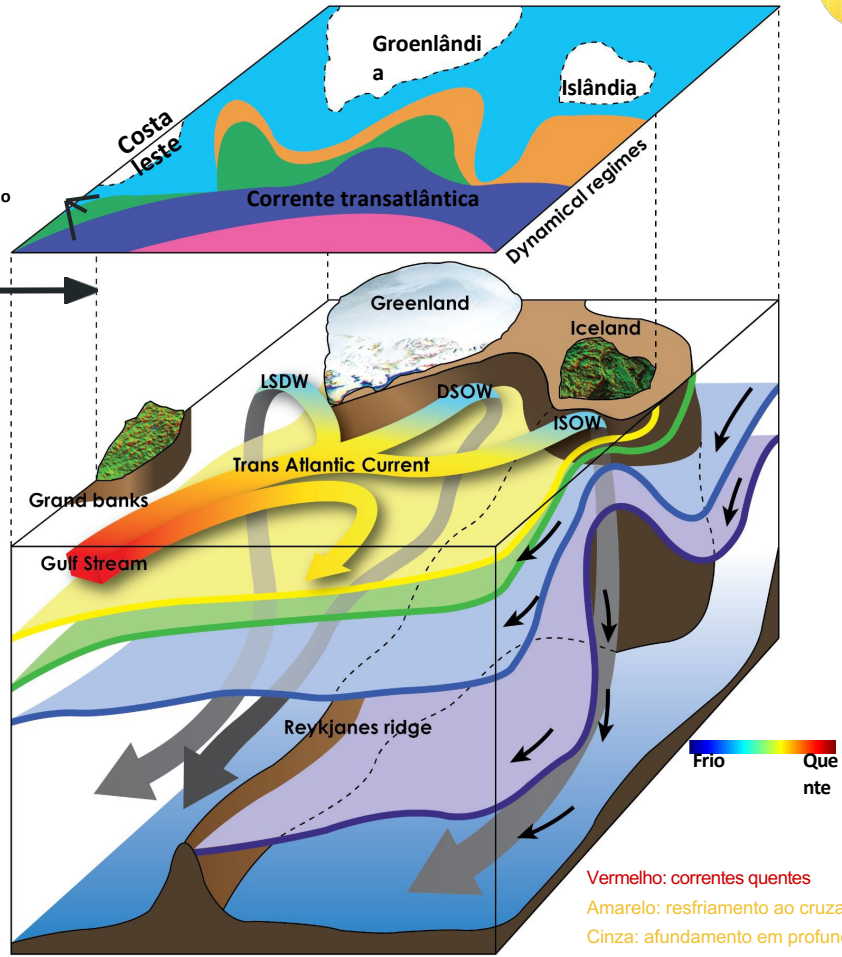


THOR aplicado a modelos CMIP

Diagnosticar processos para acelerar o ajuste e a parametrização dos modelos

GFDL e IPDL



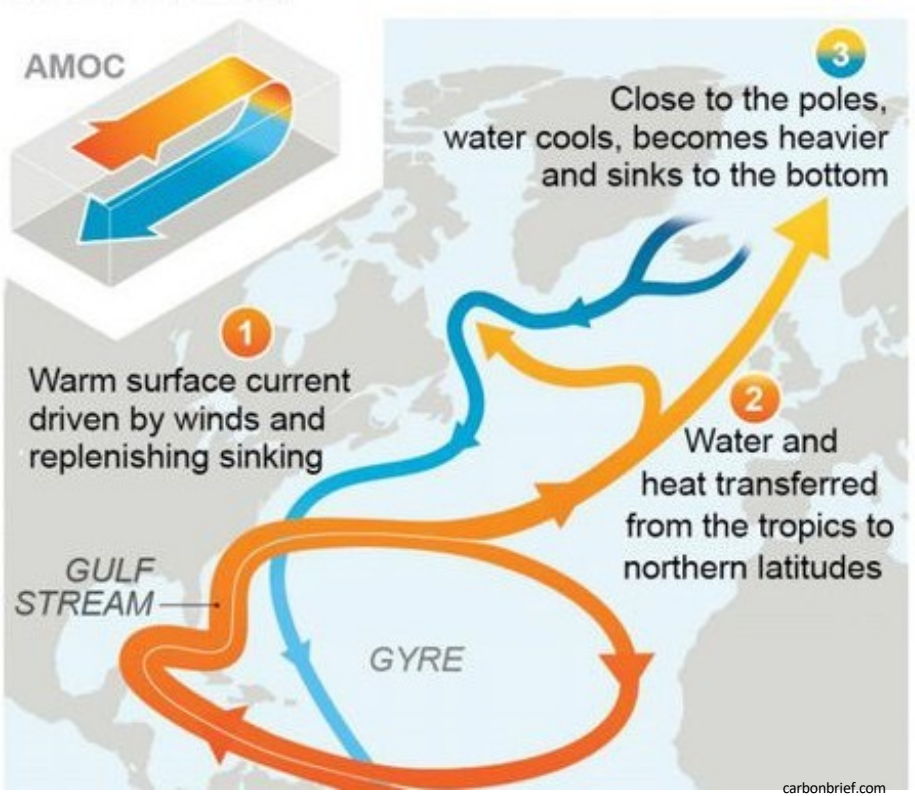


Vermelho: correntes quentes

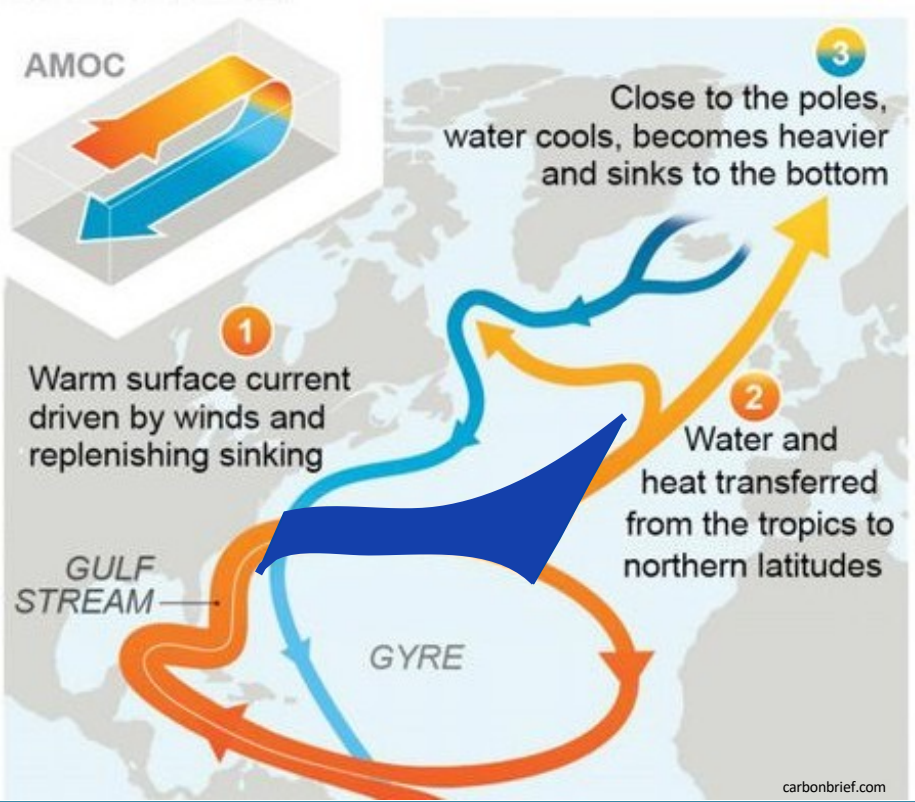
Amarelo: resfriamento ao cruzar a bacia

Cinza: afundamento em profundidade

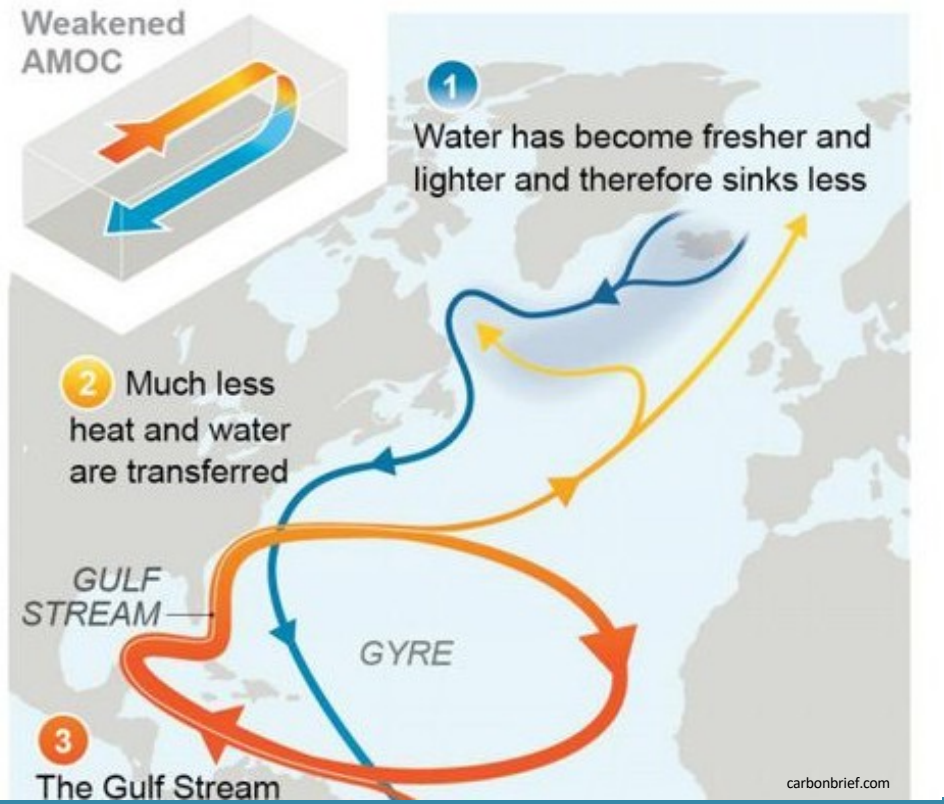
Como a circulação de revolvimento vai enfraquecer?



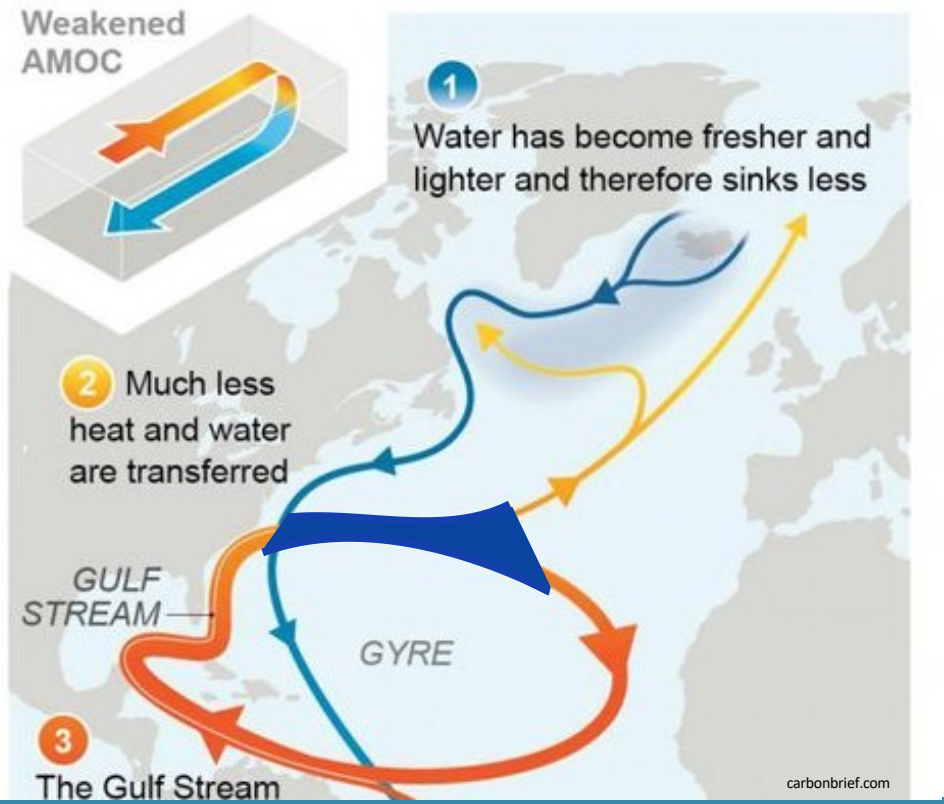
Como a circulação de revolvimento vai enfraquecer?



Como a circulação de revolvimento vai enfraquecer?



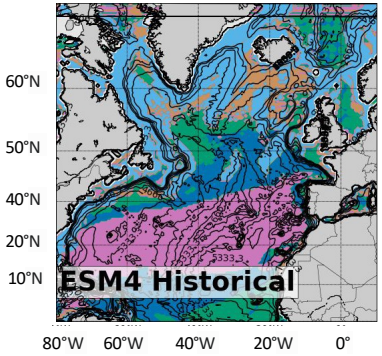
Como a circulação de revolvimento vai enfraquecer?



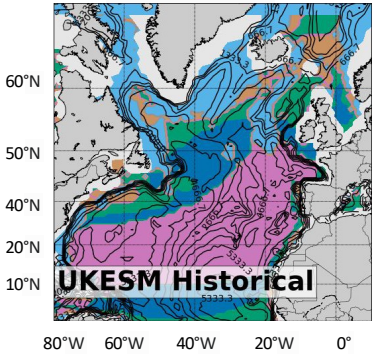
THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

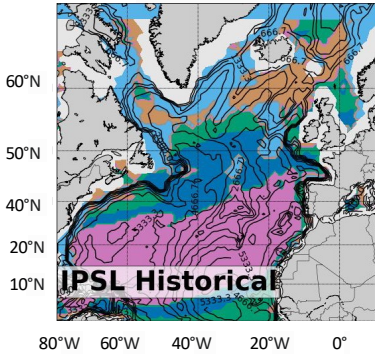
GFDL ESM4

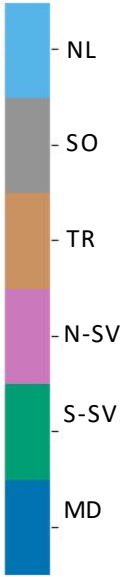


UKESM



IPSL



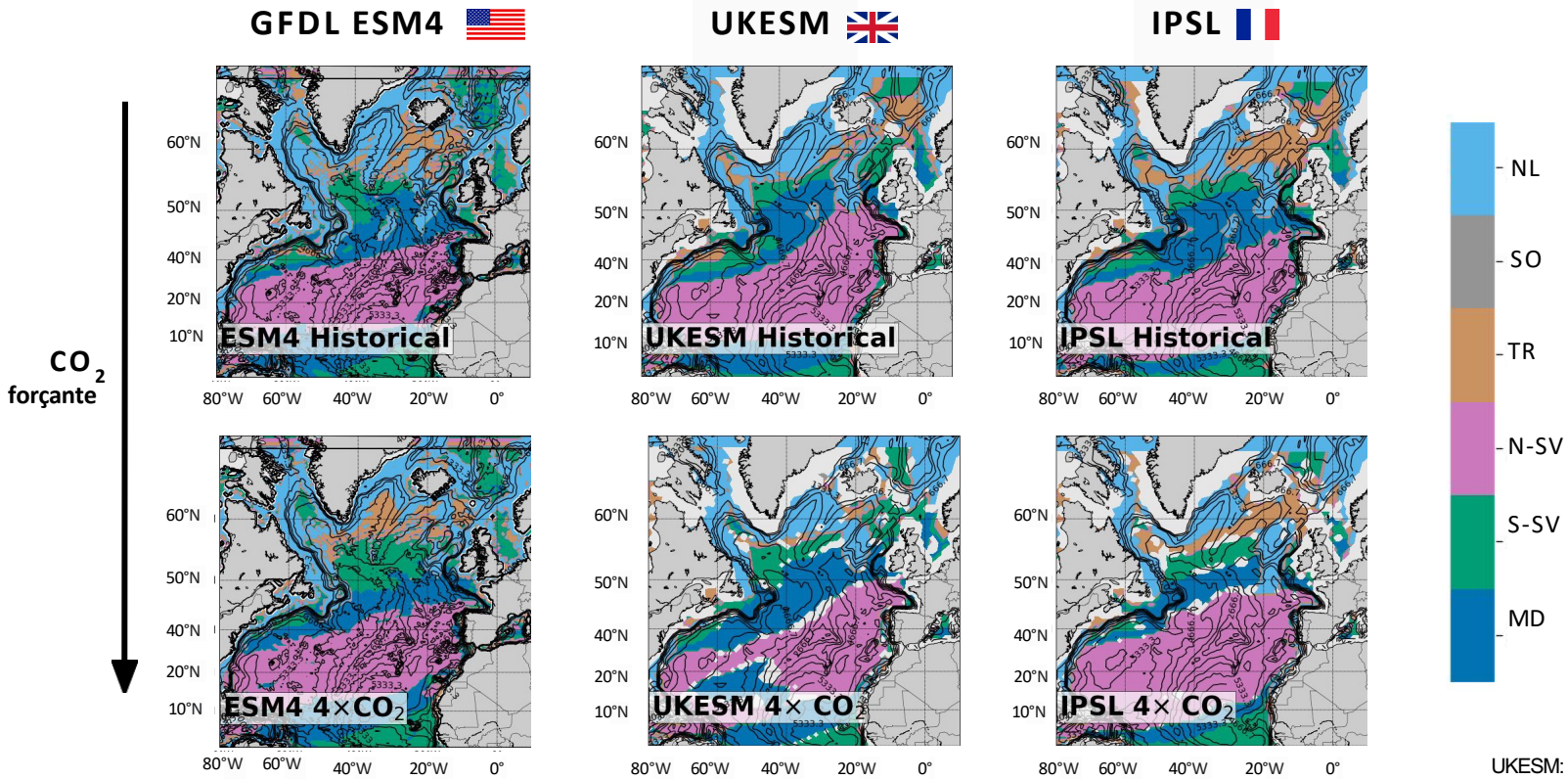


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

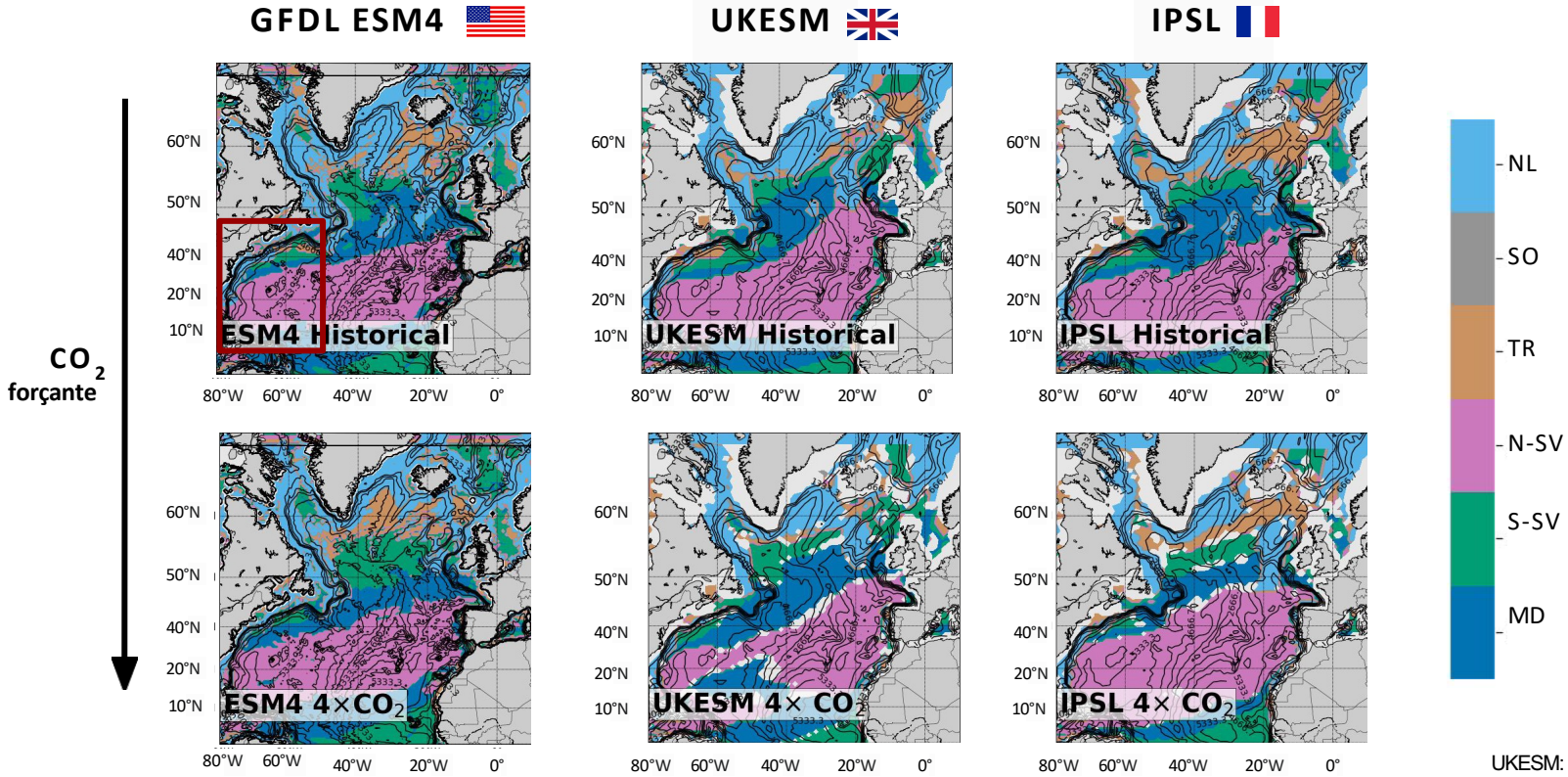


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários "históricos" se parecem, mas os futuros revelam diferenças

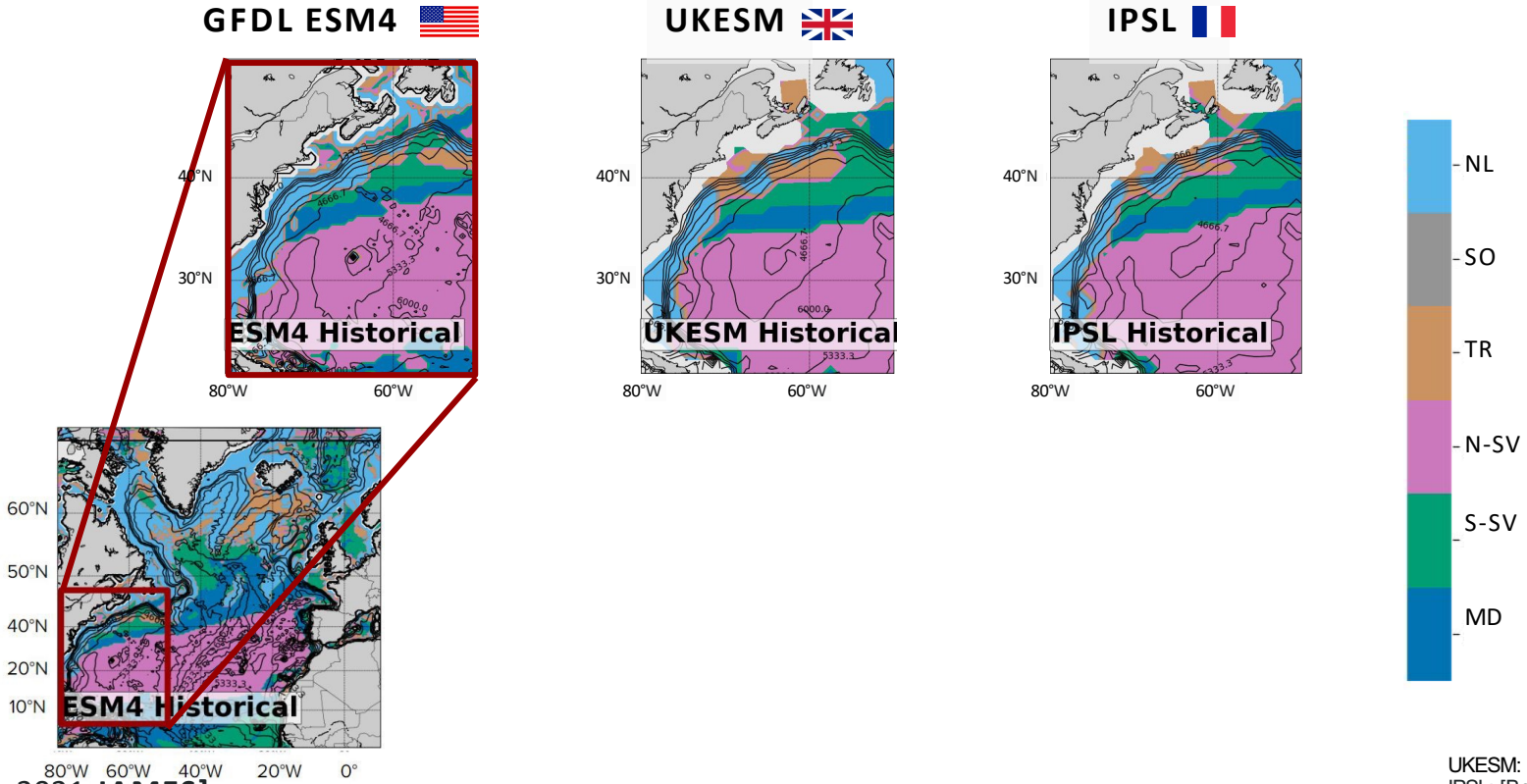


UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

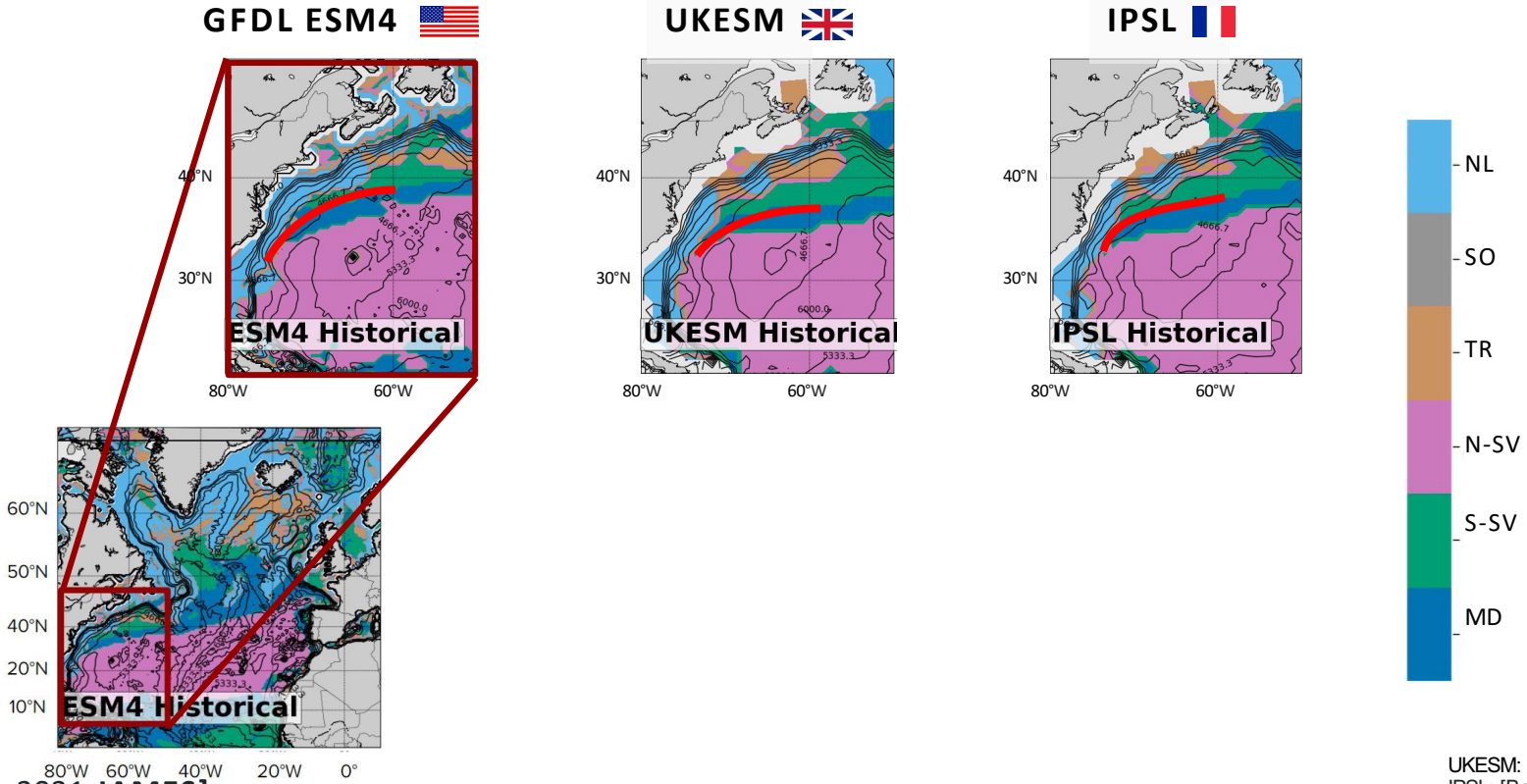


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

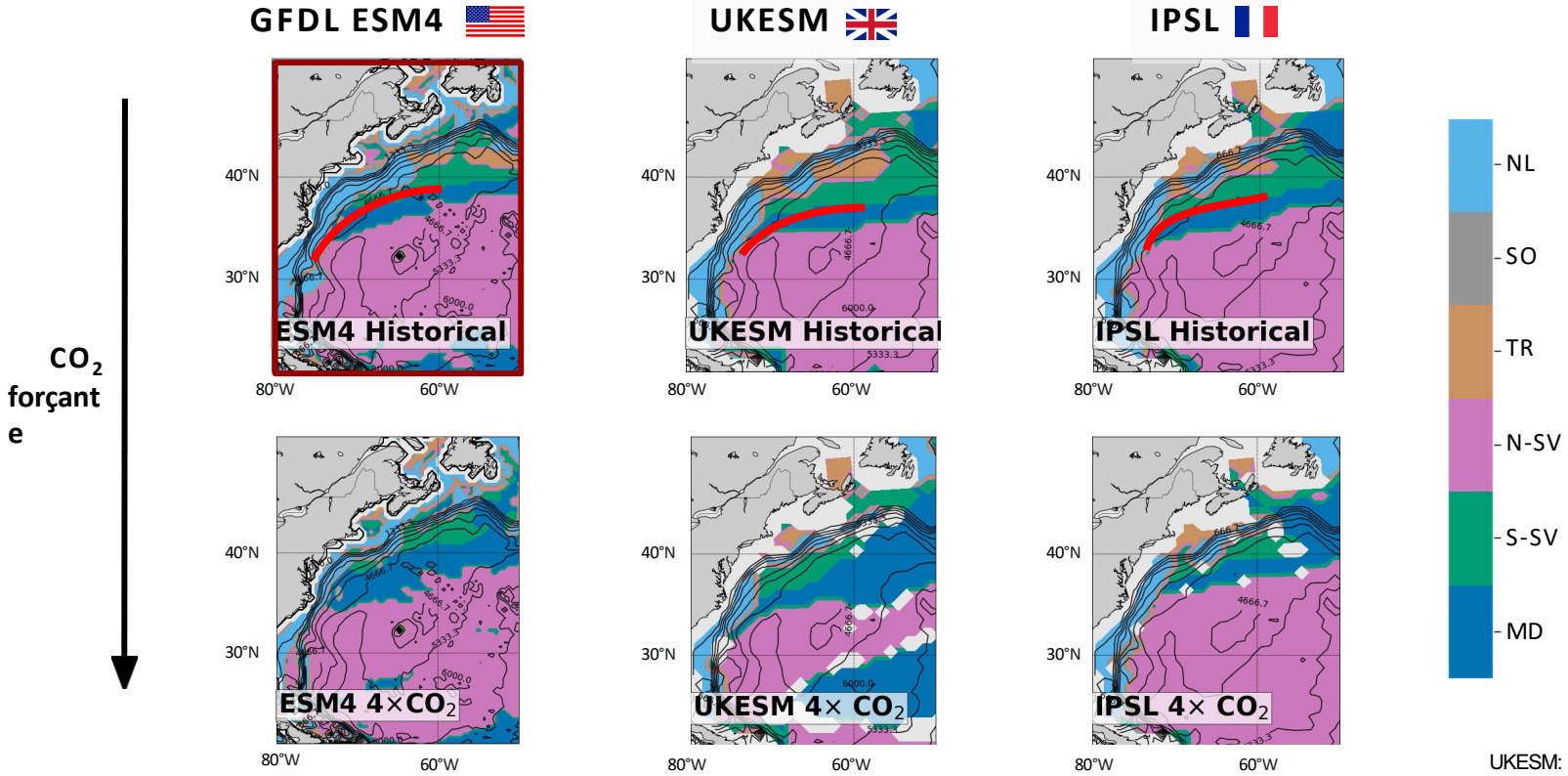


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças



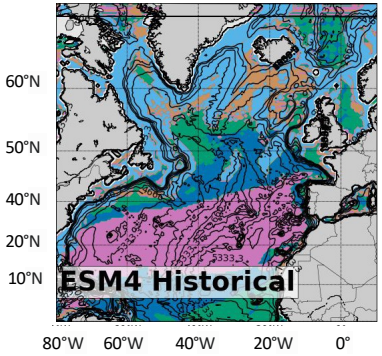
UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

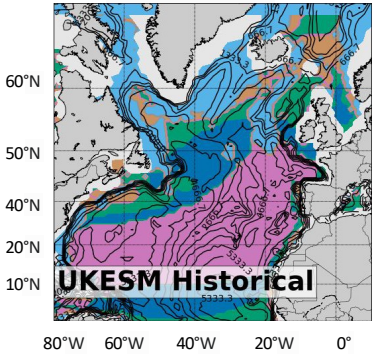
THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

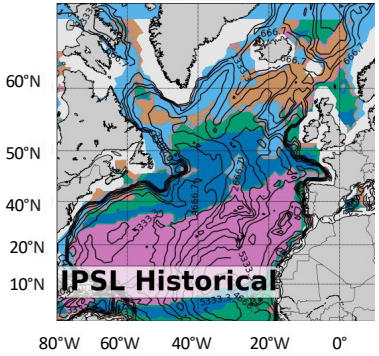
GFDL ESM4

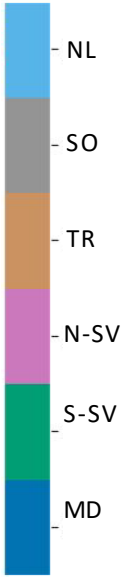


UKESM



IPSL





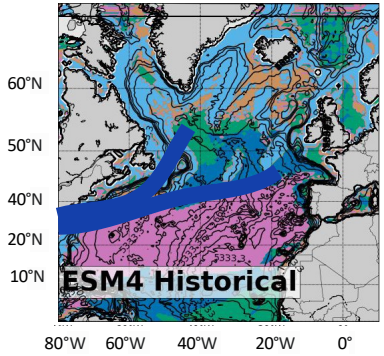
[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

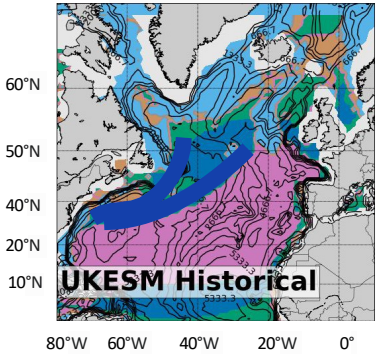
THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários “históricos” se parecem, mas os futuros revelam diferenças

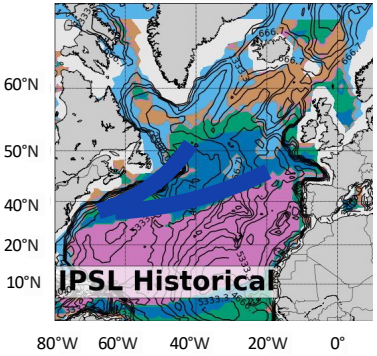
GFDL ESM4

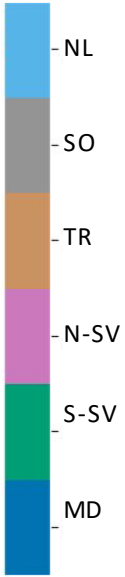


UKESM



IPSL



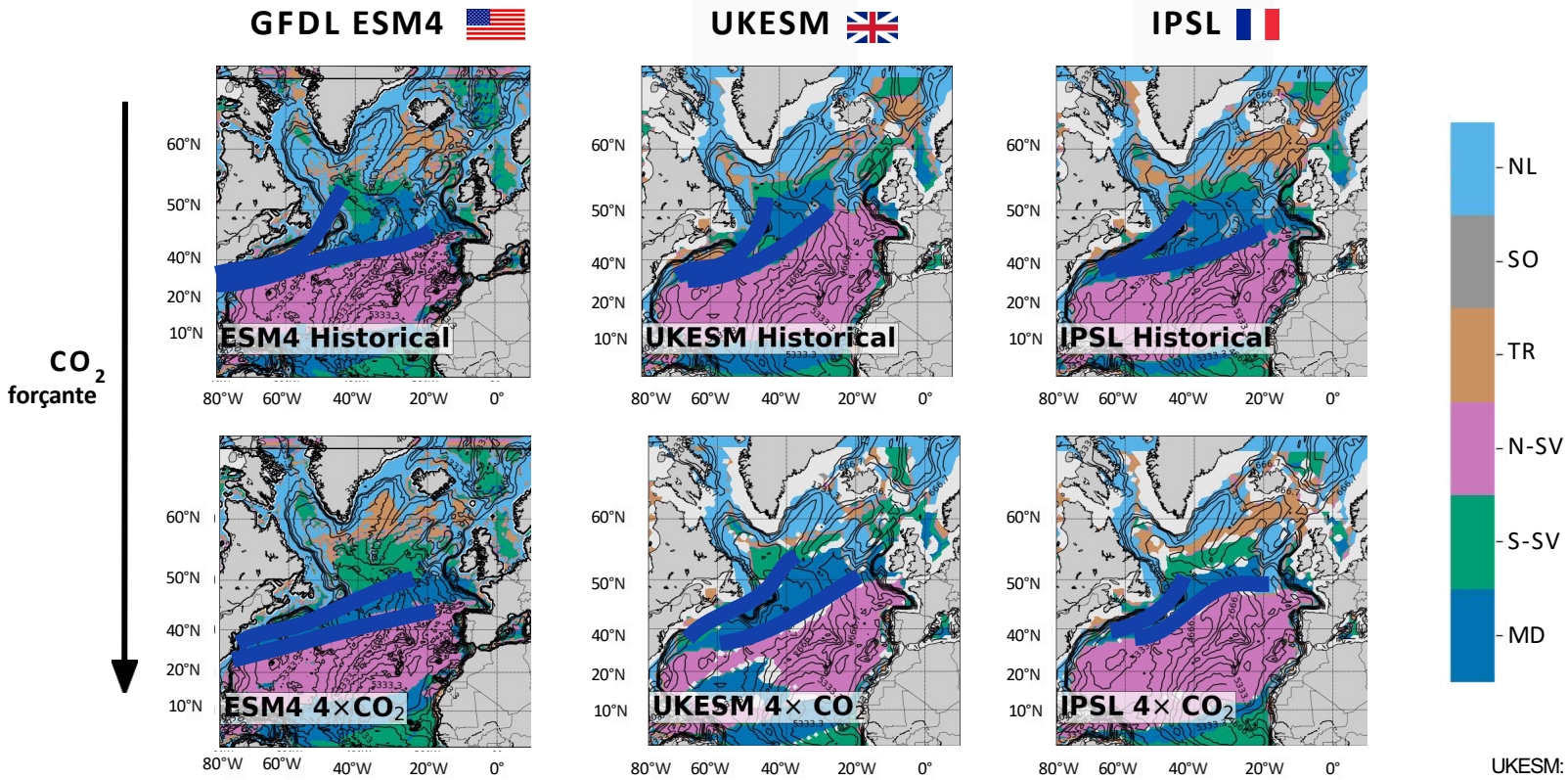


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: processos com quadruplicação abrupta do CO_2

Os cenários "históricos" se parecem, mas os futuros revelam diferenças

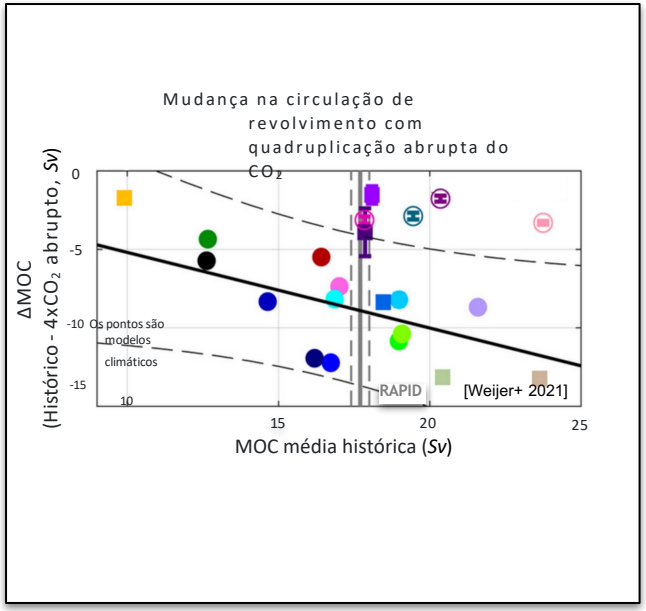


UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

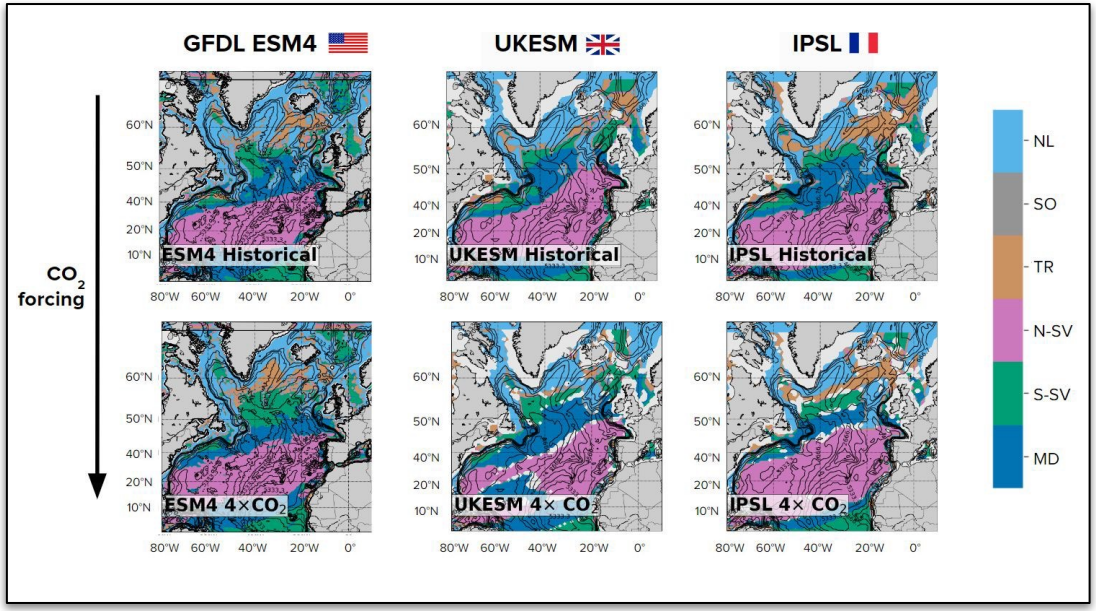
[SL 2021 **JAMES**]

Um método muito melhor

Anterior



Novo método de SL 2021 JAMES



Conjuntos de dados

Oceano físico:
Global Ocean Observing Systems (GOOS): https://www.ocean-ops.org/goosreport/
Copernicus Marine (CMEMS) para reanálises, dados de satélite e previsões:
https://marine.copernicus.eu/ Dados de modelos climáticos CMIP6: https://esgf.github.io/

Biogeoquímica e ecossistemas oceânicos:
Surface Ocean CO2 Atlas (SOCAT): https://socat.info/
NASA OceanColor e PACE: https://pace.gsfc.nasa.gov/
Dados de biodiversidade marinha: Ocean Biodiversity Information System (OBIS):
https://obis.org/ Ocorrência de espécies: Global Biodiversity Information Facility (GBIF):
https://www.gbif.org/

Pressões humanas:
Global Fishing Watch (API aberta): https://globalfishingwatch.org/
Allen Coral Atlas: https://www.allencoralatlas.org/

Regiões polares: MEOP: http://www.meop.net/ (as focas!)

Ferramentas

Modelo de IA oceânica Samudra:
https://m2lines.github.io/Samudra/docs/

Para usar os dados, o conjunto de ferramentas Python Pangeo:
https://pangeo.io/

Recursos computacionais:

Google Colab:

https://colab.research.google.com/ Copernicus

WEkEO: https://wekeo.copernicus.eu/

Problemas em aberto empolgantes (e grandes!)

Mares costeiros e de plataforma, onde modelos e satélites são piores:
Batimetria complexa, aportes fluviais e marés dificultam a tarefa. Downscaling e emulação para o risco costeiro.

Extrapolação para estados climáticos futuros:
Um modelo treinado no oceano histórico e questionado sobre um mundo com $4\times CO_2$ extrapola por construção. THOR e OceanCBM trabalham nisso.

Parametrizações de subgrade nos modelos:
Esquemas de AM que parecem bons offline e depois derivam ou divergem online. Área muito ativa.

Interpretabilidade mecanicamente válida:
O OceanCBM é uma tentativa; o problema geral continua muito em aberto.

Pesca artesanal:
Detecção que não dependa da transmissão voluntária de sinal pelas embarcações.

Fusão multimodal:
Cor do oceano + in situ + acústica + DNAa para a composição das comunidades.

Como se envolver!

Pesquisadores e estudantes:
Participe de eventos: Ocean Sciences Meeting, EGU/AGU, Climate Informatics e os workshops da CCAI no NeurIPS/ICML/ICLR
Contribua com códigos, p. ex. THOR (a abordagem por regimes se aplica a outras bacias e variáveis) ou Samudra. Há muitos!

ONGs e governos:
O caminho de endosso da Década da Ciência Oceânica da ONU, o GOOS e suas alianças regionais (IOGOOS, GOOS Africa), o ODIS da COI-UNESCO e o programa de parcerias da Global Fishing Watch

Financiadores:
O financiamento para o trabalho sobre oceano e clima está sendo cortado onde tradicionalmente havia apoio. Toda pesquisa é importante, mas é preciso apoiar sobretudo séries temporais contínuas, infraestrutura de observação no Sul Global e capacitação

IA para os oceanos e os sistemas marinhos

O oceano no sistema climático

97% da água, 90% do excesso de calor, ~25% do nosso CO_2, > 50% do oxigênio

Física simples, com padrões complexos emergentes

Contrastes de densidade impulsionam uma circulação de revolvimento de alcance global

Consequências de um clima em mudança

Aquecimento, acidificação e ondas de calor atingem a produção primária, o zooplâncton e a pesca

Ricos em dados e pobres em compreensão, ou o contrário?

Observações, satélites e modelos cobrem cada um só parte do problema

O AM é a ponte, não o destino!

GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION

NSF

NOAA NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE