

Oceanografia por Satélites

Medidas de Salinidade

Olga T. Sato, Ph.D. & Paulo S. Polito, Ph.D. **polito@usp.br**

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
<http://los.io.usp.br>
Laboratório de Oceanografia por Satélites

- 1 Papel do oceano no clima
 - Ciclo hidrológico
 - Salinidade, evaporação e precipitação
 - Variações interanuais
- 2 Observando a salinidade
 - Missão Aquarius
 - Missão SMOS

Roteiro

1 Papel do oceano no clima

- Ciclo hidrológico
- Salinidade, evaporação e precipitação
- Variações interanuais

2 Observando a salinidade

- Missão Aquarius
- Missão SMOS

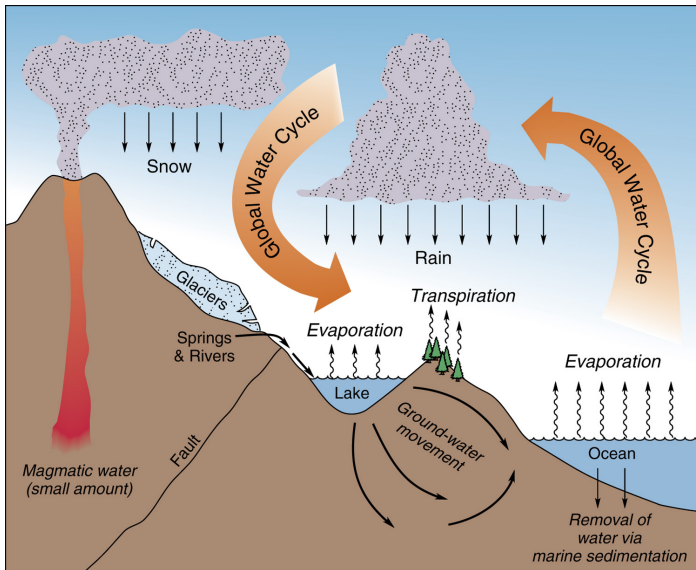
Tenha em mente que ...

Os oceanos:

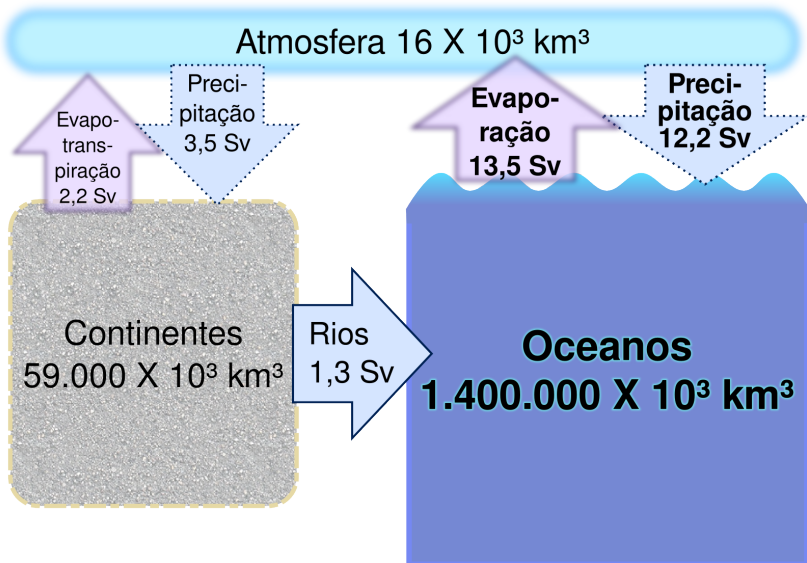
- Possuem uma capacidade térmica 1100 vezes maior que a da atmosfera: isso representa 99,9% da capacidade térmica do sistema climático.
- Contribuem com $\approx 50\%$ do fluxo de calor total para os polos.
- Contém $\approx 96,5\%$ da água total da Terra.
- Apresentam 86% da evaporação e 78% da precipitação sobre todo o globo.

Apesar de tudo isso, o oceano ainda é o “carinha meio esquisito” que não é chamado para a festinha da turma do clima.

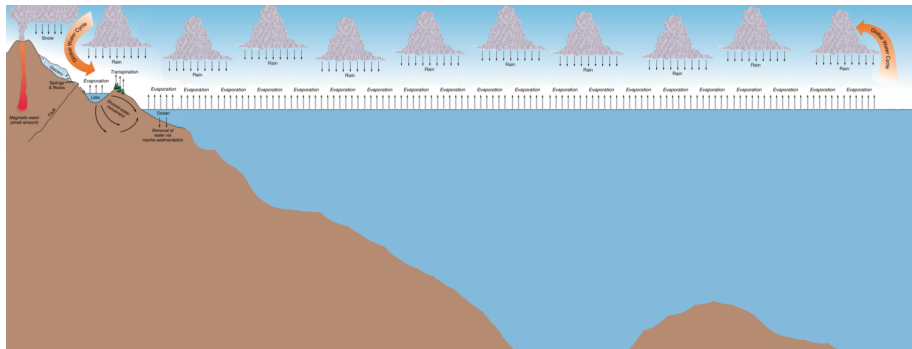
Ciclo hidrológico global: componentes



Ciclo hidrológico global quantificado

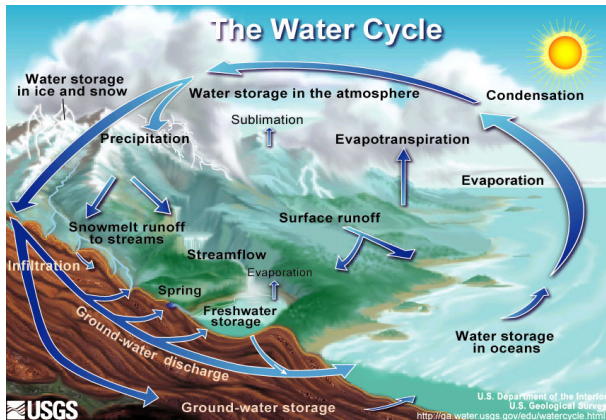


Ciclo hidrológico *reloaded*



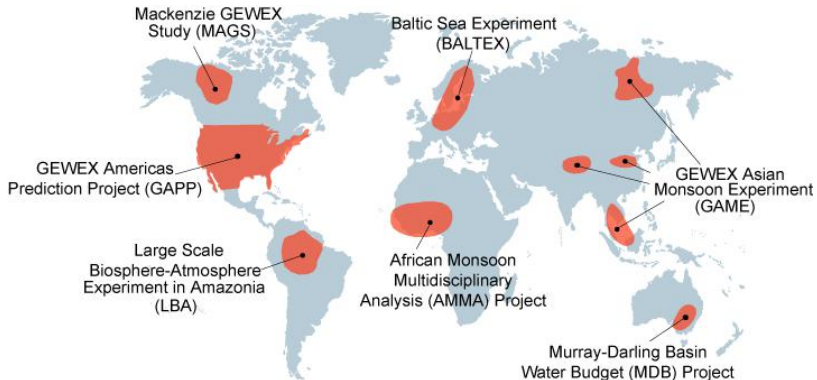
- A evaporação oceânica é 6 vezes a evaporação continental.
- O volume dos oceanos é 96.5 % do volume de água do planeta.

Componentes do ciclo terrestre



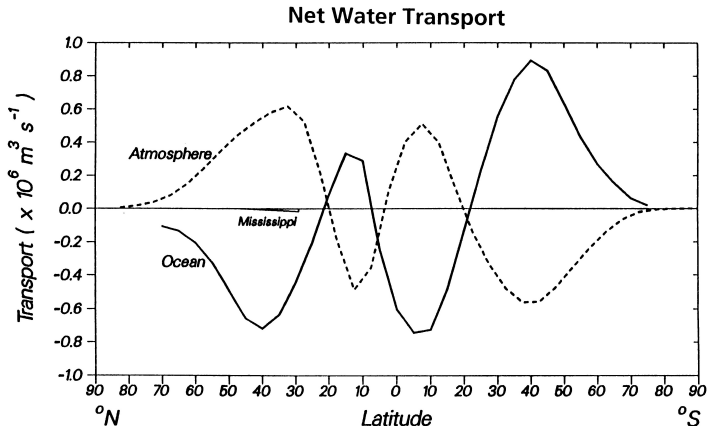
Pequenas componentes do ciclo hidrológico terrestre recebem grande atenção, enquanto que elementos do imenso ciclo hidrológico oceânico são ignorados.

Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)



Um estudo global que não considerou os oceanos!

Fluxo meridional de água doce



Fonte: Wijffels et al. (1992)

O oceano e a atmosfera se compensam no transporte meridional de água doce. Comparativamente, o transporte do famoso Rio Mississippi é minúsculo.

A verdadeira dimensão do problema

- O conhecimento sobre a contribuição oceânica para o ciclo hidrológico ainda é muito limitado.
- Grande parte dos projetos de pesquisa focam em processos atmosféricos e sobre os continentes.
- Frequentemente a grande componente oceânica é desprezada.
- Isso tem um impacto muito negativo na evolução do conhecimento pois a água doce no oceano tem um papel muito importante no sistema climático justamente porque determina a densidade da água do mar.

Um exemplo em São Paulo

Mudanças Climáticas em São Paulo: Causas, Impactos e Soluções

* Required



São Paulo, 14 a 16 de outubro de 2015

Local: Auditório István Jancsó da Biblioteca Brasileira Guita e José Mindlin,
Universidade de São Paulo. Rua da Biblioteca, s/n, Cidade Universitária, São Paulo,
SP, CEP: 05508-050.

Evento promovido pela Academia de Ciências do Estado de São Paulo, em Outubro de 2015.

14/10 (QUARTA-FEIRA - TARDE)

MODERADOR: Herton Escobar (Jornal O Estado de São Paulo)

14h00 - 15h20 PAINEL 1 - ÁGUA (30 min cada)

14h00	Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha (IAG/USP) "A seca de 2014 nos mananciais do Sistema Cantareira"
14h30	Prof. Dr. Orivaldo Brunini (IAC) "Água e Agricultura - Os Novos Desafios"
15h00	Prof. Dr. Wagner Costa Ribeiro (FFLCH/USP) "Direito humano à água: escassez relativa e desafios de aplicação"

Nenhuma palestra foi proferida sobre o impacto dos oceanos sobre mudanças climáticas.

Por que salinidade é importante?

- Crucial conhecer a distribuição do sal nos oceanos globais, sua variabilidade anual e interanual para entender seu papel no sistema climático
- Correntes e fluxos de calor pela interface oceano-atmosfera regulam o clima (principalmente correntes de borda oeste).
- Evaporação aumenta a salinidade na superfície do mar e portanto aumenta a densidade da água.
- Gradualmente, o oceano sai do estado de estratificação estável dando lugar a um processo de mistura convectiva: formação de água de fundo, de água modal, etc.
- Portanto, a salinidade é um elemento chave para se entender, monitorar e modelar a circulação global.

Salinidade da Superfície do Mar (SSM)

Average salinity from historical ship and buoy data

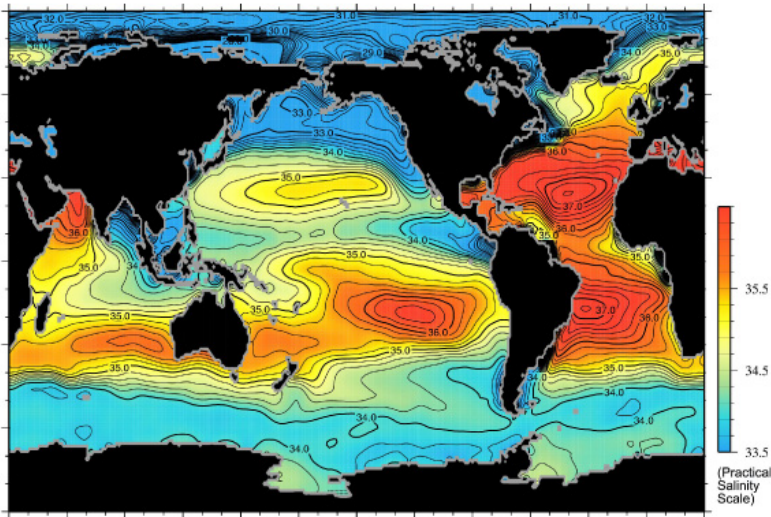
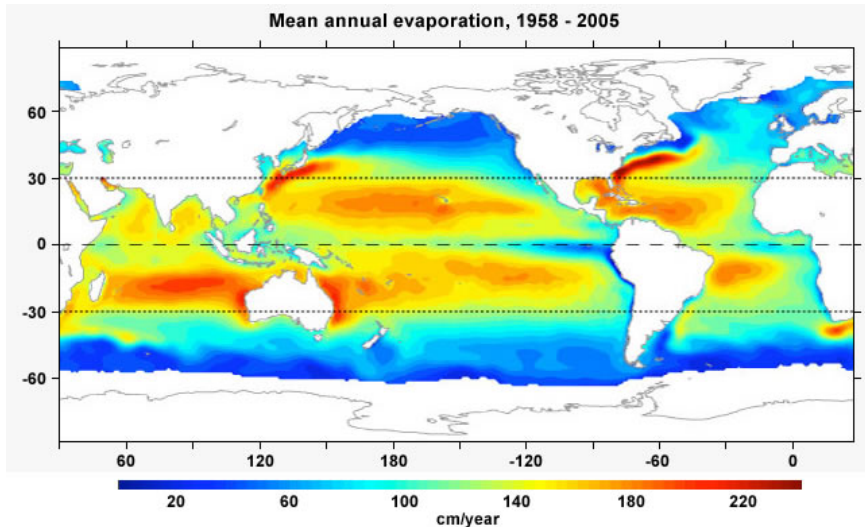


Image credit: World Ocean Atlas, 2009

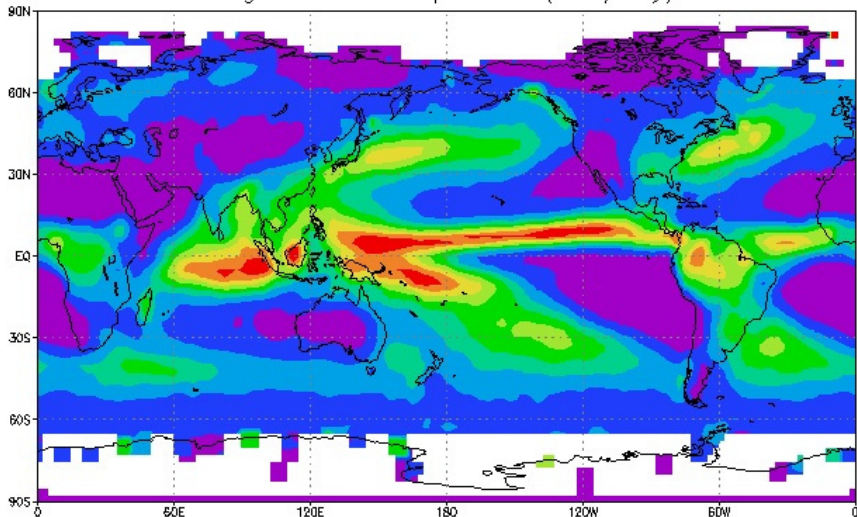
Média anual de evaporação



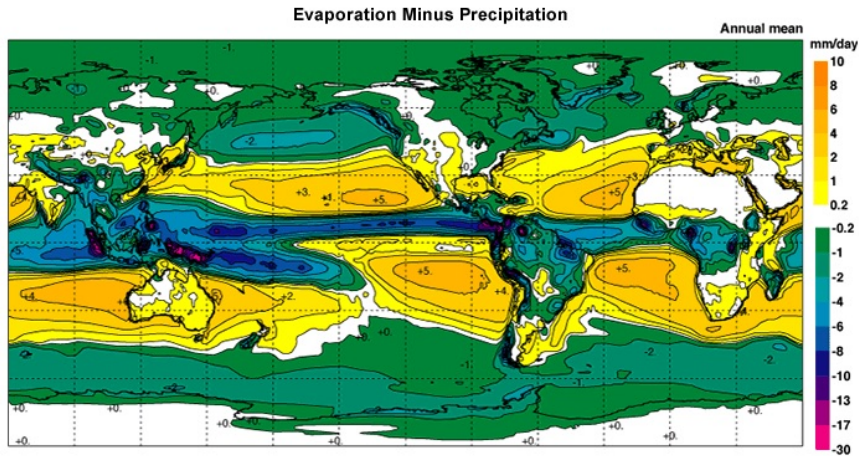
Lisan Yu/WHOI

Média anual de precipitação

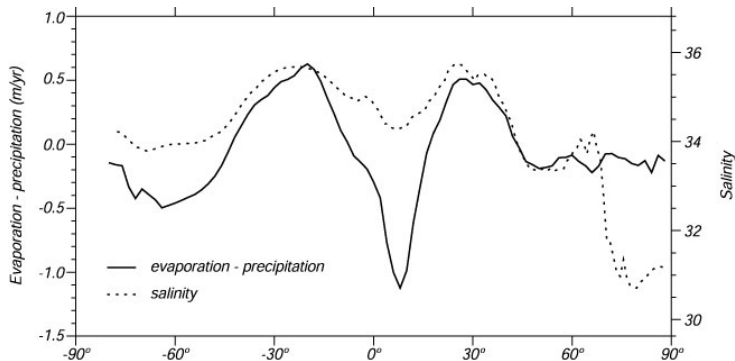
Annual Average GPCP Precipitation (mm/day): 1988–96



Média anual de E - P



Média zonal de E-P e SSM

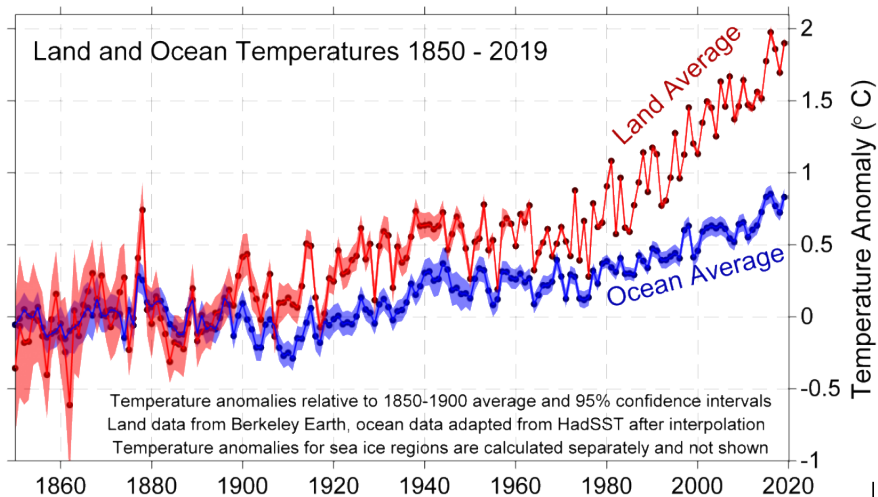


- É difícil medir o balanço E-P *in situ* global.
- Satélites podem ajudar a conhecer melhor esse balanço.
- A variação meridional de E-P $\sim$ calor latente.

Motivos para se estudar o balanço E-P

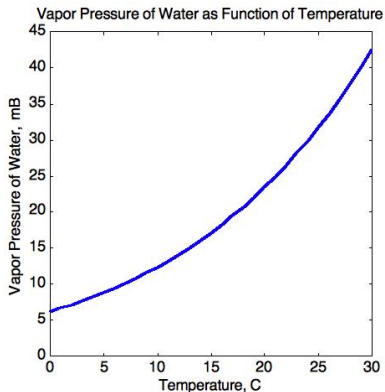
- Entender os processos termohalinos.
- Melhorar as estimativas do fluxo de calor latente.
- Caracterizar melhor a estratificação nas camadas superiores do oceano:
 - Melhorar as estimativas da profundidade da camada de mistura e sua variabilidade.
 - Entender o impacto dessa estratificação nos fluxos de calor, momentum e sal através das camadas superiores.

Tendências na temperatura da superfície



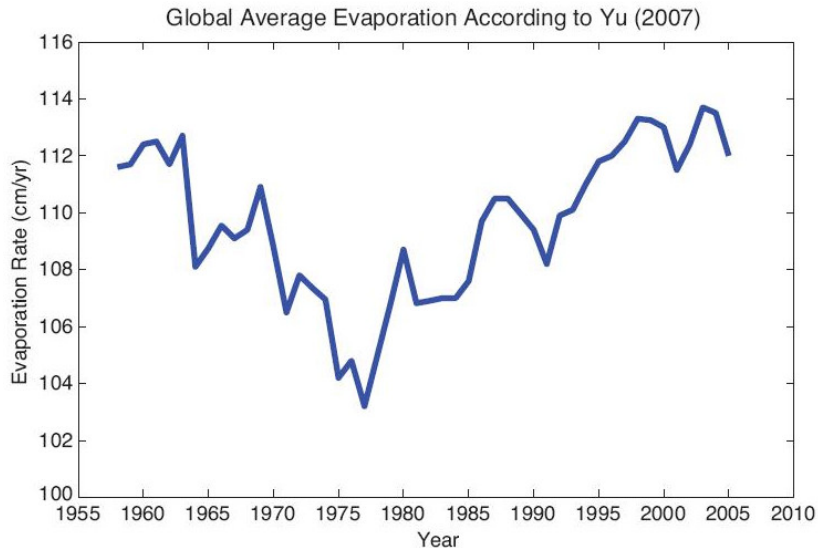
Consequências

O ciclo hidrológico irá se acelerar com o aquecimento global.



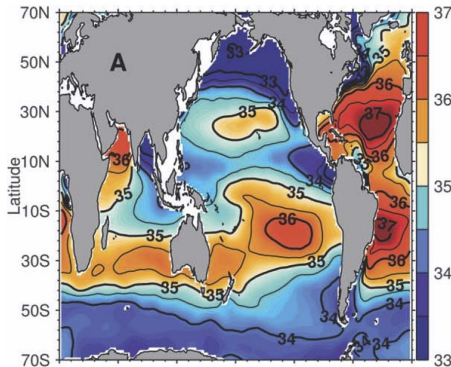
- A atmosfera mais quente irá carregar mais vapor d'água devido ao aumento exponencial da pressão de vapor com a temperatura.
- Um ciclo hidrológico mais acentuado poderá mudar a distribuição de salinidade nas camadas superiores do oceano.

Tendências na evaporação



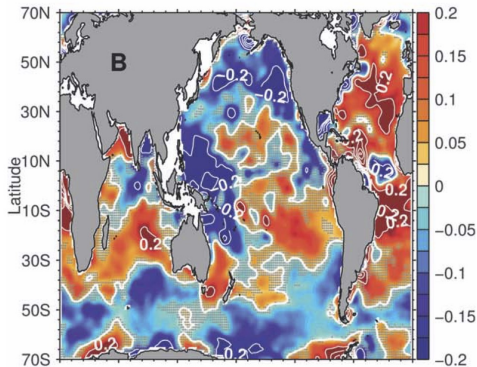
Tendências da SSM

50 anos (1950–2008) de perfis históricos de salinidade e Argo.



Média da SSM

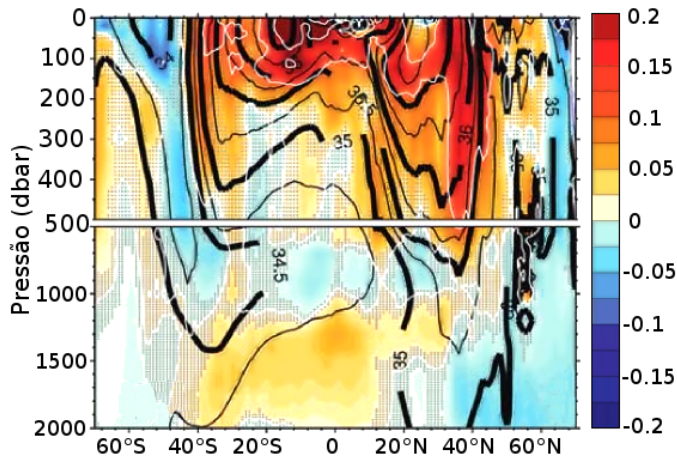
Fonte: Durack et al. (2010).



Tendência de SSM/50 anos

Tendências da salinidade global

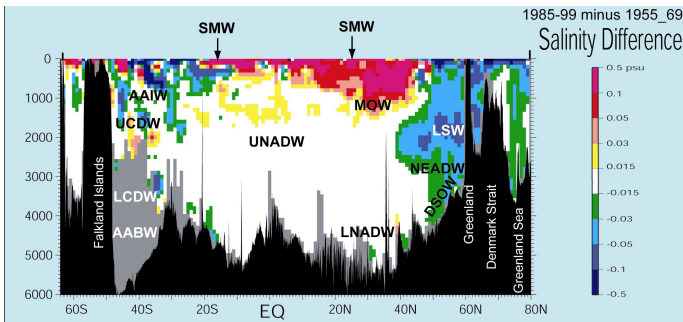
Mudanças globais em 50 anos a partir de perfis de salinidade.



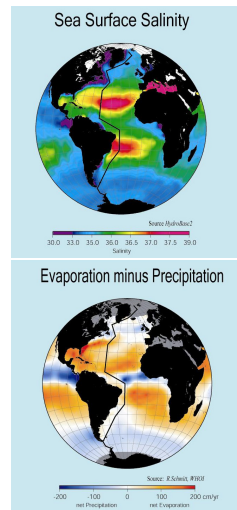
Fonte: Durack et al. (2010).

Mudanças da salinidade no Atlântico

Diferenças entre as médias de salinidade de 1985–99 e 1955–69.

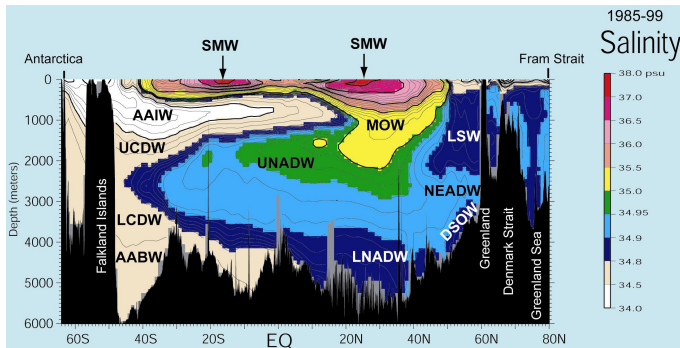


Fonte: Curry et al. (2003)

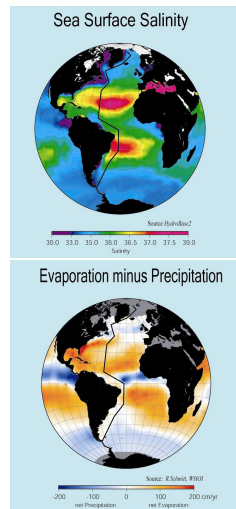


Mudanças na salinidade no Atlântico

Seção vertical de salinidade média em função da profundidade e massa d'água.



Fonte: Curry et al. (2003)



Colaboração de Oceanografia por Satélites

Roteiro

1 Papel do oceano no clima

- Ciclo hidrológico
- Salinidade, evaporação e precipitação
- Variações interanuais

2 Observando a salinidade

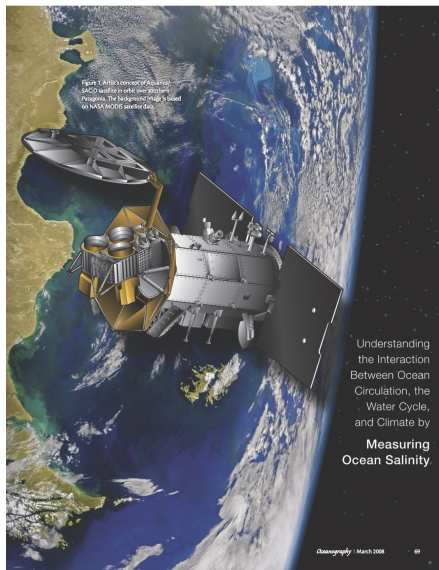
- Missão Aquarius
- Missão SMOS

Como a salinidade é observada?

- CTD por navios - confiável, *old school*.
- Argo: flutuadores robóticos - calibração bem estável.
- Derivadores de superfície: caros e calibração ainda problemática.
- Salinidade de superfície por Satélites: **SMOS** e **Aquarius**.

A missão Aquarius/SAC-D 2011-2015

- Melhorar a previsibilidade dos modelos de processos em escala sazonal e interanual (ENOS);
- Melhorar as estimativas de precipitação sobre os oceanos e o balanço hidrológico global;
- Monitorar processos de larga-escala governados pela salinidade.



Estratégia da missão

AQUARIUS / SAC-D
Salinity Satellite Mission

Mission Design and Sampling Strategy



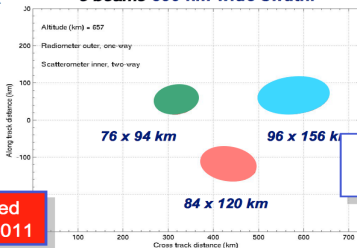
Sun-synchronous exact repeat orbit
6pm ascending node
Altitude 657 km

- Global Coverage in 7 Days
- 4 Repeat Cycles per Month

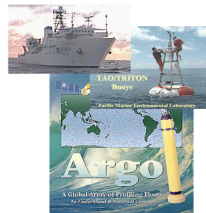
Beams point toward the night side to avoid sun glint

In Orbit
Check out

3 beams 390 km wide swath.



**Launched
10 Jun 2011**

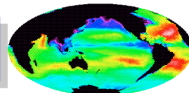


Surface Validation



**Aquarius
Ground System**

Salinity Data
150km, Monthly, 0.2 (pss)

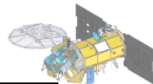


End of mission: 7 Jun 2015

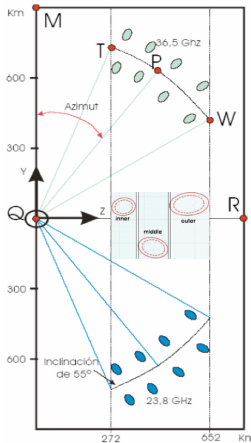
Aquarius: instrumentação

AQUARIUS / SAC-D
Salinity Satellite Mission

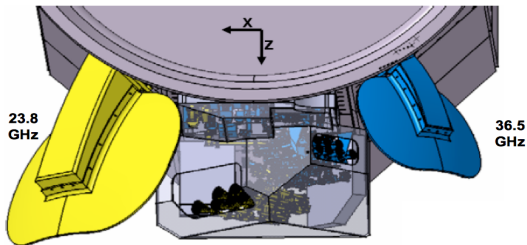
CONAE MicroWave Radiometer (MWR)



Rain, Wind, Sea ice



Instrument	Objective	Description	Resolution	Source
MWR: Microwave Radiometer	Precipitation, wind speed, sea ice concentration, water vapor	23.8 GHz and 36.5 GHz; 36.5 polarimetric; 23.8 V-pol; 390 km swath	50 km	CONAE

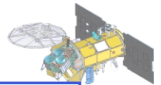


Each radiometer has a cluster of 8 offset feeds

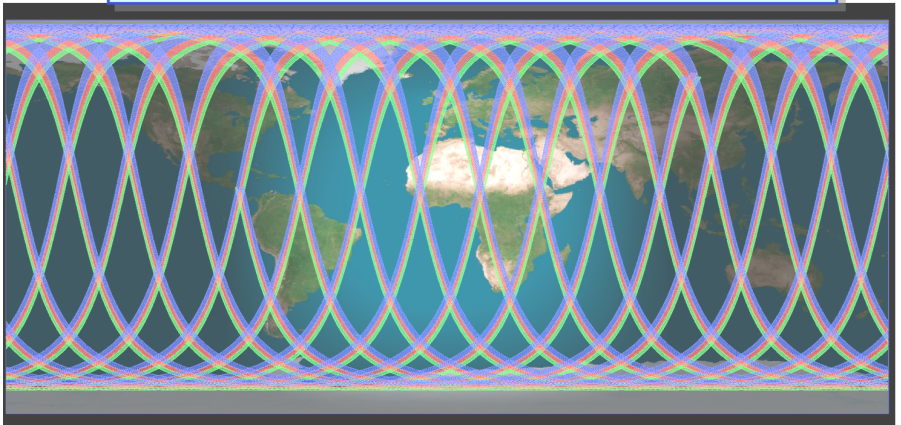
Aquarius: órbita

AQUARIUS / SAC-D
Salinity Satellite Mission

Single Day Orbit Swath Pattern



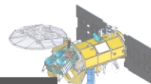
The orbit precesses to yield complete coverage in 7 days



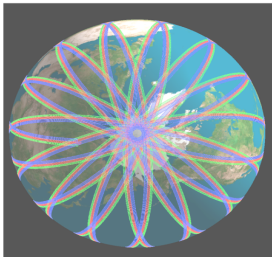
Aquarius: Cobertura Polar

AQUARIUS/SAC-D
Salinity Satellite Mission

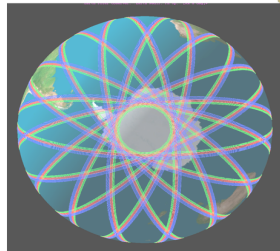
Asymmetric Polar Coverage



Arctic



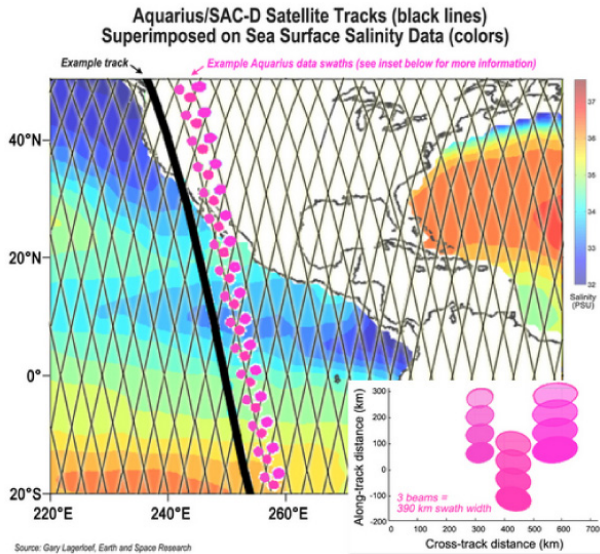
Antarctic



6 pm Ascending Node:

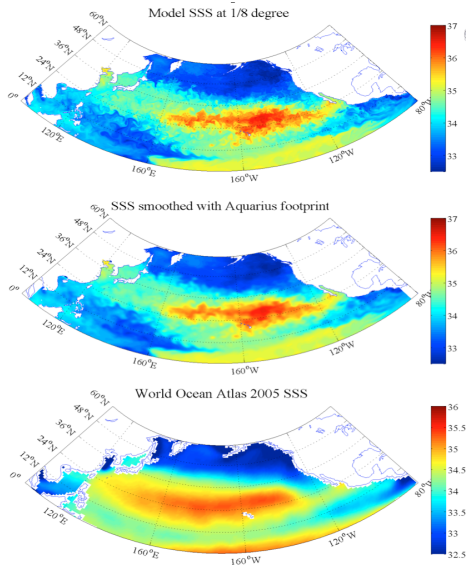
- Viewing only toward shadow side causes asymmetry in polar geographic coverage
- 6 pm ascending orbit gives greater geographic coverage of the Arctic than of the Antarctic

Aquarius: estratégia amostral



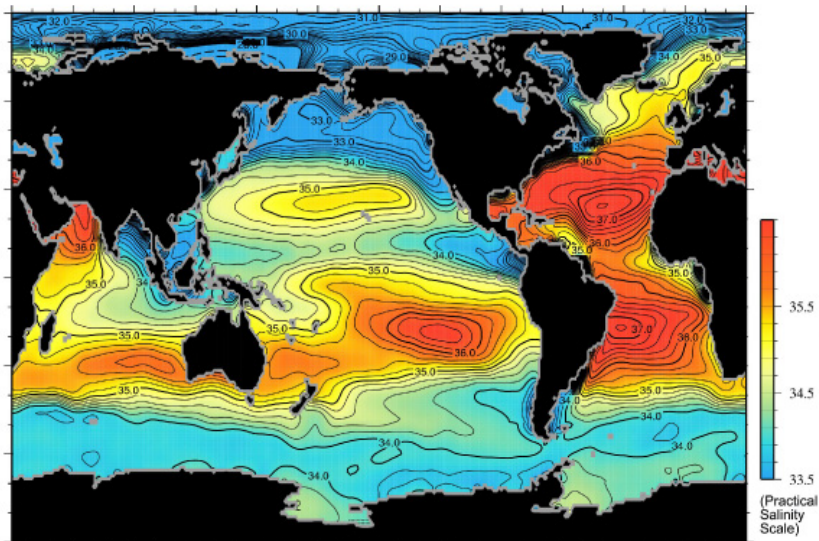
Resolução espacial do Aquarius

- As medidas serão de baixa resolução espacial, focando-se em processos de larga-escala do campo de salinidade de superfície.
- Variabilidade de meso-escala em frentes e vórtices serão suavizados.
- Ainda assim, apresenta muito mais detalhes do que o campo médio derivado a partir de dados históricos.

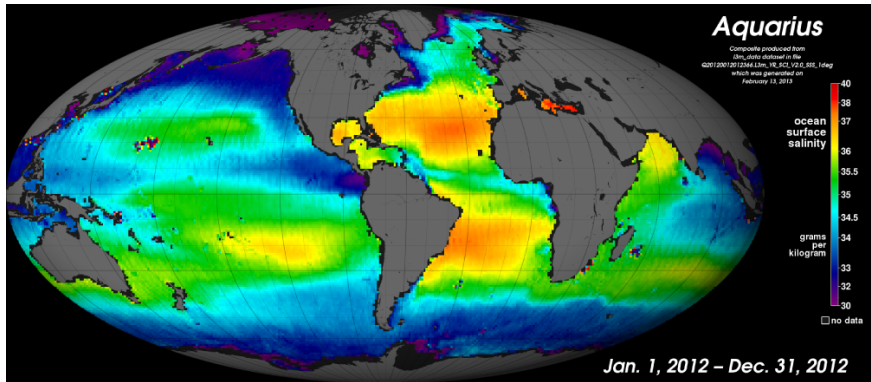


Salinidade média: WOA09

Average salinity from historical ship and buoy data

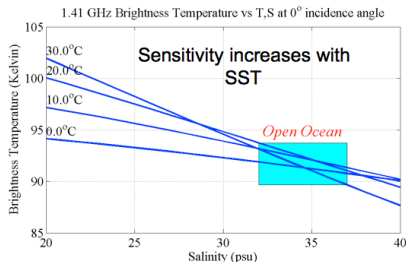
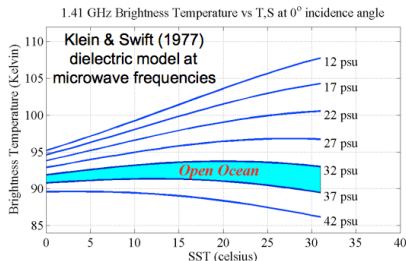


Salinidade média: Aquarius (Jan a Dez 2012)



Salinidade a partir da Temperatura de Brilho (T_B)

- Os 3 radiômetros de microondas medem a temperatura de brilho (T_B) em polarizações horizontal e vertical (T_H e T_V);
- S não é função linear de T_B e TSM.
- Mas a variação de S em função de T_B para um determinado valor de TSM é.
- A salinidade pode ser determinada a partir do T_V se a TSM for determinada independentemente.



G.Lagerloef, ESR

Princípio físico

A salinidade é derivada de medidas de temperatura de brilho na banda L (1.413 GHz).

- $T_B = \varepsilon T$: onde ε é a emissividade e T é a temperatura absoluta da superfície (K).
- ε é função da constante dielétrica (ϵ), ângulo de incidência θ , polarização (H ou V) e estado do mar.
- ϵ por sua vez, também depende de S , T e frequência.
- Para a água do mar a $S = 35$, $T = 288$ K (15°C), $\theta=0$, oceano calmo e $f = 1.413$ GHz, a emissividade é $\approx \varepsilon = 0.3$.

Fontes de erro do Aquarius

Error Sources	3 Beam RMS	
	Allocation	CBE
Radiometer	0.15	0.09
Antenna	0.08	0.01
System Pointing	0.05	0.02
Roughness	0.28	0.20
Solar	0.05	0.02
Galactic	0.05	0.004
Rain (Total Liquid Water)	0.02	0.01
Ionosphere	0.06	0.043
Atmosphere (Other)	0.05	0.02
SST	0.10	0.07
Antenna Gain Near Land & Ice	0.10	0.10
Model Function	0.08	0.07
Brightness Temperature Error Per Observation	Baseline Mission	
	Allocation	CBE
Total RSS (K)	0.38	0.27
Margin RSS (K)	0.27	0.27

Allocation=esperado, CBE=melhor estimativa atual.

Brightness Temperature Error Per Observation			Baseline Mission	
			Allocation	CBE
Total RSS (K)			0.38	0.27
Margin RSS (K)			0.27	0.27
Latitude Range	Mean Sensitivity (dT _v /dS)	Mean # Samples in 28 Days	Baseline Mission Monthly Salinity Error (psu)	
			Allocation	CBE
0–10	0.756	10.9	0.15	0.11
11–20	0.731	11.3	0.16	0.11
21–30	0.671	12.1	0.16	0.12
31–40	0.567	13.5	0.18	0.13
41–50	0.455	15.9	0.21	0.15
51–60	0.357	20.3	0.24	0.17
61–70	0.271	30.2	0.26	0.18
Global RMS (psu)			0.20	0.14
Marin RSS (psu)			0.14	0.14

Fonte: Lagerloef et al. (2008) - Oceanography Special Issue

Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)

Lançado em 2 de Novembro de 2009 - ativo em 2020

- Órbita: 758km e inclinação de 98.44° , polar, sincronizada com o sol, quase circular, ciclo de repetição de 23 dias.
- Instrumento: Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis - MIRAS
- Banda L: 1.4 GHz (λ : 21 cm).
- 69 antenas receptoras distribuídas numa antena no formato de Y.



Mais informações técnicas

- O SMOS observa a salinidade com precisão de 0.1 com resolução espacial de 200x200 km e média mensal.
- Para se obter esta resolução espacial, uma enorme antena girante seria necessária se usassem radiômetros convencionais.
- A solução foi uma antena cuja abertura é sintetizada por 69 antenas separadas que estão igualmente distribuídas sobre 3 braços no formato de um Y e uma estrutura central.
- Sintetizada significa que a fase do sinal recebido por cada antena é atrasada ou adiantada para simular uma antena de centenas de metros.

Obrigado!