

# "Sistema Oceano"

Sueli Susana de Godoi - [ssdgodoi@usp.br](mailto:ssdgodoi@usp.br)

Laboratório de Dinâmica Oceânica - [www.lado.io.usp.br](http://www.lado.io.usp.br)  
Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica  
Instituto Oceanográfico  
Universidade de São Paulo

**Monitor: Gabriel Vilanova - [gabriel.vilanova@usp.br](mailto:gabriel.vilanova@usp.br)**





# Sistema Oceano

*Na sequência, são inseridos conceitos sobre as escalas de dimensão horizontal e vertical, características dos oceanos, pela observação de seções horizontais e verticais de temperatura e de salinidade nos oceanos, respectivamente. Tais conceitos são de suma importância no contexto de tópicos relacionados com análise de escalas da dinâmica oceânica.*



# Sistema Oceano

*Considerando o cenário apresentado, são introduzidas as características do oceano como um fluido geofísico, a saber: "raso, estratificado e em rotação".*

*O leitor é convidado a interagir com a prática da Oceanografia Física pela observação de ilustrações, referentes ao Sistema Corrente do Brasil, relacionando produtos gerados pela aplicação de métodos de estudo da Oceanografia Física Descritiva e Oceanografia Dinâmica.*





# Oceanografia Física Descritiva x Oceanografia Dinâmica

## ● O Sistema Oceano-Atmosfera e a Circulação Termohalina

Inicialmente, a importância dos processos termohalinos para a circulação do oceano como um todo pode ser visualizada examinando como interagem o sistema físico oceano-atmosfera. Consideremos o diagrama onde estão representados esquematicamente os fluídos oceano e atmosfera, sob a ação da:

- aceleração da gravidade (g)

- rotação da Terra

$$(2 \Omega \sin \phi -$$

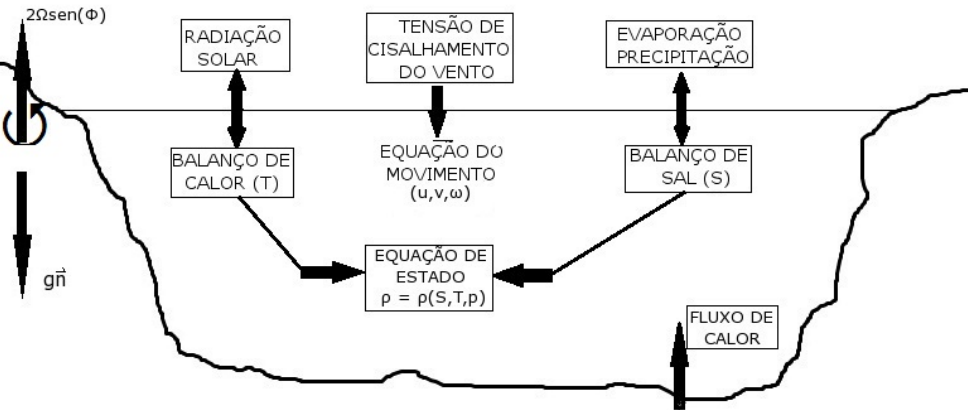
$\Omega$  - velocidade angular da Terra;  $\phi$  - latitude )  
na direção normal (n).

O esquema da bacia oceânica indica, também, fontes de fluxo de calor.



# Oceanografia Física Descritiva x Oceanografia Dinâmica

## • Diagrama Esquemático: ar/mar/fundo oceânico



(Miranda & Godoi, em revisão)



# Oceanografia Física Descritiva x Oceanografia Dinâmica

- **Oceanografia Sinótica ou Descritiva:** Busca reduzir observações a uma simples "sinopse" ou resumo e é inapta a fazer previsões. Visto que a perspectiva sinótica simplesmente descreve o que já aconteceu, ou seja, no momento em que as observações foram feitas.
- **Oceanografia Dinâmica:** utiliza leis da Física para obter relações matemáticas entre as forças atuantes nas águas do oceano e seus consequentes movimentos.

# Oceanografia Física Descritiva x Oceanografia Dinâmica

- **O Sistema Oceano-Atmosfera e a Circulação Termohalina**

A interação mútua entre o sistema oceano-atmosfera se faz através dos balanços de calor e sal, os quais determinam a concentração dessas propriedades na camada de superfície dos oceanos; essas concentrações, que são medidas em função da temperatura ( $T$ ) e da salinidade ( $S$ ), geram movimentos nas camadas superficiais e profundas denominados de circulação termohalina, governada pela densidade da água do mar ( $\rho$ ), de natureza baroclínica, a qual será explicada na sequência.

# Oceanografia Física Descritiva x Oceanografia Dinâmica

- A temperatura e a salinidade, associadas à pressão hidrostática ( $p$ ) da coluna de água, determinam a densidade da água do mar, a qual é calculada por uma equação de estado da forma  $\rho = \rho(S, T, p)$ .
- A distribuição da densidade determina a estratificação de massa que por sua vez vai gerar gradientes de pressão de natureza baroclínica e, conseqüentemente, componentes dos movimentos. Esses são classificados de correntes de densidade que, quando em equilíbrio com a aceleração de Coriolis e para um escoamento estacionário e sem atrito, são denominados de movimento geostrófico.
- As propriedades  $S$  e  $T$ , associadas à concentração das inúmeras substâncias presentes na água do mar, complementam as características ecológicas do ambiente marinho.

# Propriedades Físico/Químicas da Água do Mar

- Considerando a breve descrição precedente há de se notar que, a temperatura e a salinidade são propriedades físico/química da água do mar responsáveis pela circulação de natureza baroclínica dos oceanos, plataformas continentais e estuários.
- As propriedades S, T e  $\rho$  são denominadas de variáveis independentes e uma metodologia adequada foi desenvolvida, desde primórdios da investigação oceanográfica, para permitir que as propriedades e variáveis dependentes da água do mar, tais como densidade, correntes, calores específicos, gradientes adiabáticos de temperatura, velocidade de propagação do som, dentre outras, possam ser calculadas com a precisão adequada.

# Interação Oceano-Atmosfera

- **Radiação Solar**



# Interação Oceano-Atmosfera

- **Radiação Solar**



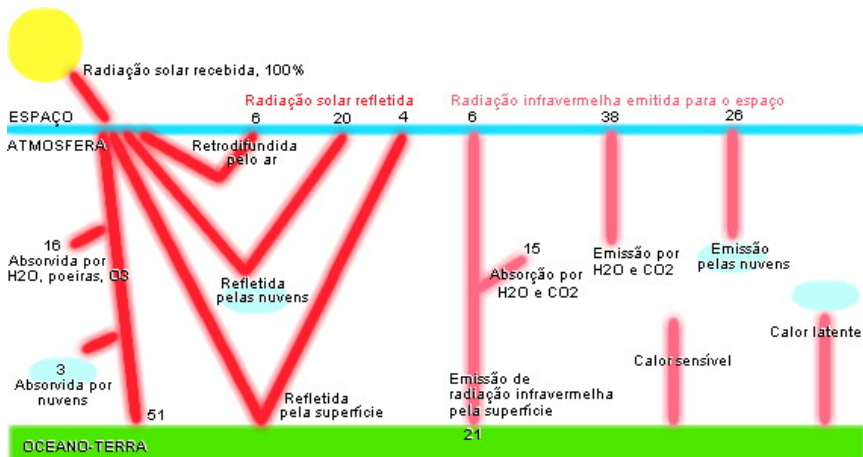
# Interação Oceano-Atmosfera

- **Radiação Solar**



# Interação Oceano-Atmosfera

## • Diagrama Esquemático: ar/mar

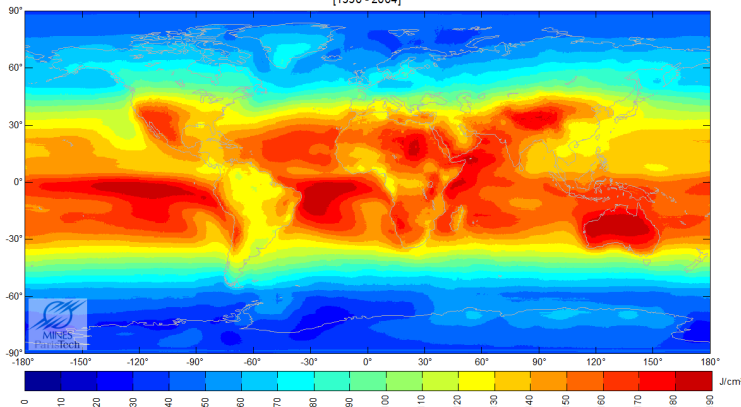




# Interação Oceano-Atmosfera

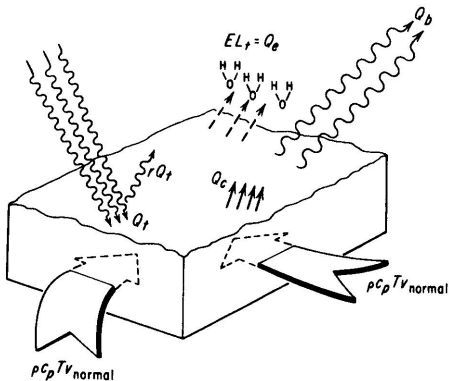
- Irradiação Solar

Yearly mean of daily irradiation in UV (280-400 nm) on horizontal plane (J/cm<sup>2</sup>) [1990 - 2004]



# Interação Oceano-Atmosfera

- Fluxo de Calor pela Superfície (Watts/m<sup>2</sup>) nos Oceanos



(Miranda & Godoi, em revisão)  
"Sistema Oceano"

# Interação Oceano-Atmosfera

- **Fluxo de Calor pela Superfície (Watts/m<sup>2</sup>) nos Oceanos**

O bloco diagrama indica que, o cálculo do fluxo advectivo de calor (energia calorífica),  $\text{Jm}^{-2} \text{s}^{-1}$  no sistema SI de unidades, é estimado pelo produto de três propriedades termodinâmicas

$\rho \cdot c_p \cdot T$

densidade ( $\rho$ ), o calor específico à pressão constante ( $c_p$ ), a temperatura ( $T$ ), e por uma propriedade cinemática que é o componente da velocidade normal à seção transversal considerada ( $v_{\text{normal}}$ ).

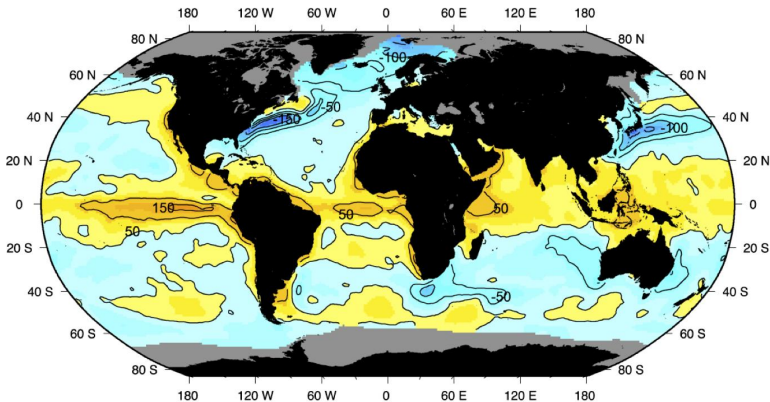
# Interação Oceano-Atmosfera

- **Relação entre Temperatura e Calor**

- Calor: forma de energia - Unidade: Joule [J] = 1 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>
- Variação de calor por unidade de tempo:  
 $dQ/dt = [W] = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ Js}^{-1}$
- Fluxo de calor (F):  
Energia / área.tempo = F/sm<sup>2</sup> = W/m<sup>2</sup>

# Interação Oceano-Atmosfera

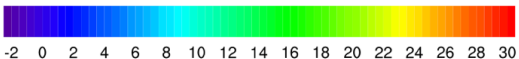
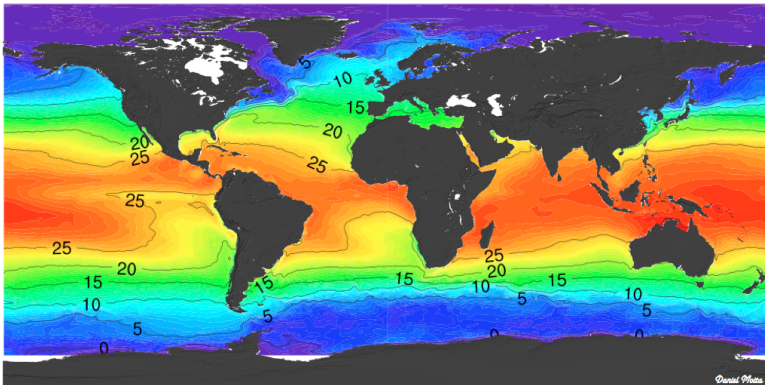
- **Distribuição Horizontal do Fluxo de Calor pela Superfície (Watts/m<sup>2</sup>) nos Oceanos**



(Talley et al., 2011)

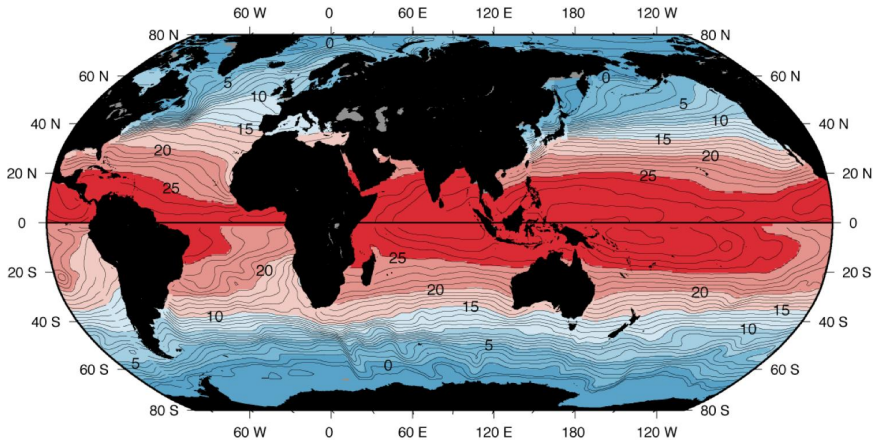
# Distribuições Típicas de Temperatura nos Oceanos

- **Distribuição Horizontal da Temperatura da Superfície do Mar**



# Distribuições Típicas de Temperatura nos Oceanos

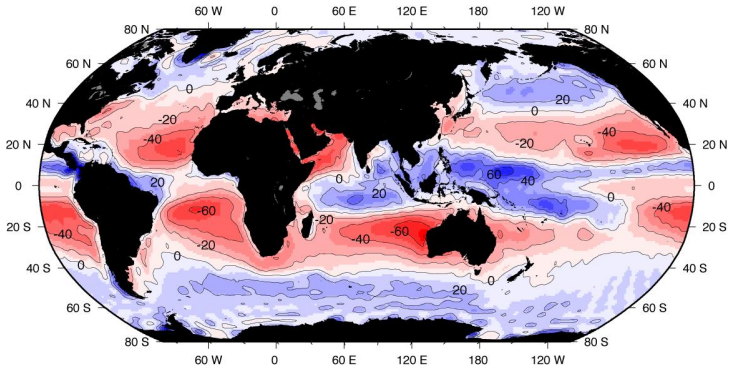
- **Distribuição Horizontal da Temperatura da Superfície do Mar**



(Talley et al., 2011)

# Distribuições Típicas de Precipitação + Descarga - Evaporação

- **Distribuição Horizontal da Superfície do Mar Precipitação + Descarga - Evaporação (cm/ano)**



(*Talley et al., 2011*)



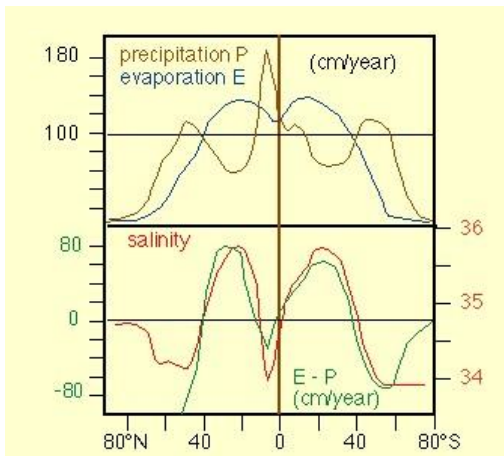
# Distribuições Típicas de Precipitação + Descarga - Evaporação

## ● **Distribuição Horizontal da Superfície do Mar Precipitação + Descarga - Evaporação**

- O que controla a salinidade nos oceanos?
- A salinidade é controlada pela entrada e saída de água doce nos oceanos.
- A quantidade total de sal nos oceanos é constante, exceto em longas escalas geológicas.
- A salinidade pode variar de lugar para lugar, mas a proporção entre os constituintes maiores permanece constante

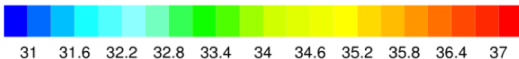
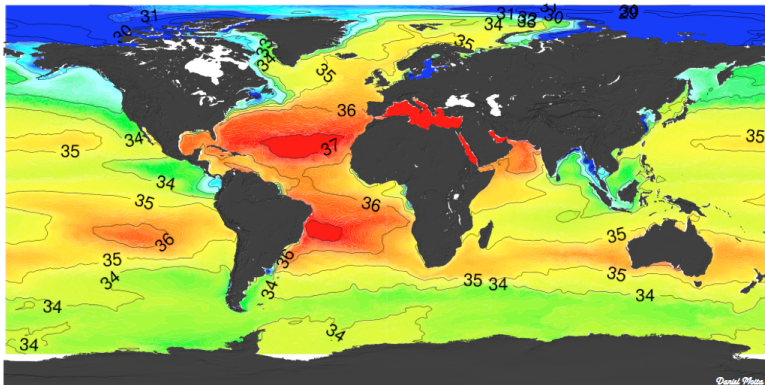
# Seções Horizontais Típicas de Superfície: Evaporação - Precipitação / Salinidade

- Seções Horizontais Típicas de Superfície:  
Evaporação - Precipitação / Salinidade



# Distribuições Típicas de Salinidade nos Oceanos

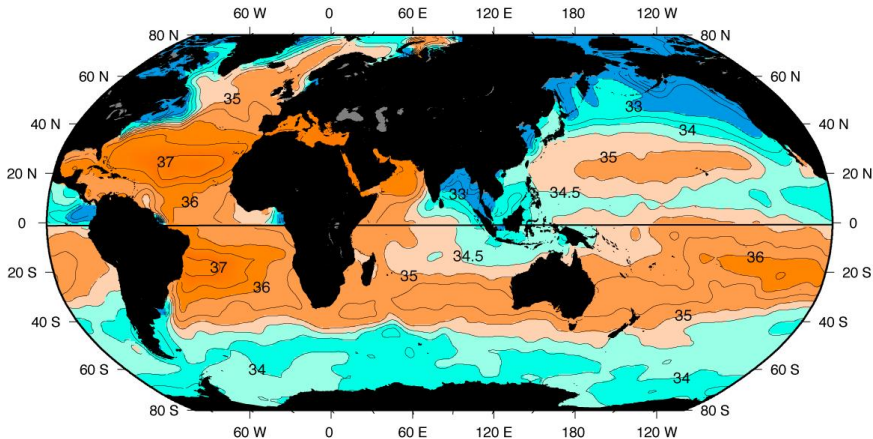
- **Distribuição Horizontal da Salinidade da Superfície do Mar**



(Cortesia - Moita, 2013)

# Distribuições Típicas de Salinidade nos Oceanos

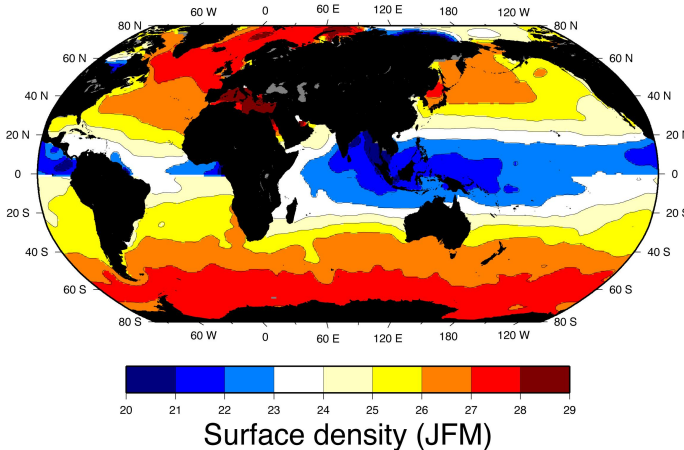
- Distribuição Horizontal da Salinidade da Superfície do Mar**



(Talley et al., 2011)

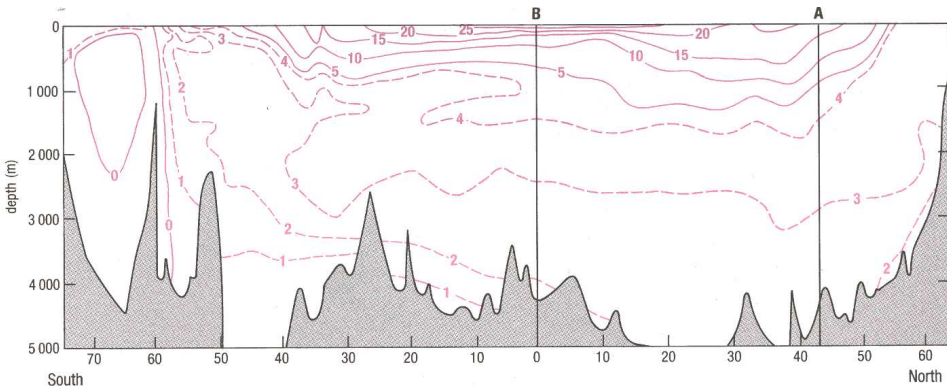
# Distribuições Típicas de Densidade Convencional nos Oceanos

- **Distribuição Horizontal da Densidade Convencional de Superfície do Mar**



# Seções Verticais Típicas de Temperatura nos Oceanos

- **Seção Vertical de Temperatura Potencial - Oceano Atlântico**



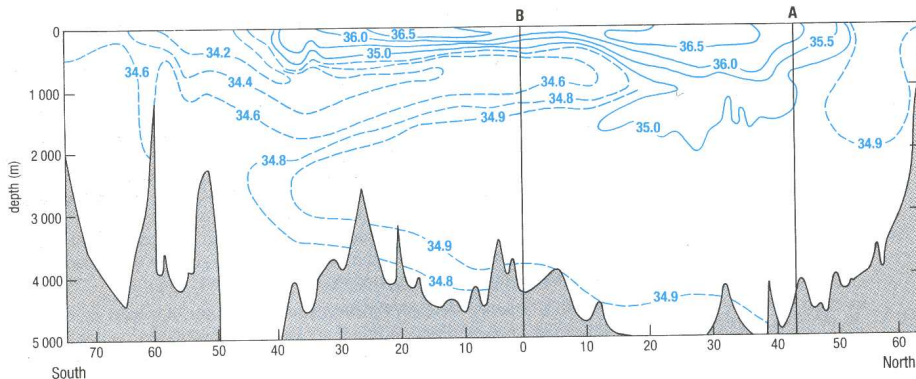
(The Open University, 1995)

# Seções Verticais Típicas de Temperatura nos Oceanos

- Água do mar não é totalmente incompressível, principalmente considerando o estudo termodinâmico;
- Quanto maior a profundidade, maior é o efeito do aquecimento devido compressão da pressão hidrostática;
- A energia cinética das moléculas de água aumenta, tornando a água mais quente e, portanto, menos densa.
- Temperatura potencial: temperatura que a água teria se deslocada adiabaticamente, sem troca de calor e sal com a vizinhança para um outro nível de pressão, por exemplo, até a superfície do mar.
- A correção da temperatura "in situ" para temperatura potencial é realizada pelo uso de algoritmos.

# Seções Verticais Típicas de Salinidade nos Oceanos

- Seção Vertical de Salinidade - Oceano Atlântico

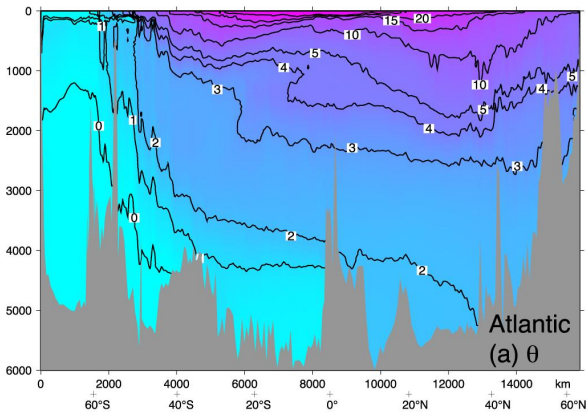


(The Open University, 1995)



# Seções Verticais Típicas de Temperatura nos Oceanos

- Seção Vertical de Temperatura Potencial - Oceano Atlântico



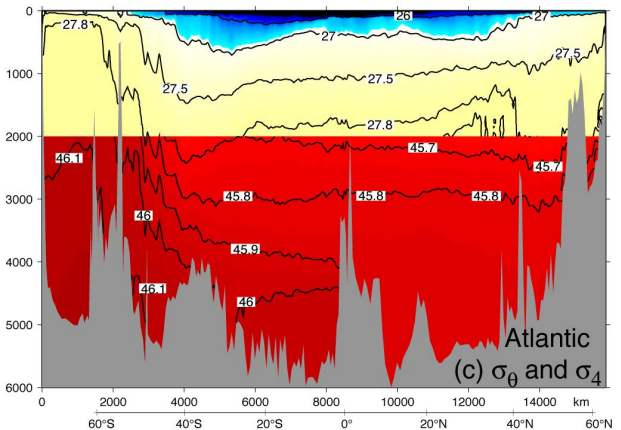
(Talley et al., 2011)

"Sistema Oceano"



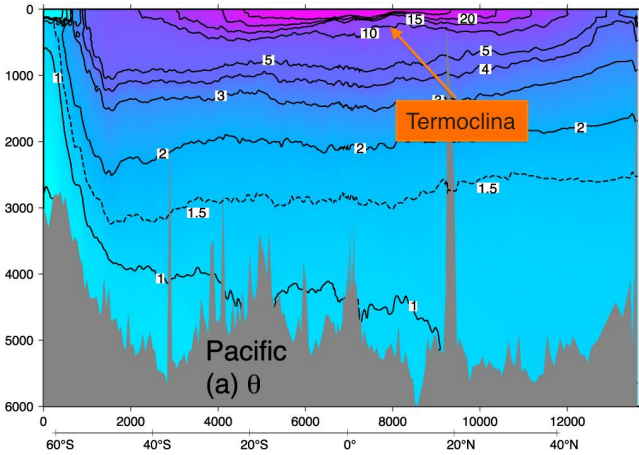
# Seções Verticais Típicas de Densidade Potencial Convencional nos Oceanos

- Seção Vertical de Densidade Potencial Convencional - Oceano Atlântico



# Seções Verticais Típicas de Temperatura nos Oceanos

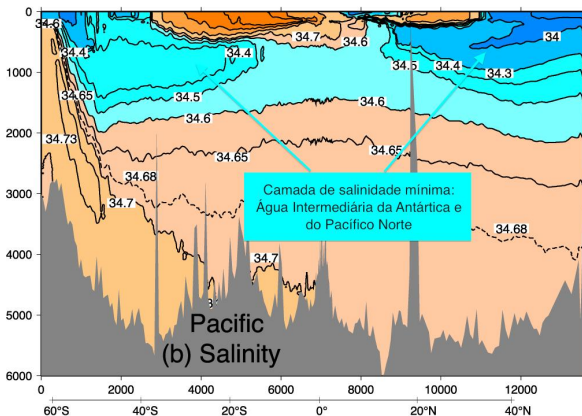
- Seção Vertical de Temperatura Potencial - Oceano Pacífico



(Talley et al., 2011 - edição/cortesia: Sato, 2015)

# Seções Verticais Típicas de Salinidade nos Oceanos

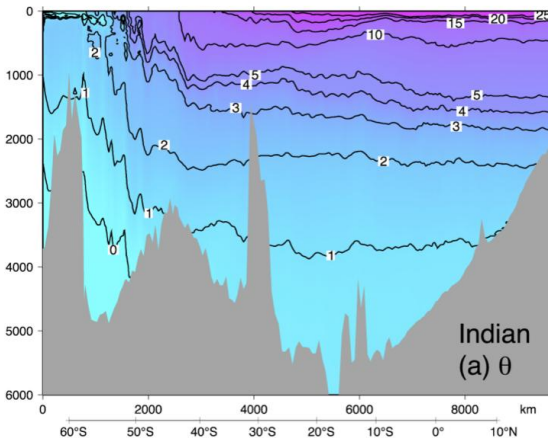
- Seção Vertical de Salinidade - Oceano Pacífico



(Talley et al. , 2011 - edição/cortesia: Sato, 2015)

# Seções Verticais Típicas de Temperatura nos Oceanos

- Seção Vertical de Temperatura Potencial - Oceano Índico

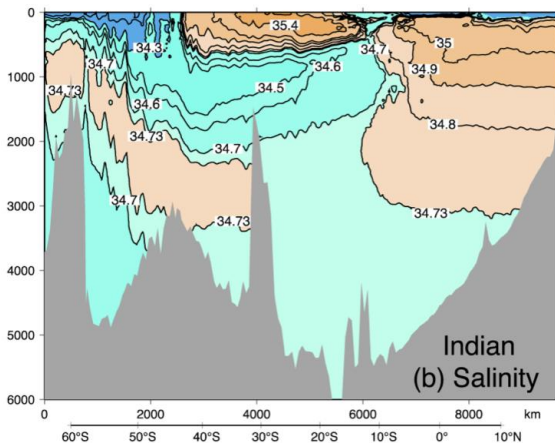


(Talley et al., 2011)

"Sistema Oceano"

# Seções Verticais Típicas de Salinidade nos Oceanos

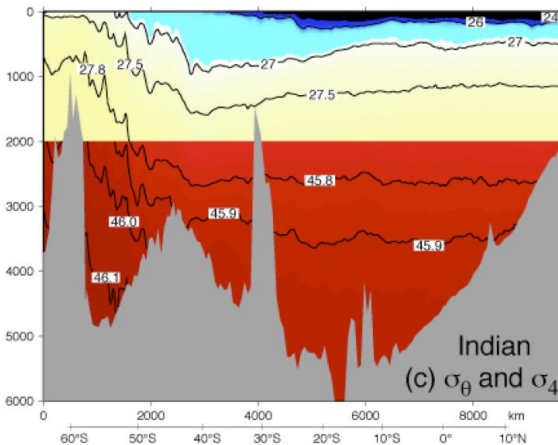
## ● Seção Vertical de Salinidade - Oceano Índico



(Talley et al., 2011)

# Seções Verticais Típicas de Densidade Potencial Convencional nos Oceanos

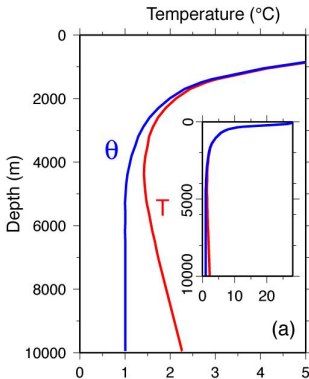
- Seção Vertical de Densidade Potencial Convencional - Oceano Índico





# Perfis Verticais Típicos de Temperatura

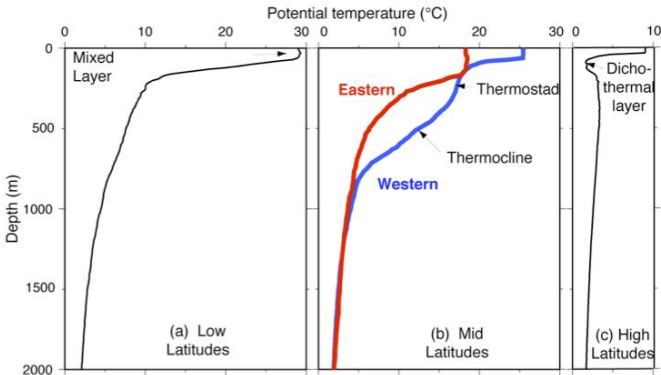
- Perfis Verticais de Temperatura



Perfis típicos de temperatura potencial ( $\theta$  °C) e temperatura "in situ" (T °C) (Talley et al., 2011)

# Perfis Verticais Típicos de Temperatura Oceano Pacífico

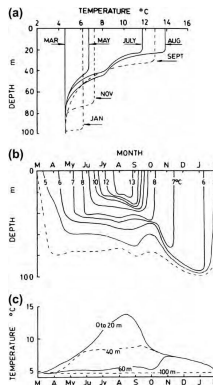
- Perfis Verticais de Temperatura  
Oceano Pacífico



Perfis típicos de temperatura potencial ( $^{\circ}\text{C}$ ) para oceano aberto - Pacífico Norte a) tropical (lado oeste), b) subtropical e c) subpolar.

# Camada de Mistura

- Camada de Mistura: Características



Crescimento e decaimento da termoclina sazonal em  $50^{\circ}$  N,  $145^{\circ}$  W no Pacífico Norte-Nordeste (a) perfis verticais de temperatura, (b) séries de tempo de contornos isotermais, (c) séries de tempo de temperaturas nas profundidades indicadas. (Talley et al., 2011; Pickard and Emery, 2002)

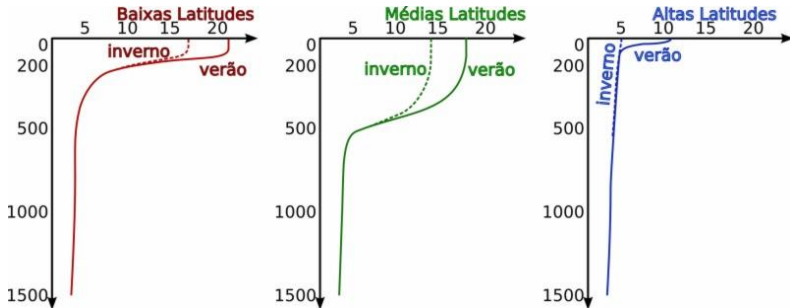
# Camada de Mistura

## ● Camada de Mistura: Características

- A camada de mistura no inverno:
  - A ação dos ventos e das ondas atuando na interface ar-mar e o resfriamento provocam mistura nos primeiros metros da coluna de água, desorganizando a estratificação vertical.
  - gradualmente a camada de mistura vai afundando atingindo um máximo de profundidade no final do inverno.
- A camada de mistura no verão:
  - O aquecimento no topo da camada de mistura conduz à estratificação na superfície.

# Termoclina

## • Termoclina: Características



(*Talley et al.*, 2011)

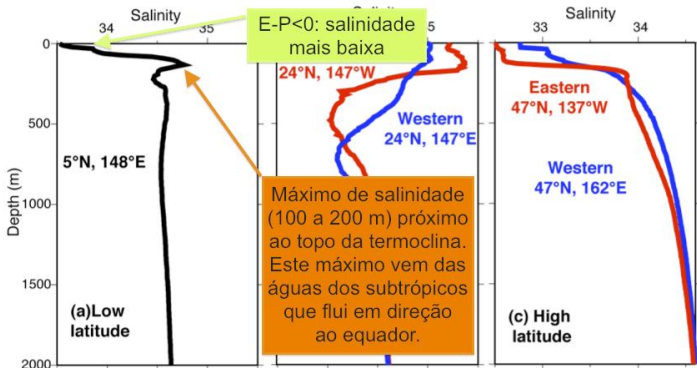
# Termoclina

- **Termoclina: Características**

- Como caracterizar a termoclina?
  - faixa de profundidades onde o gradiente vertical de temperatura é máximo.
- Em geral a salinidade e a densidade acompanham esta variação, denominadas de haloclina e picnoclina, respectivamente
- As profundidades da termoclina, haloclina e picnoclina variam com a latitude.

# Perfis Verticais Típicos de Salinidade

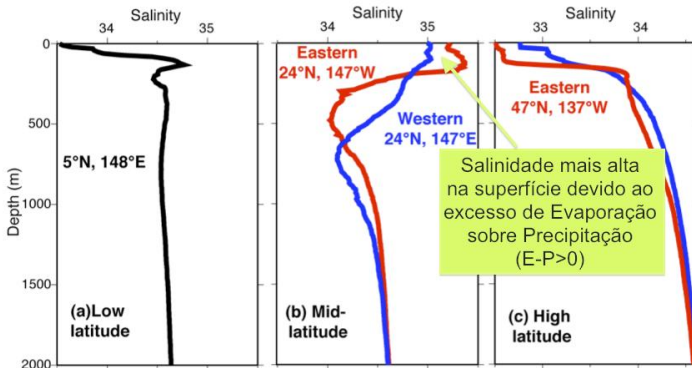
## • Perfis Verticais de Salinidade Baixas Latitudes



(Talley et al. , 2011 - edição/cortesia: Sato, 2015)

# Perfis Verticais Típicos de Salinidade

## • Perfis Verticais de Salinidade Médias Latitudes



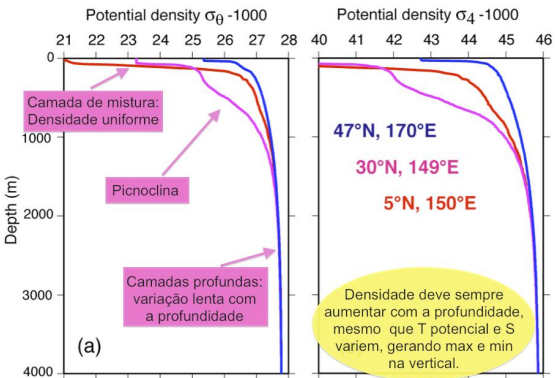
(*Talley et al., 2011 edição/cortesia: Sato, 2015*)





# Perfis Verticais Típicos de Densidade Potencial Convencional

- **Perfis Verticais de Densidade Potencial Convencional**



(Talley et al., 2011 - edição/cortesia: Sato, 2015)

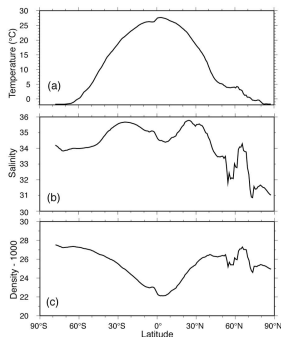


# Características Típicas de Temperatura e Salinidade nos Oceanos

- 75 % do volume total do oceano:  
Temperatura entre 0 °C e 6 °C  
Salinidade entre 34 e 35
- 50% do volume total do oceano:  
Temperatura entre 1,3 °C e 3,8 °C  
Salinidade entre 34,6 e 34,7
- Temperatura média dos oceanos globais: 3,5 °C  
Salinidade média: 34,6
- Distribuição espacial preferencialmente zonal (leste/oeste) de Temperatura e Salinidade
- Propriedades semelhantes na direção zonal
- Variações rápidas das propriedades na direção meridional (norte/sul)

# Seções Horizontais Típicas de Superfície: Temperatura / Salinidade / Densidade Convencional

- Seções Horizontais Típicas de Superfície:  
Temperatura / Salinidade  
Densidade Convencional  
Médias zonais para o inverno  
(JFM: HN e JAS: HS) (*Talley et al., 2011*)**



## Seções Horizontais Típicas de Superfície: Temperatura / Salinidade / Densidade Convencional

- (a) Temperatura apresenta um máximo no equador, devido a maior incidência da radiação solar: balanço de energia.
- (b) Salinidade apresenta um mínimo nas proximidades da região equatorial. : há um máximo de precipitação, devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) formada pelo encontro dos ventos alísios. A posição da ZCIT varia com as estações do ano associada com a variação de temperatura.
- (b) Salinidade é máxima na região dos ventos alísios, onde evaporação (E) predomina sobre precipitação (P).
- (c) Densidade é mínima em baixas latitudes, devido ao máximo de temperatura e não ao mínimo de salinidade.
- (c) O efeito de máxima salinidade, na região tropical, não predomina no máximo de densidade.

**Naran, Joseph (org.).** **Noções de Oceanografia.** São Paulo: Instituto Oceanográfico, 2021. E-book. Link de acesso: <https://www.io.usp.br/index.php/oceanos/livros.html>  
vídeo de lançamento: <https://youtu.be/auSdswJFcdk>

Pickard, G.L.; Emery, W.J., 2002: Descriptive Physical Oceanography: An Introduction. Elsevier Science. 5th ed. 320p.

Talley, L.D.; Pickard, G.L.; Emery, W.J., Swift, J.H., 2011: Descriptive Physical Oceanography: An Introduction. Elsevier. Sixth Edition. 555 p.

The Open University, 2001: Ocean Circulation. Pergamon Press, Second ed., 286 p.

The Open University, 1995: Seawater: its composition, properties and behaviour. Pergamon Press, Second ed., 168 p.