

# Oceanografia Física

## Descritiva para o

### Oceano Atlântico e

### Austral

# Tópicos a serem abordados

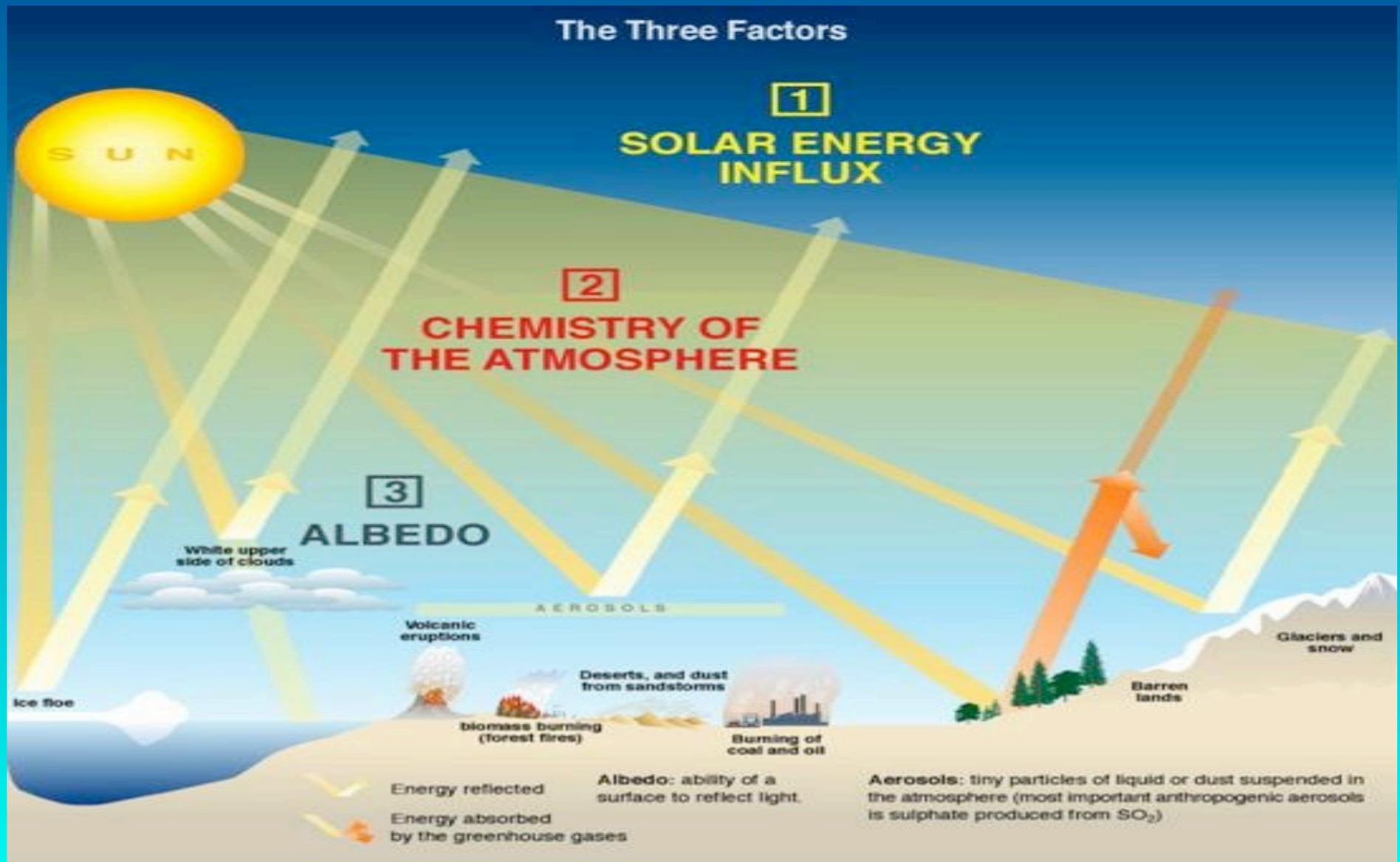
- **Propriedades Física da Água do Mar**
- **Diagrama T/S**
- **Massas de Água e formação**
- **Oceanografia Antártica**
- **Oceano Atlântico**

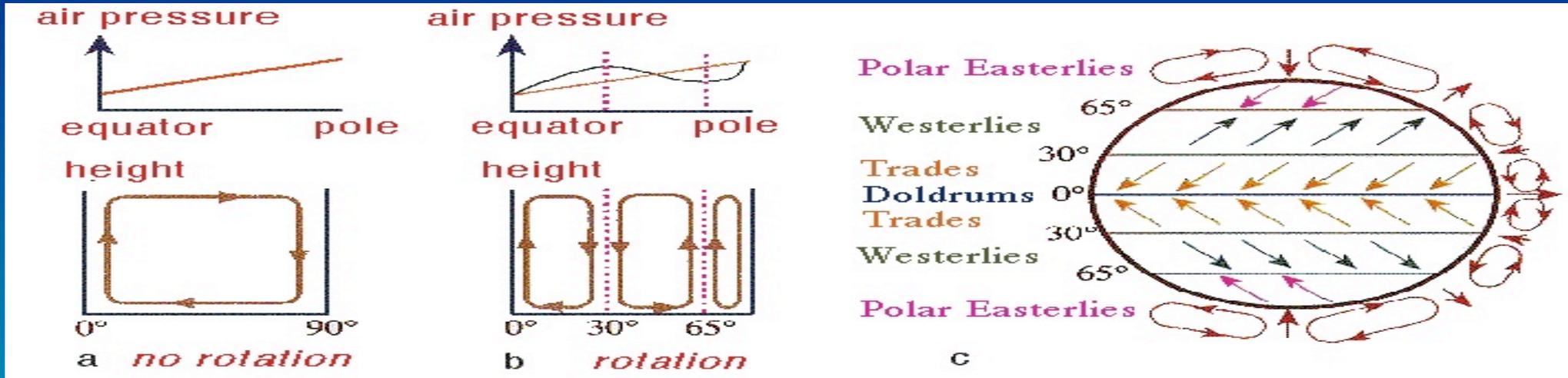
# Introdução

- Os primeiros três metros dos oceanos armazenam a mesma quantidade de calor que toda a atmosfera.
- Este calor é liberado e reabsorvido regularmente em um ciclo do oceano para atmosfera e vice-versa.
- *É fundamental o conhecimento da circulação oceânica para o para que o regime climático dos nosso planeta (e suas mudanças) possa ser compreendido em escalas temporais da ordem de décadas. Em escalas menores, padrões atípicos na taxa e tamanho desta interação oceano-atmosfera pode causar eventos meteorológicos extremos (furacões, enchentes, secas, etc).*

Figure 13.1 The oceanic conveyor belt carrying heat northward into the North Atlantic. Note that this is a cartoon, and it does not accurately describe the ocean's circulation. (from Broecker and Peng, 1982).

# Balanco de Calor



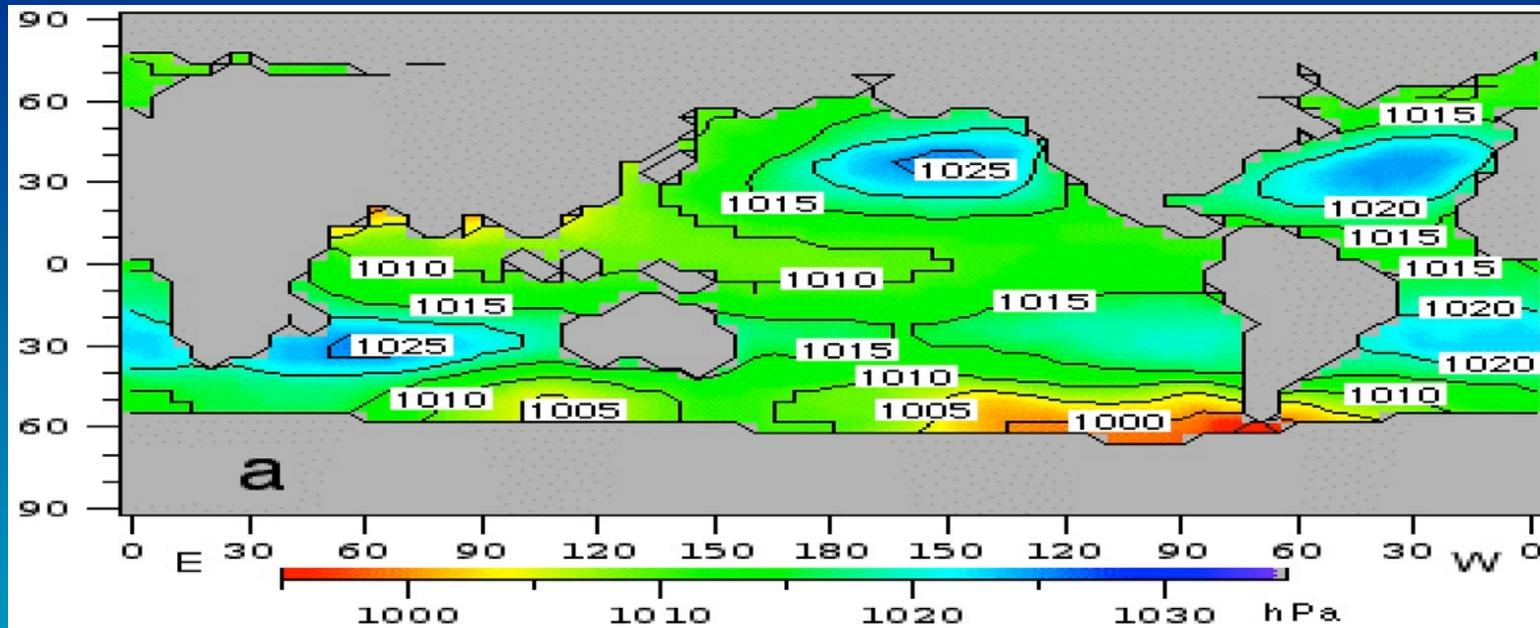


## Diagrama esquemático do gradiente de pressão meridional:

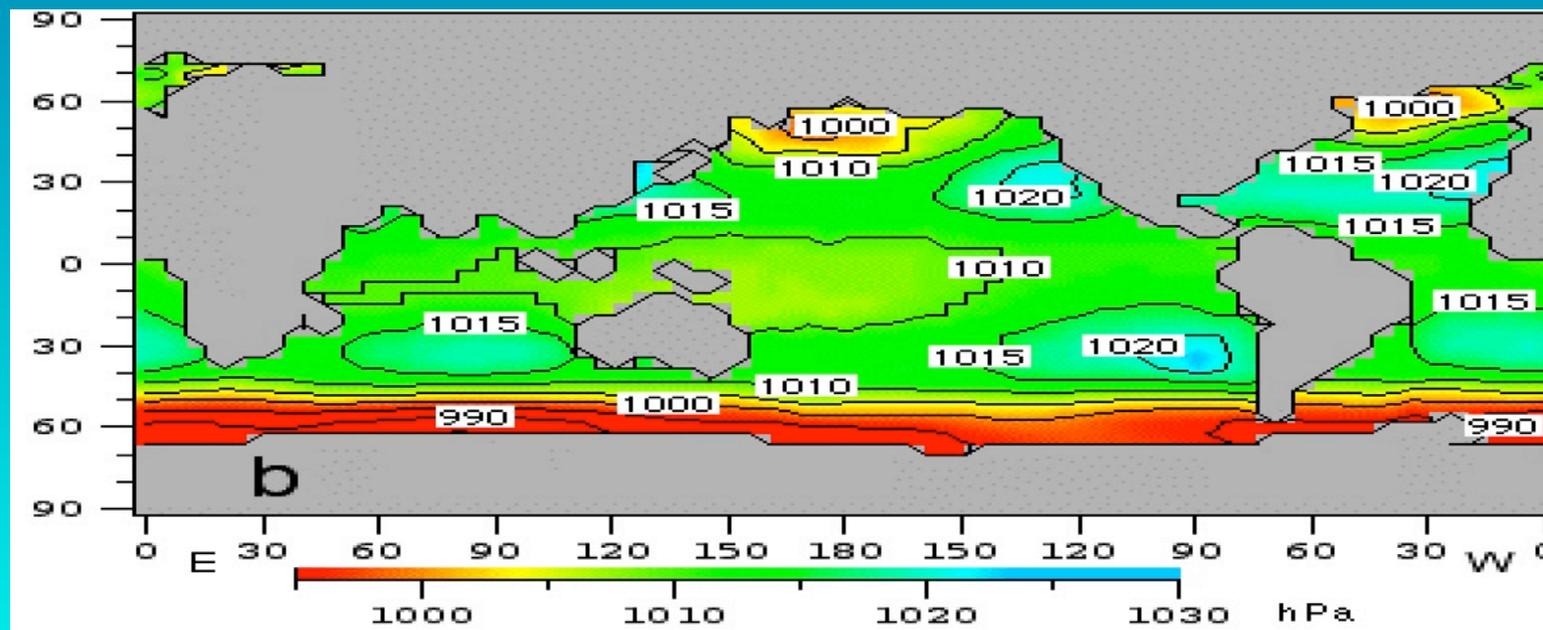
- a) Terra sem rotação
- b) Terra com rotação e sem continentes
- c) Terra vista de cima

# Campo de Pressão Atmosférica

Média  
Julho



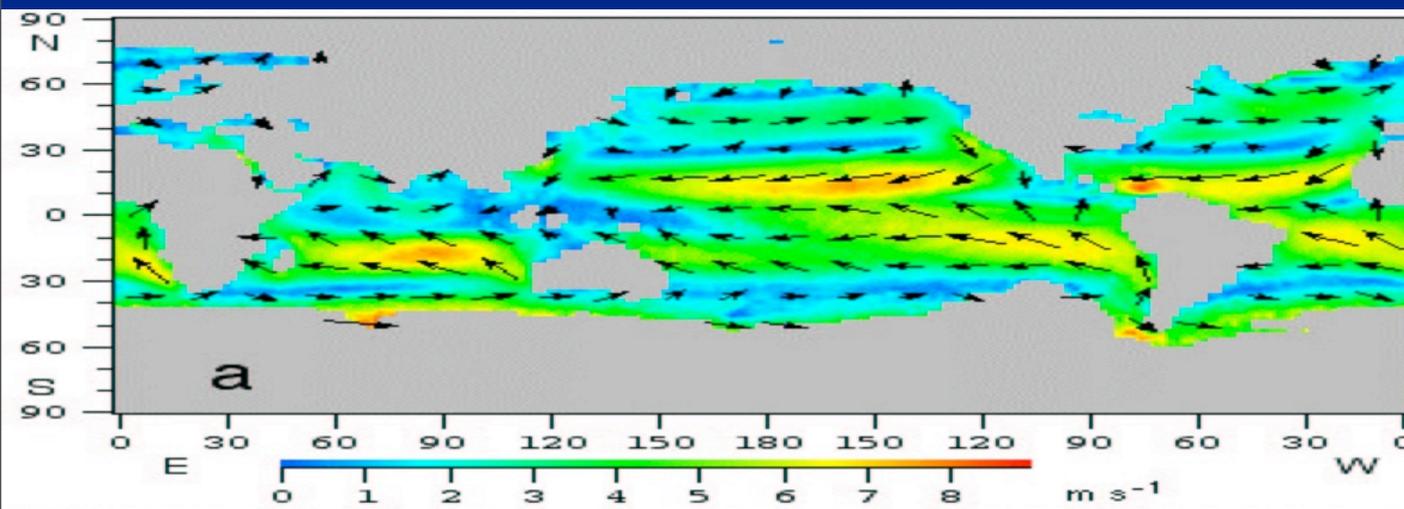
Média  
Janeiro



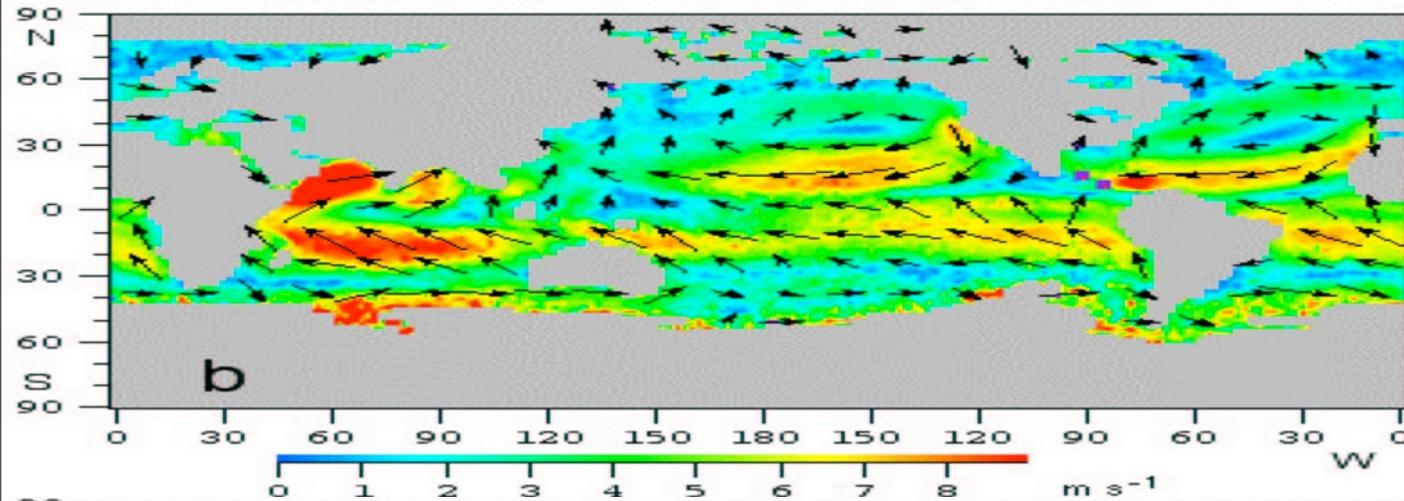
Fonte: Tomczak and Godfrey, 1994

# Campo de Ventos

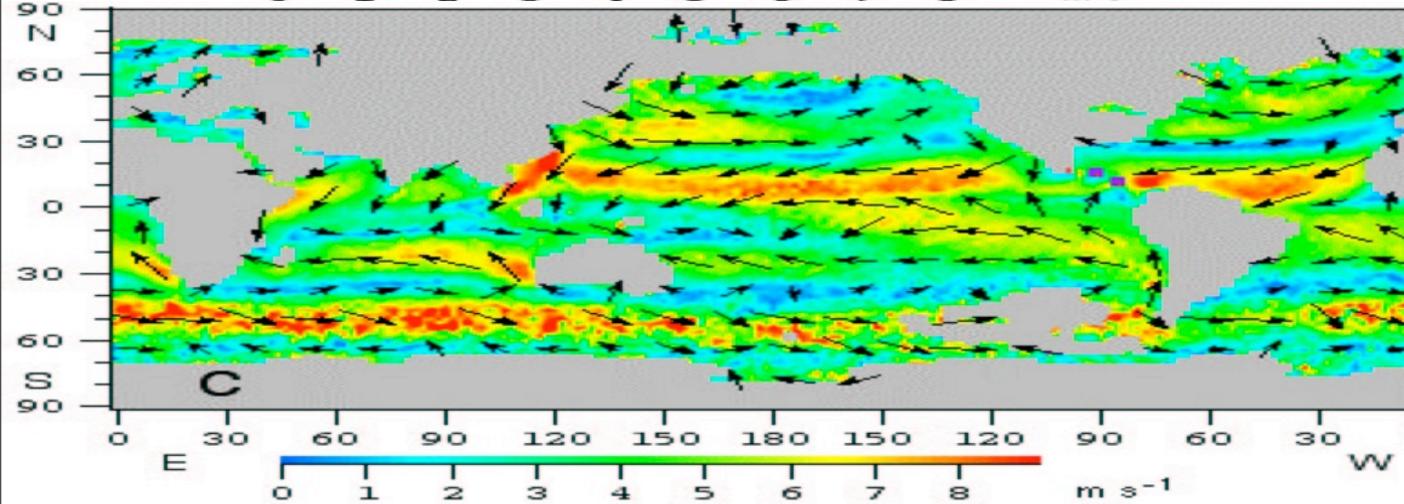
Média  
anual



Média  
Julho



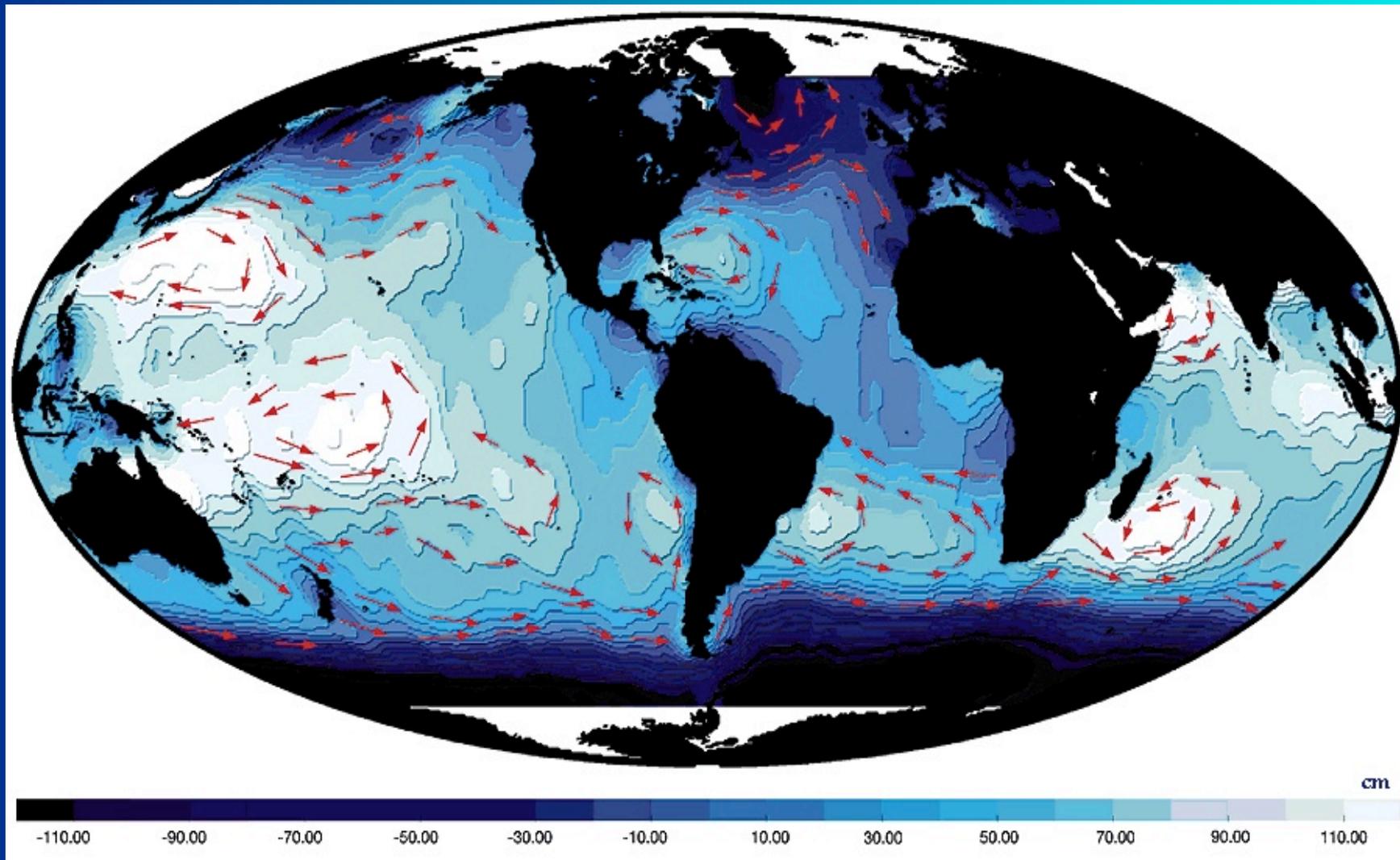
Média  
Janeiro



Fonte: Tomczak and  
Godfrey, 1994

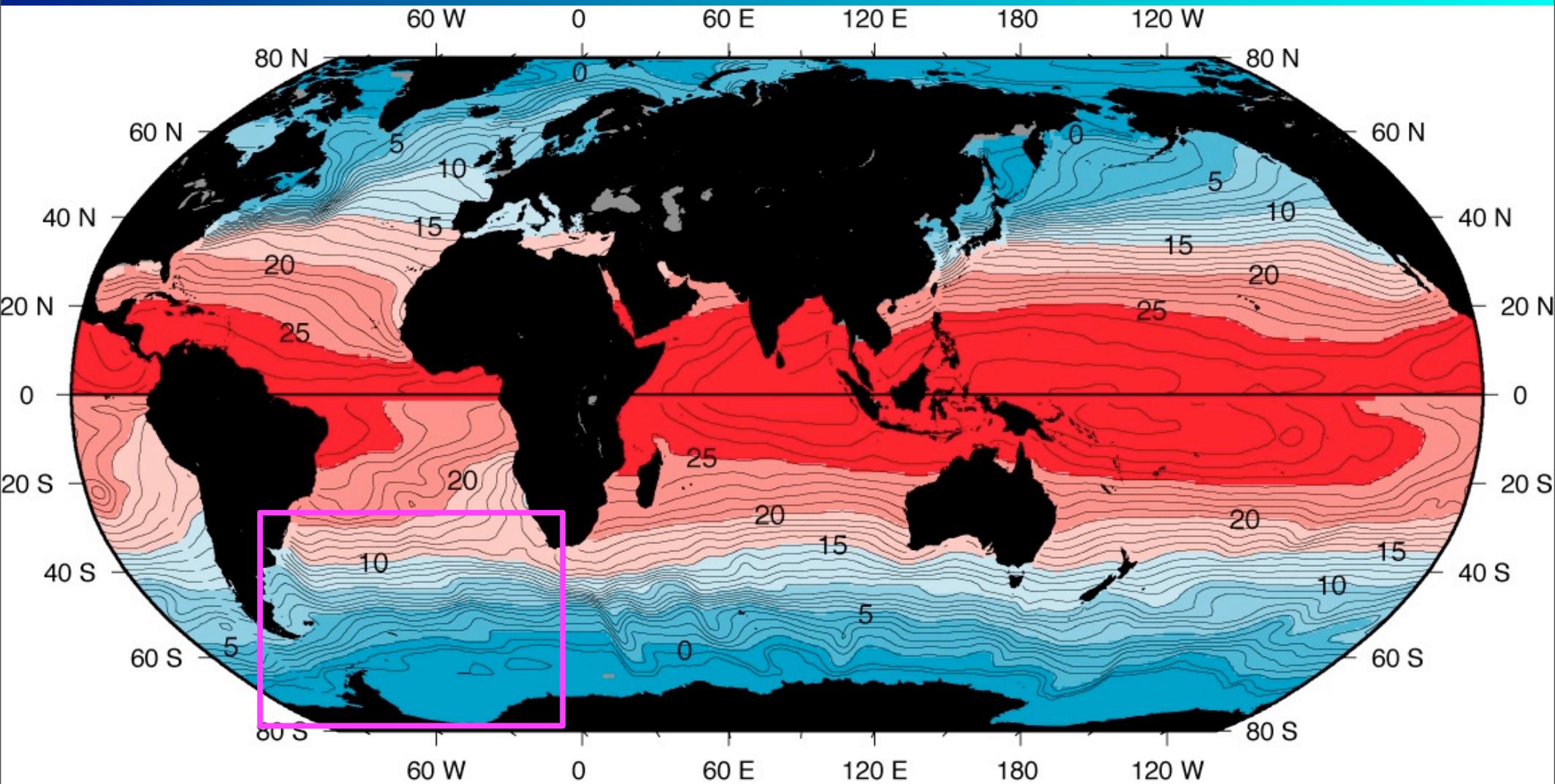
# CIRCULAÇÃO DE LARGA ESCALA:

- **Circulação dominada pelos Giros Anticiclônicos**



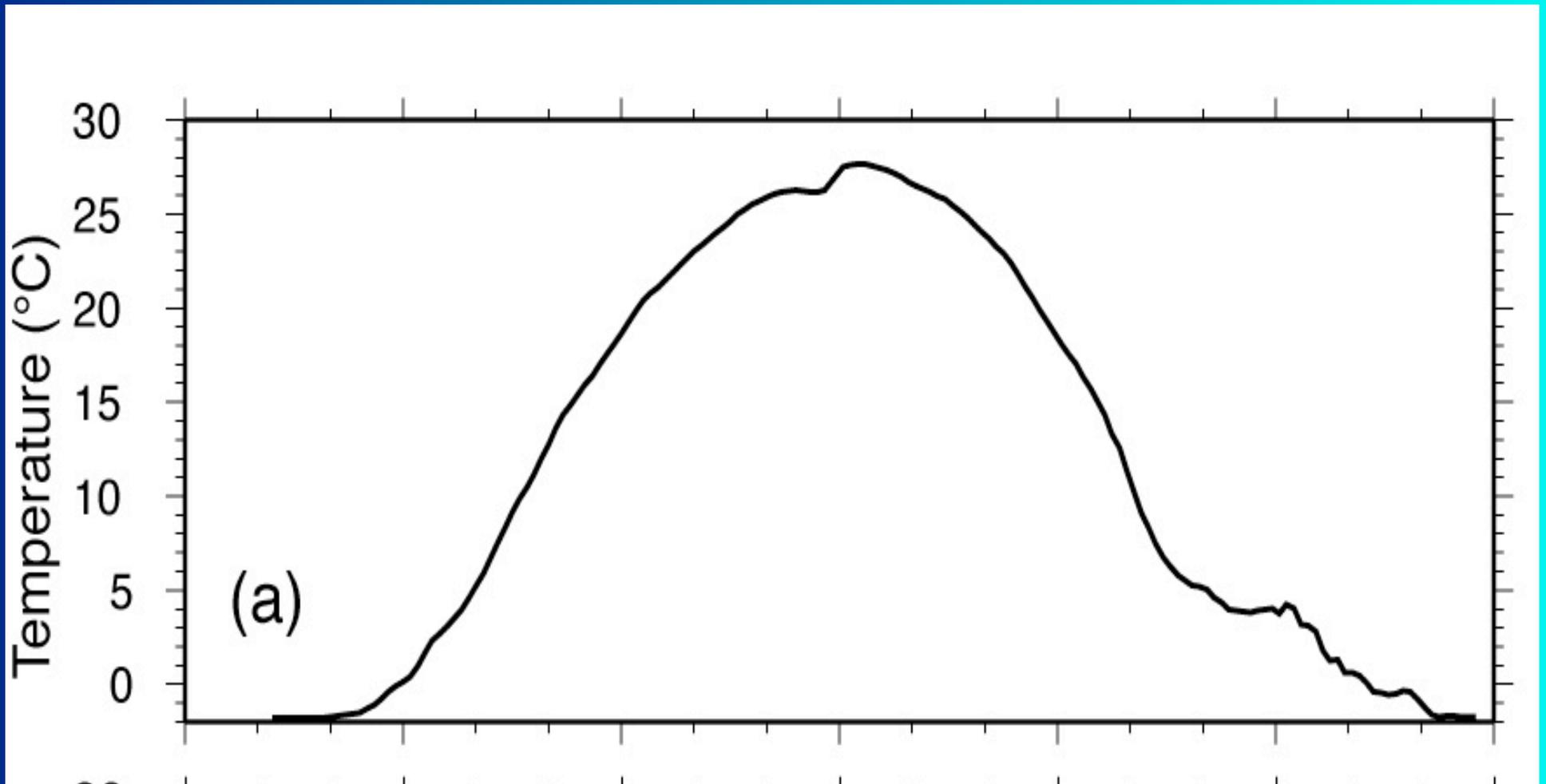
Fonte: [www.noaa.gov](http://www.noaa.gov)

# Temperatura na superfície (TSM)



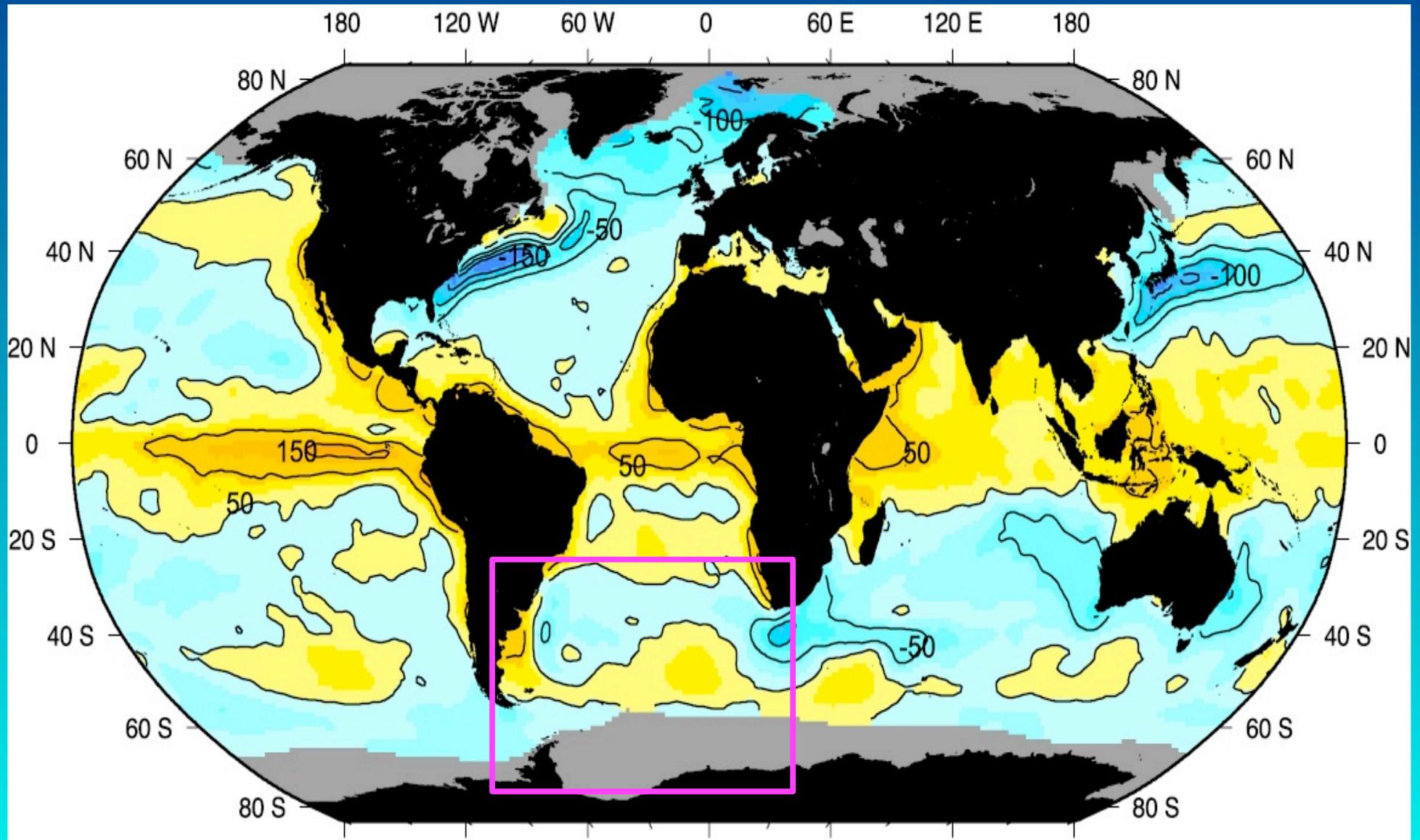
*Levitus and Boyer (1994)*

# Média na longitude da TSM

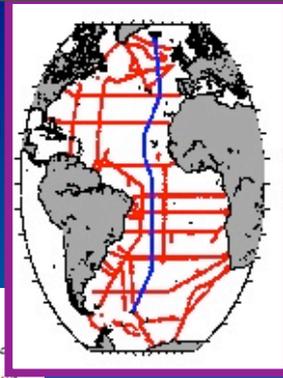


*Levitus* and Boyer (1994)

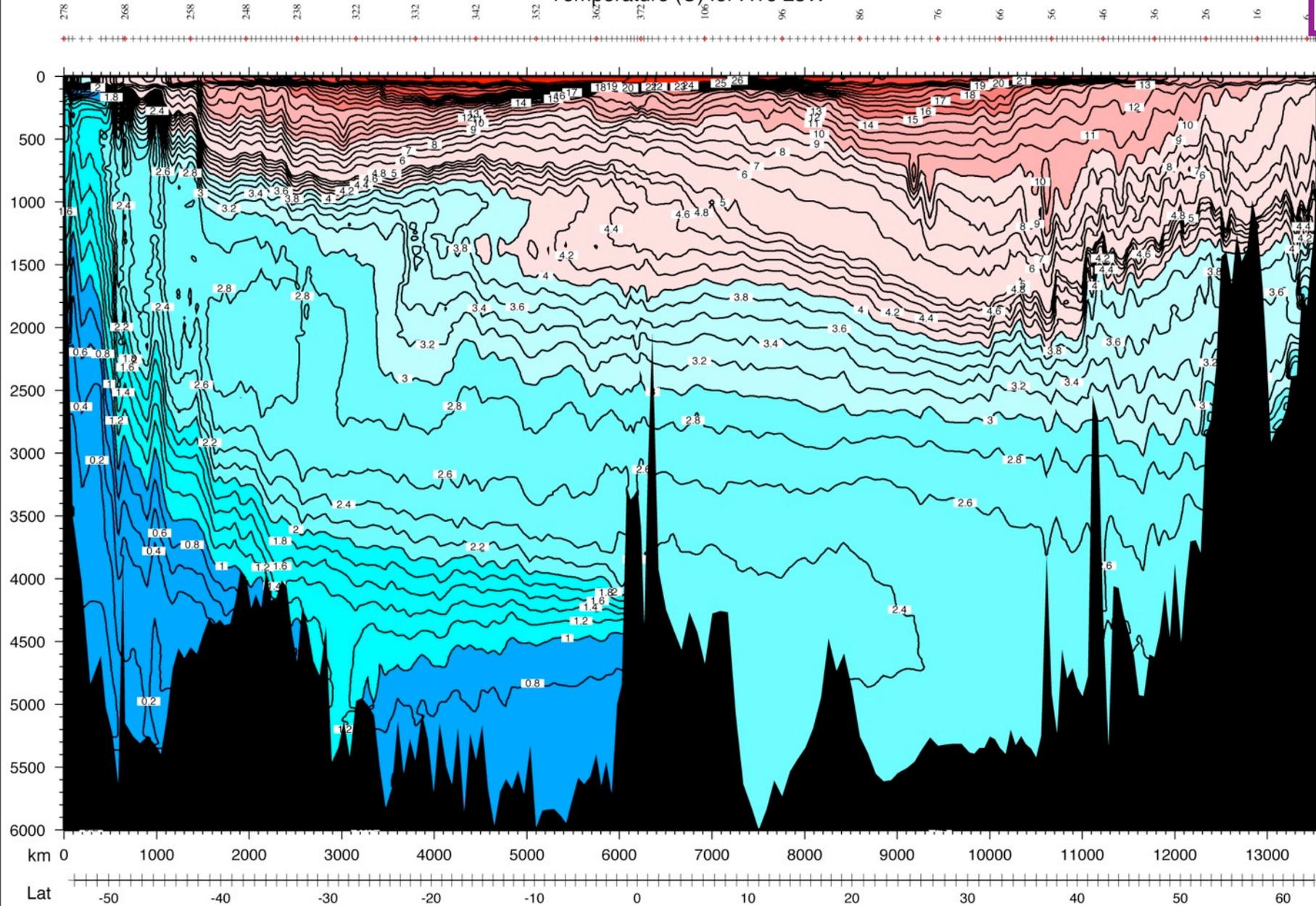
# Fluxo de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



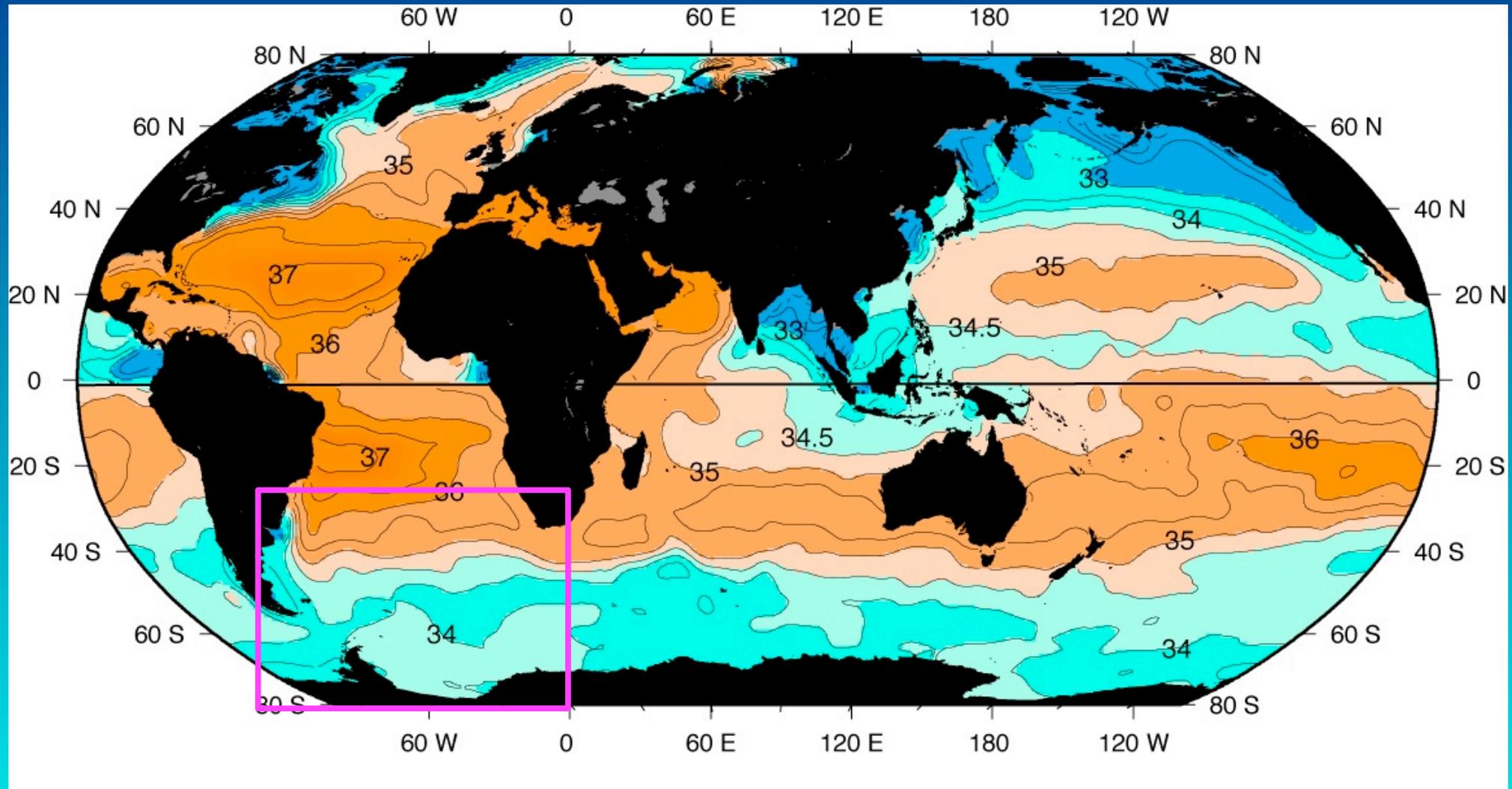
# Perfil de temperatura (Atlantico)



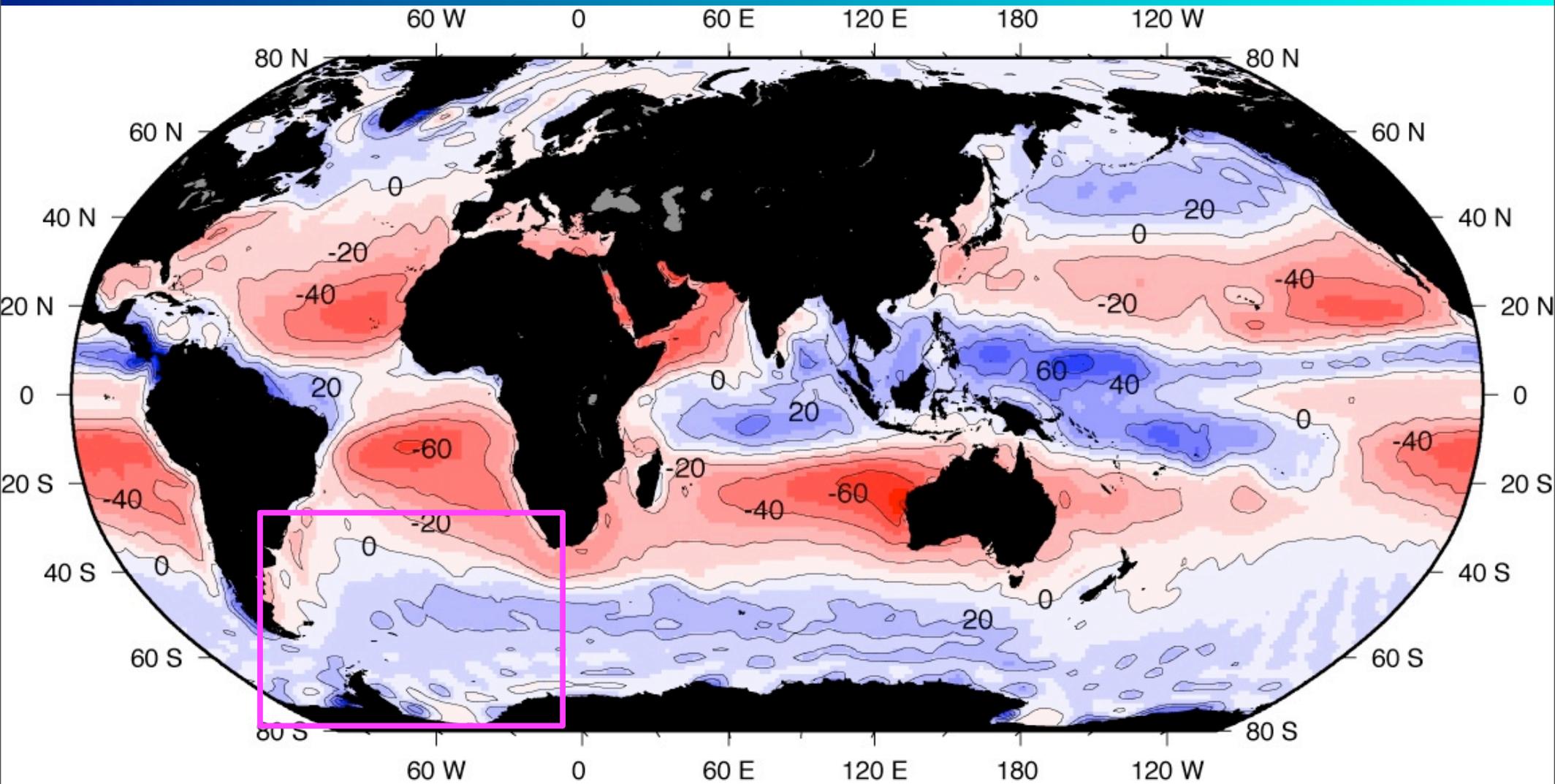
Temperature (C) for A16 25W



# Salinidade na superfície



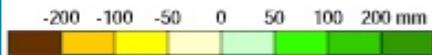
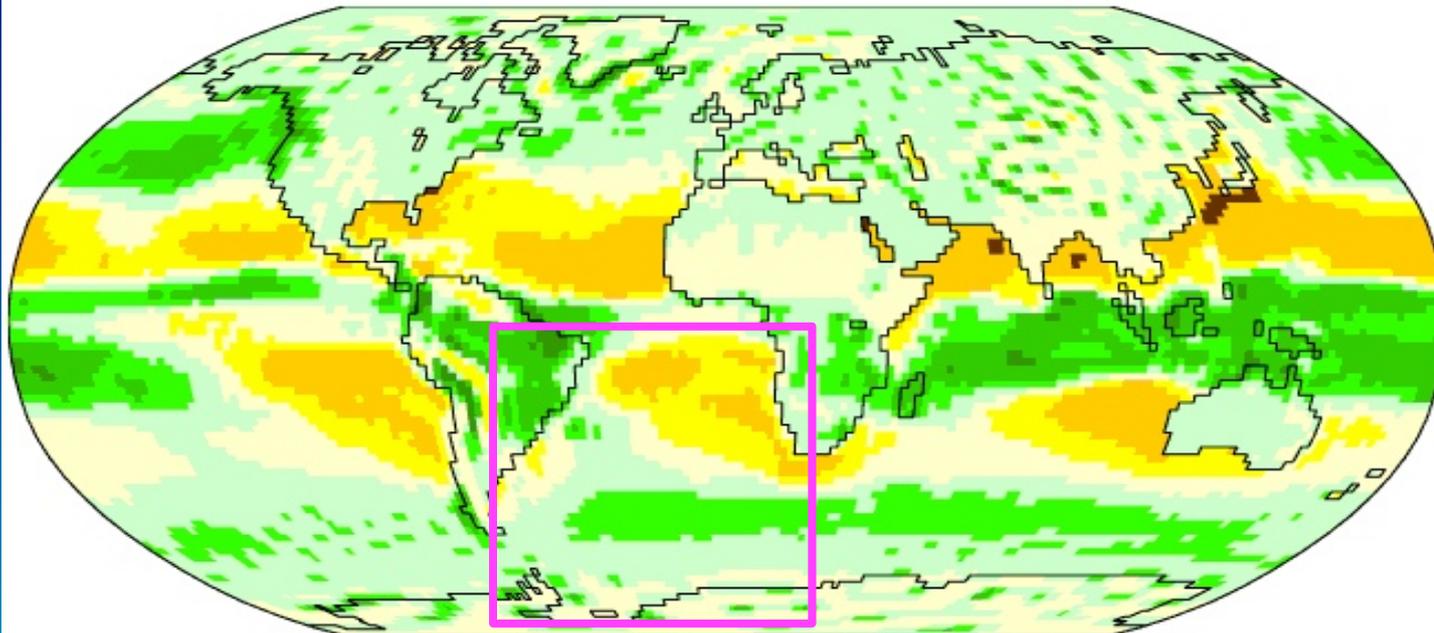
# P - E (cm/yr)



NCEP climatology

P-E

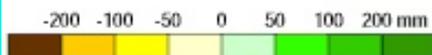
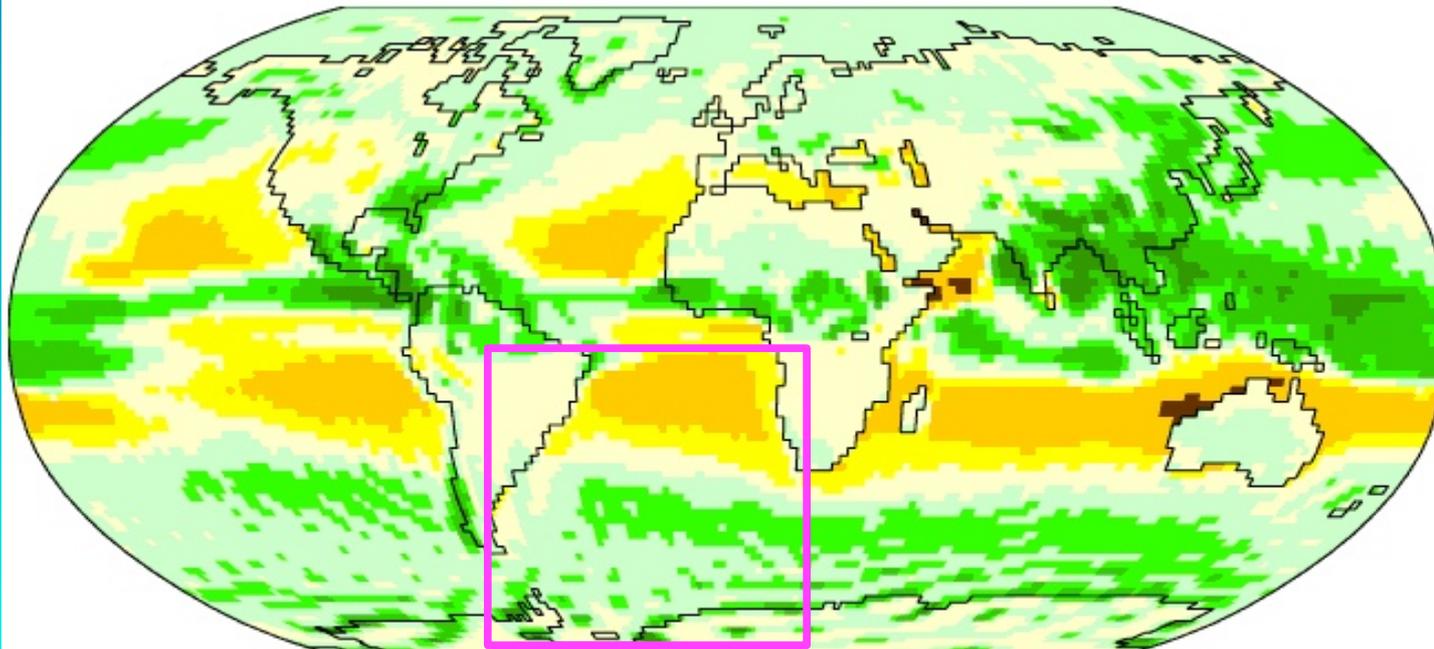
Jan



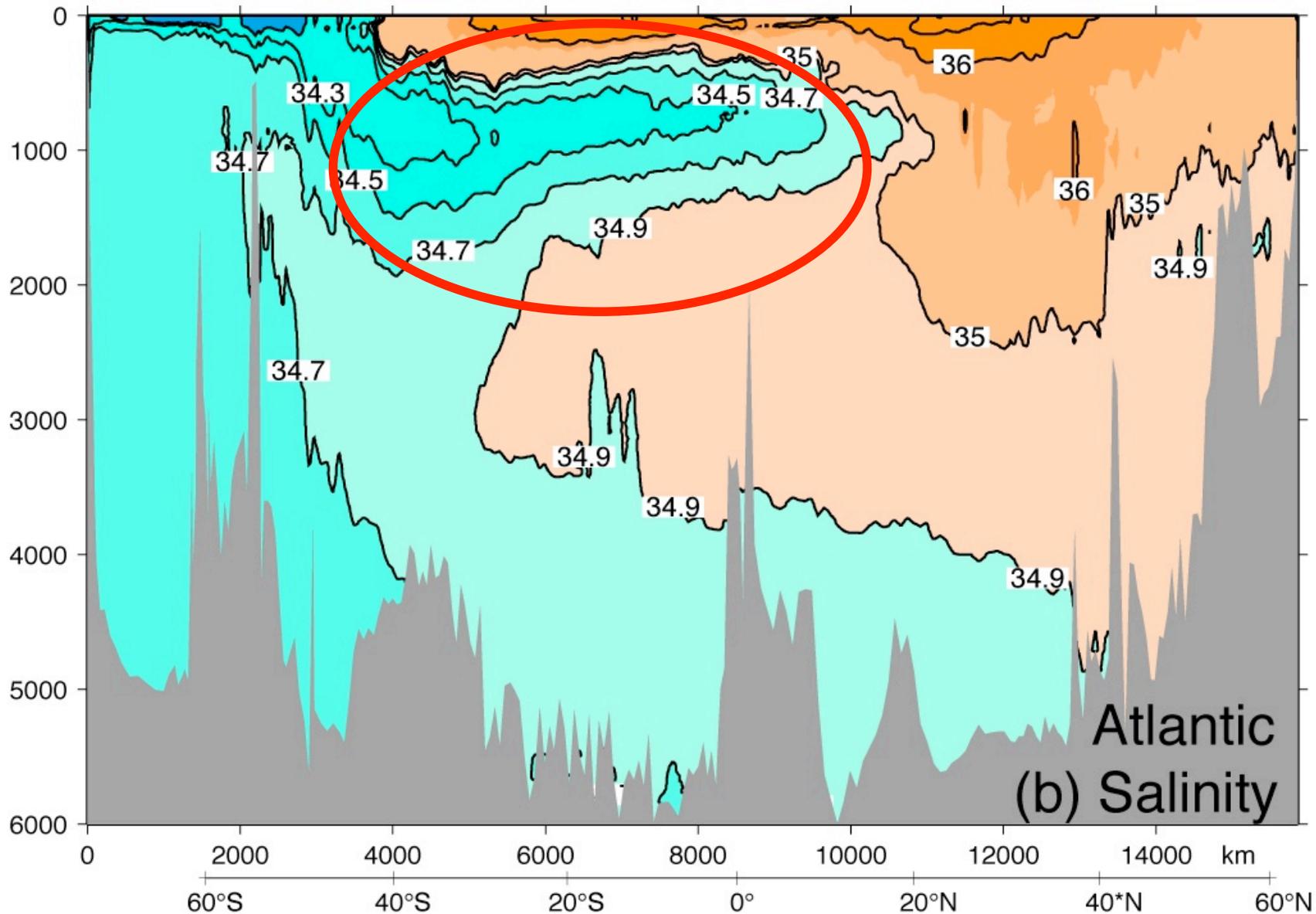
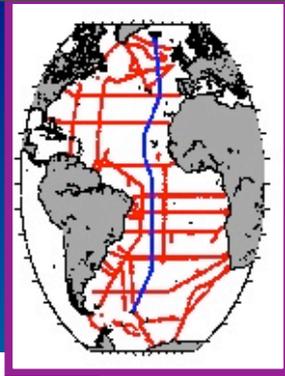
**P-E média  
1959-1997**

P-E

Jul

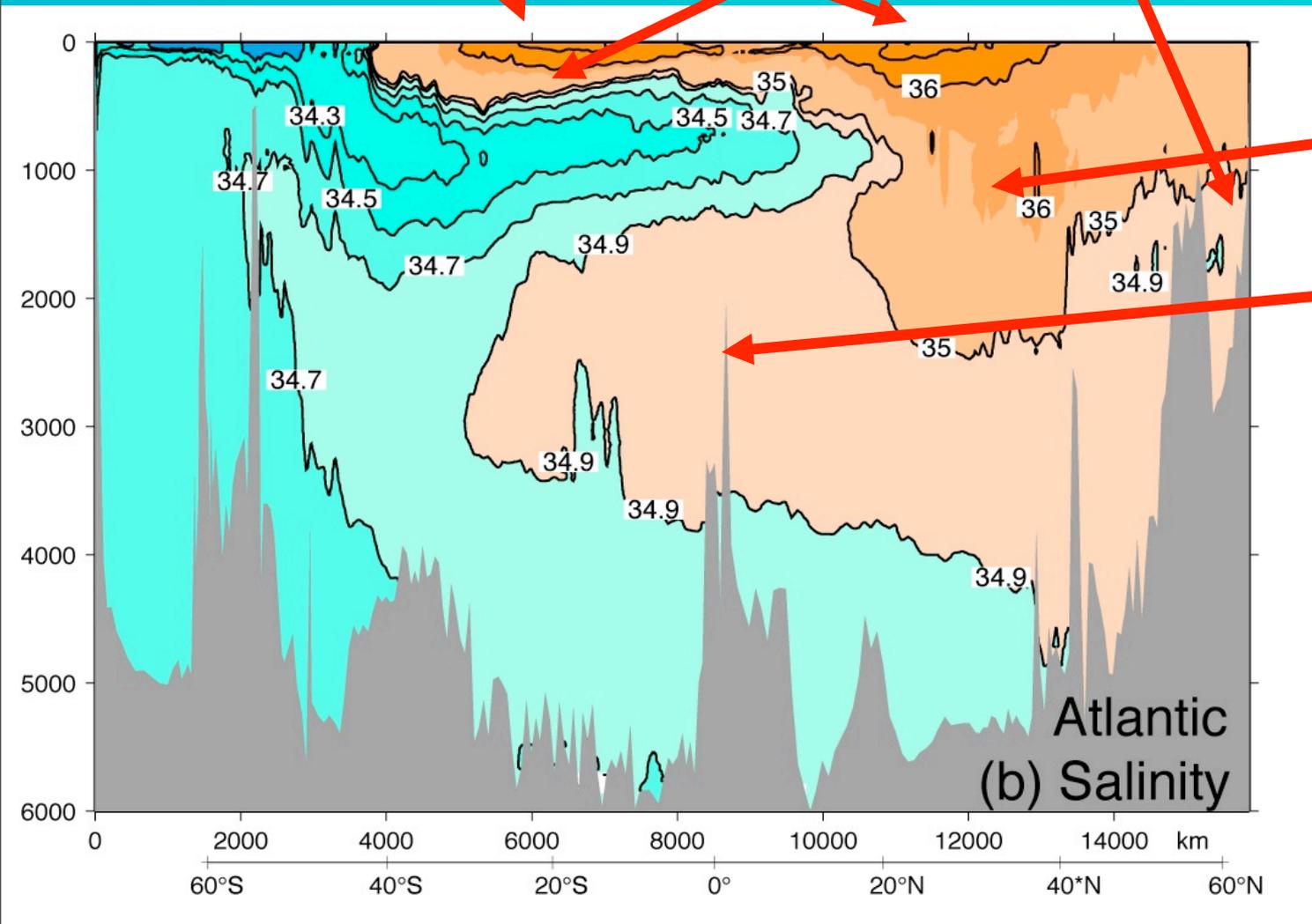


# Perfil de sal no Atlântico



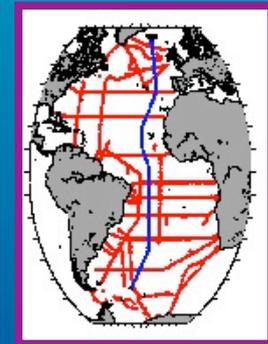
# Camadas de salinidades mínimas (AIA e Água do Mar de Labrador)

Camadas de salinidades máximas



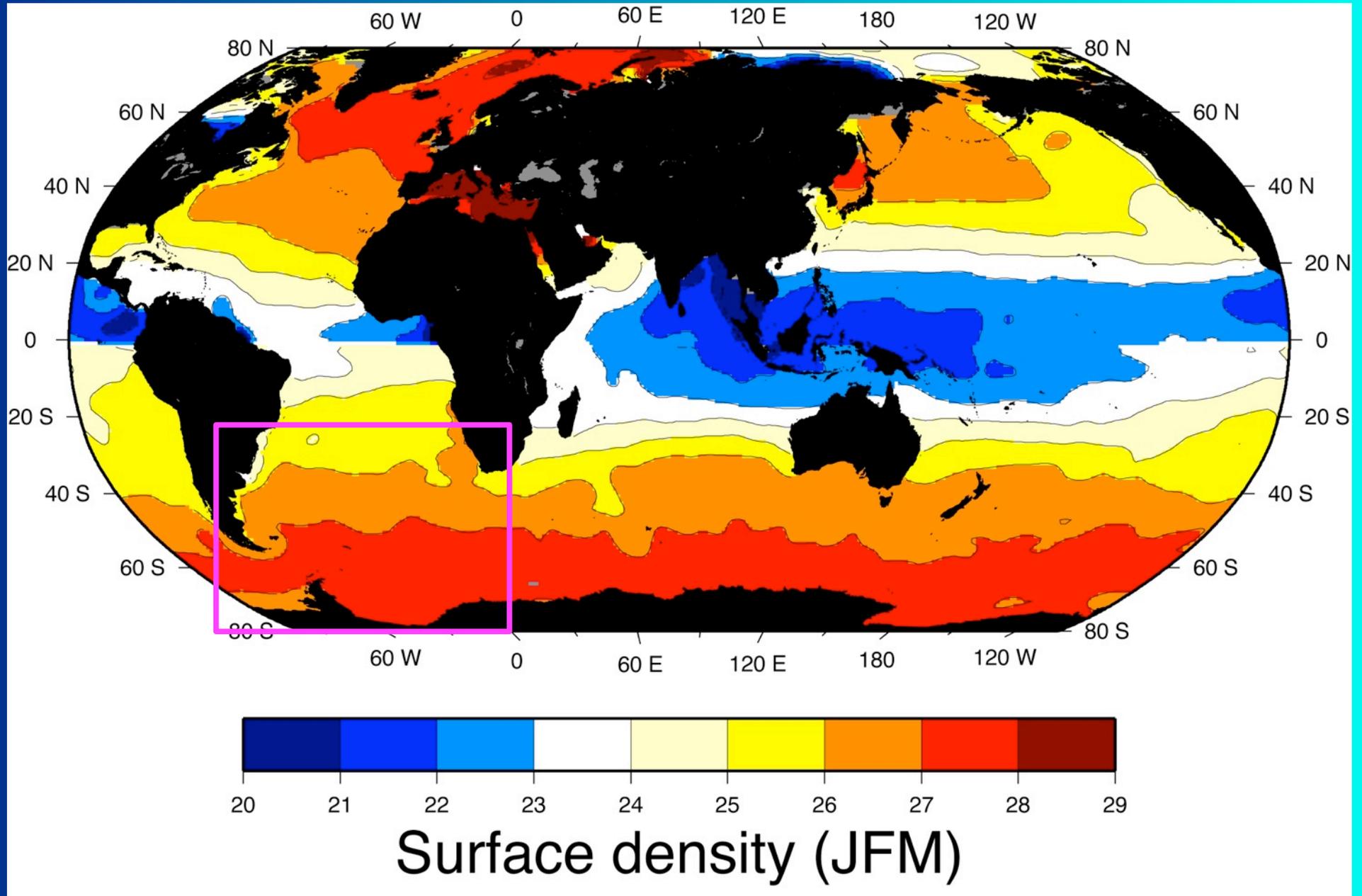
Água do Mediterrâneo

Água Profunda do Atlântico Norte

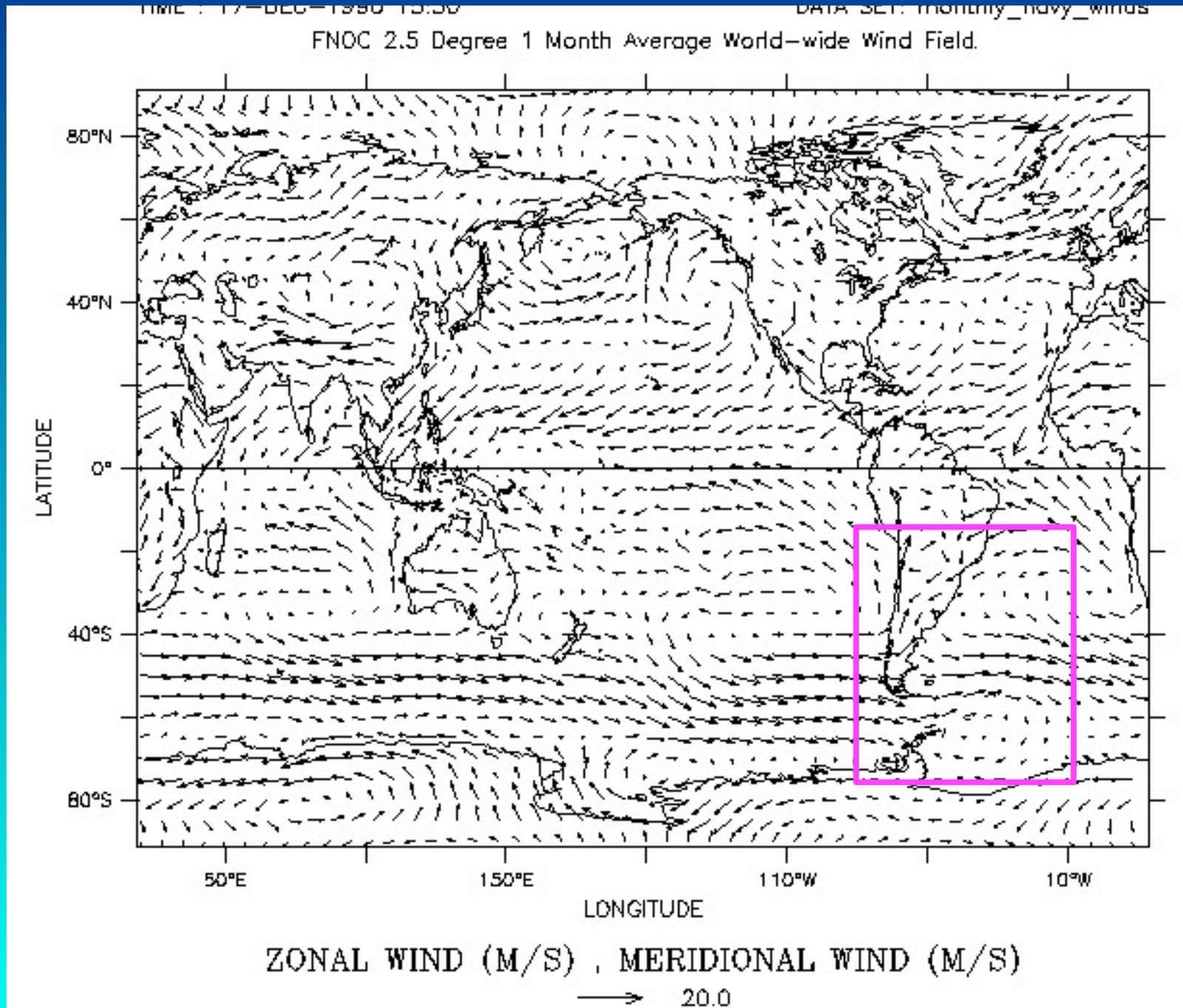


# Perfil de sal no Atlântico

# densidade



# ventos



# Upwelling (azul) /downwelling (verde) devido a Ekman

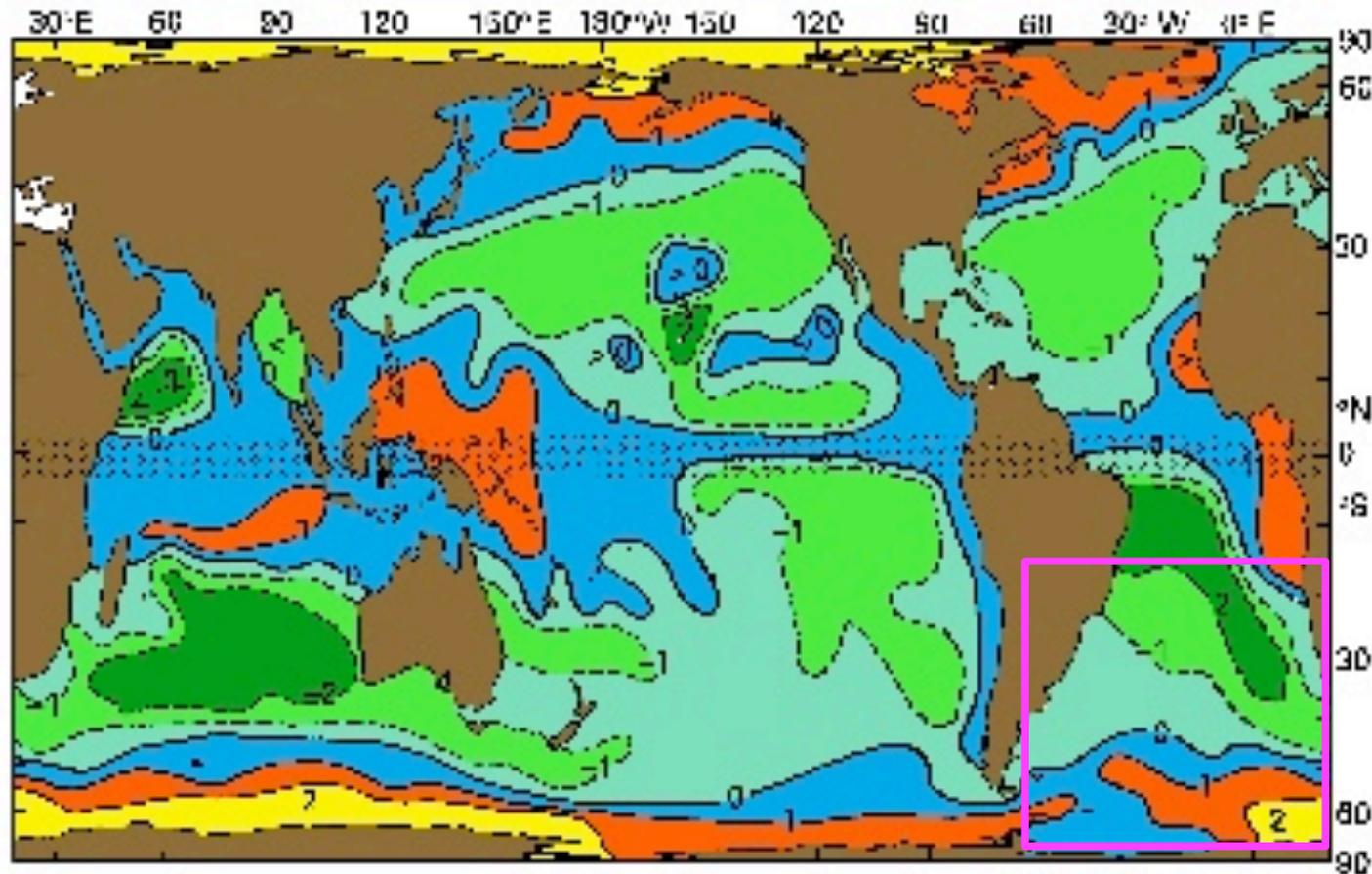
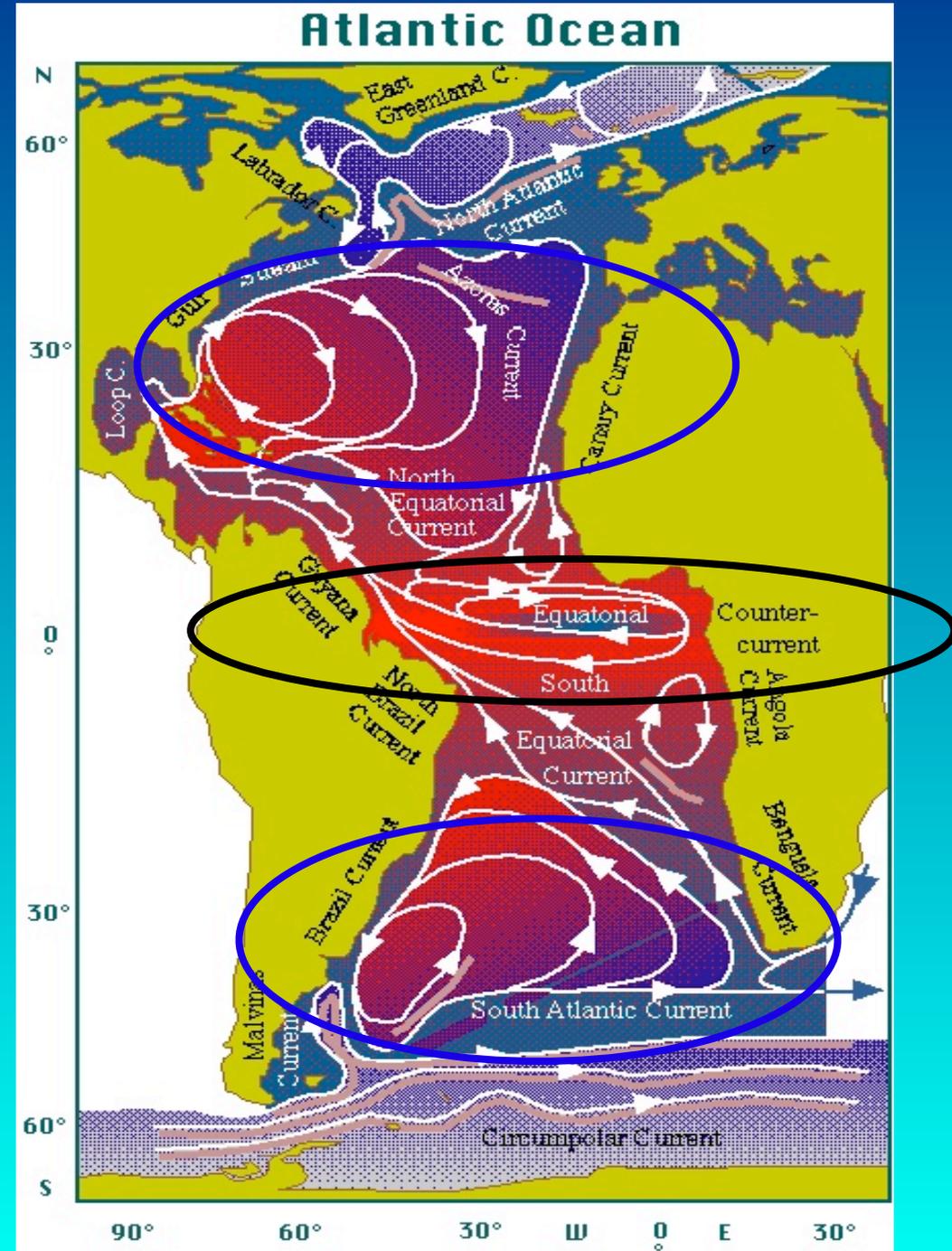
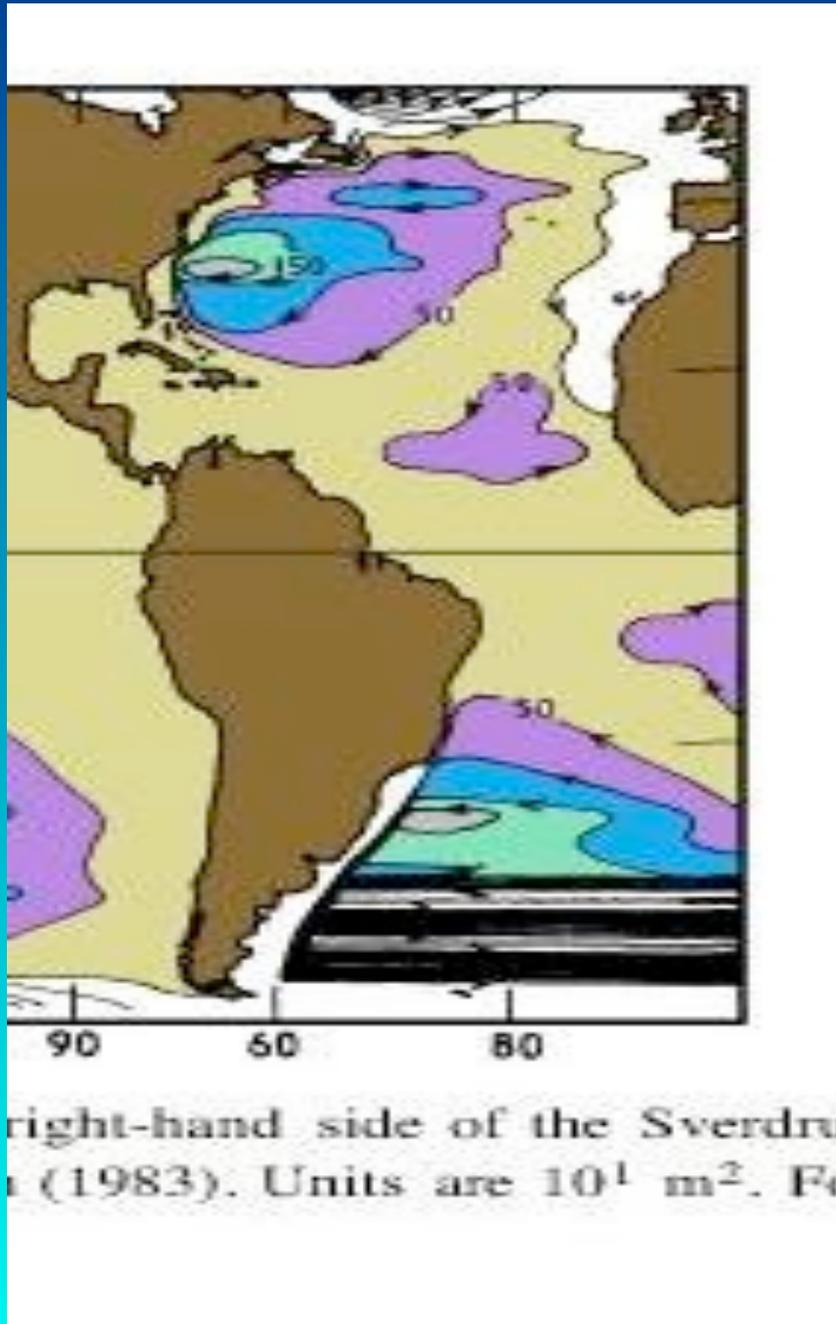


Fig. 4.3. Annual mean distribution of  $\text{curl}(\tau/f)$ , or Ekman pumping, calculated from the distribution of Fig. 1.4 ( $10^{-3} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Positive numbers indicate upwelling. In the equatorial region ( $2^\circ\text{N} - 2^\circ\text{S}$ , shaded)  $\text{curl}(\tau/f)$  is not defined; the distribution in this region is inferred from the dynamical arguments of Fig. 4.1 and is not quantitative.

*Tomczak and Godfrey, ch. 4*

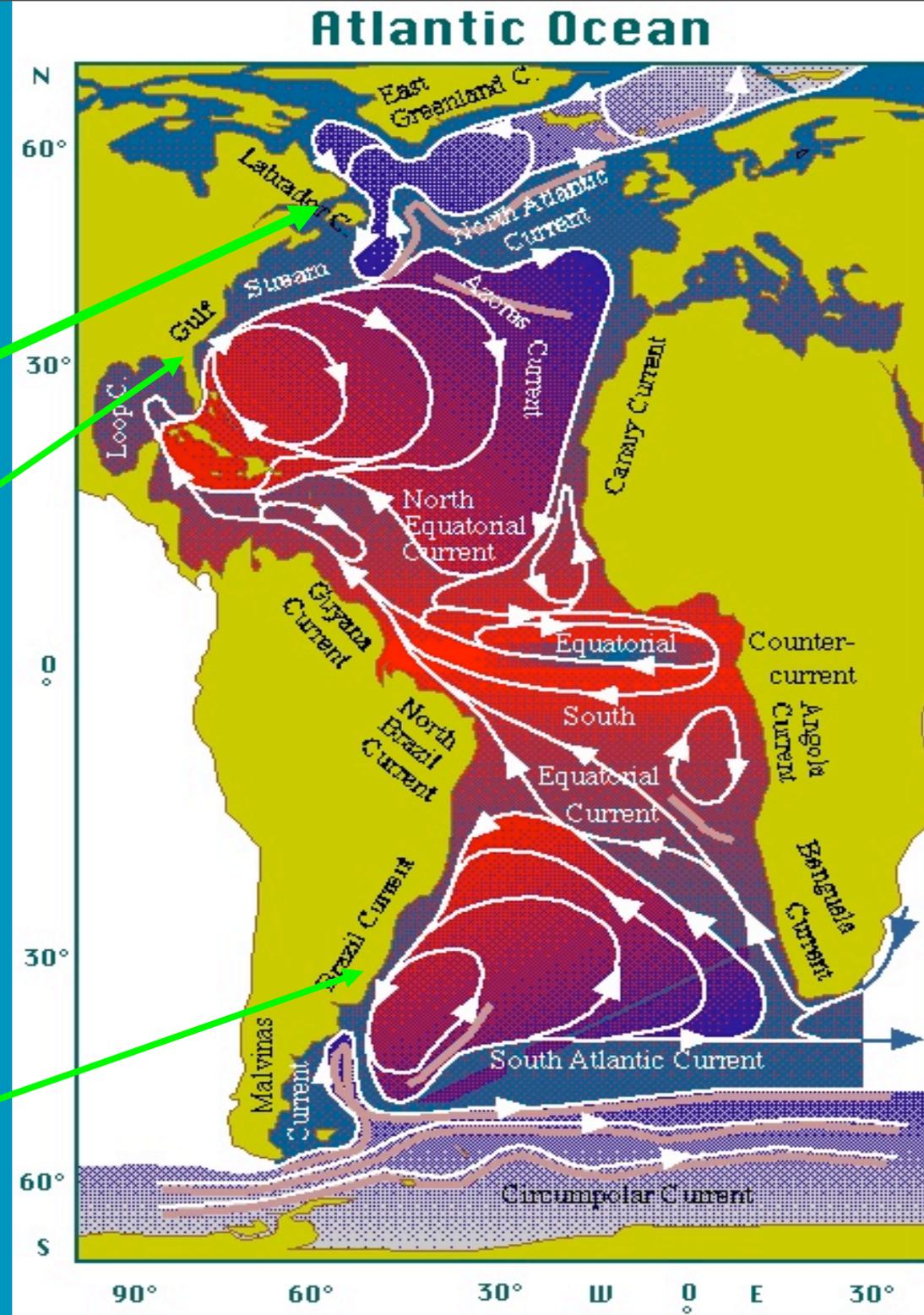
# Transporte de Sverdrup e circulação



# Correntes de contorno oeste

giro subpolar  
giro subtropical

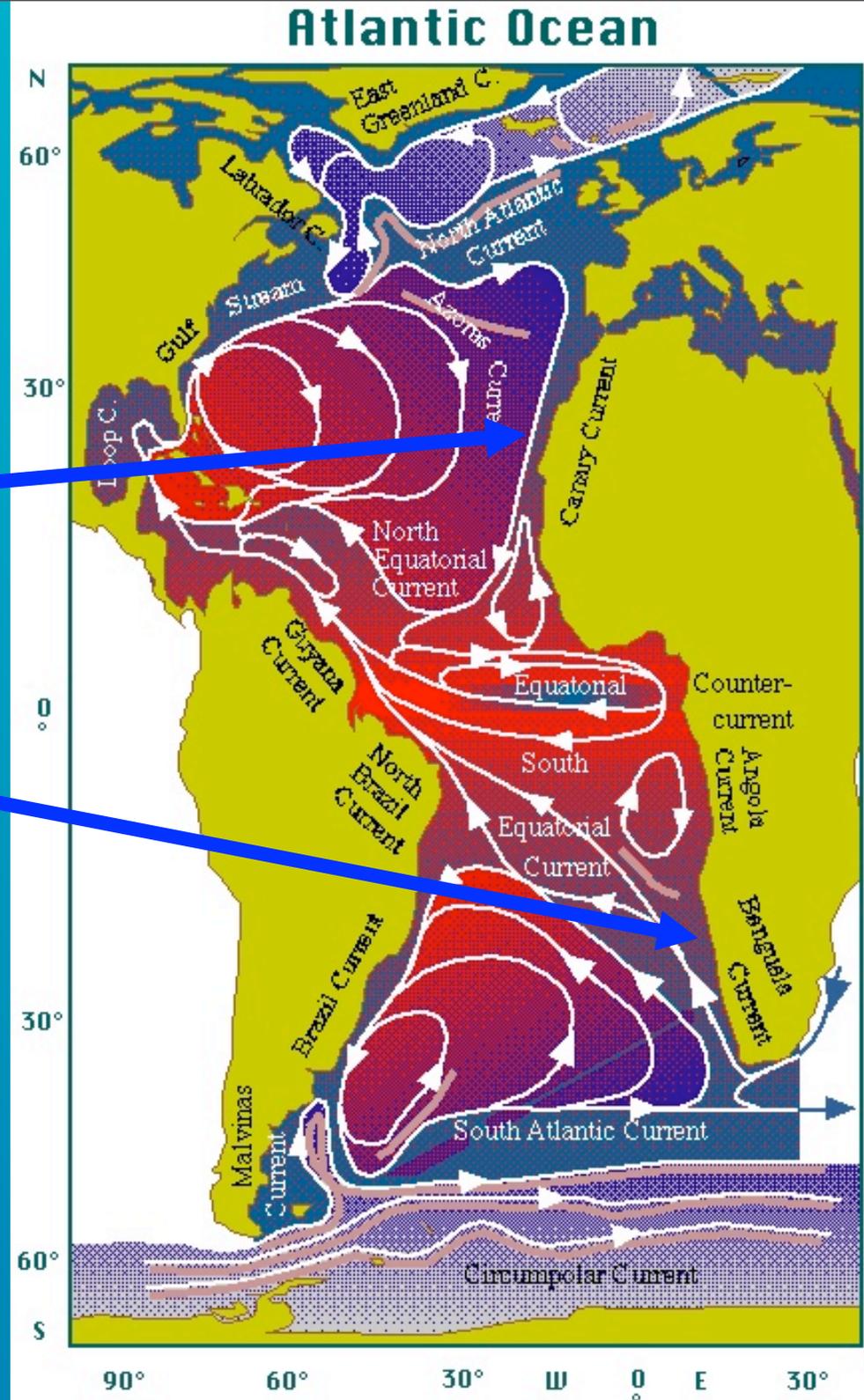
Atlantico, corrente do Brasil



# Correntes de leste

Corrente das Canarias (N. Atlantic)

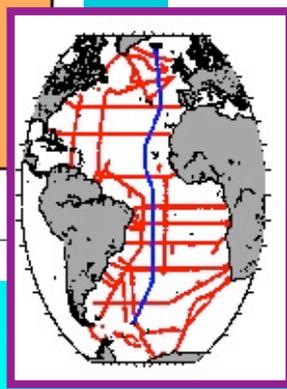
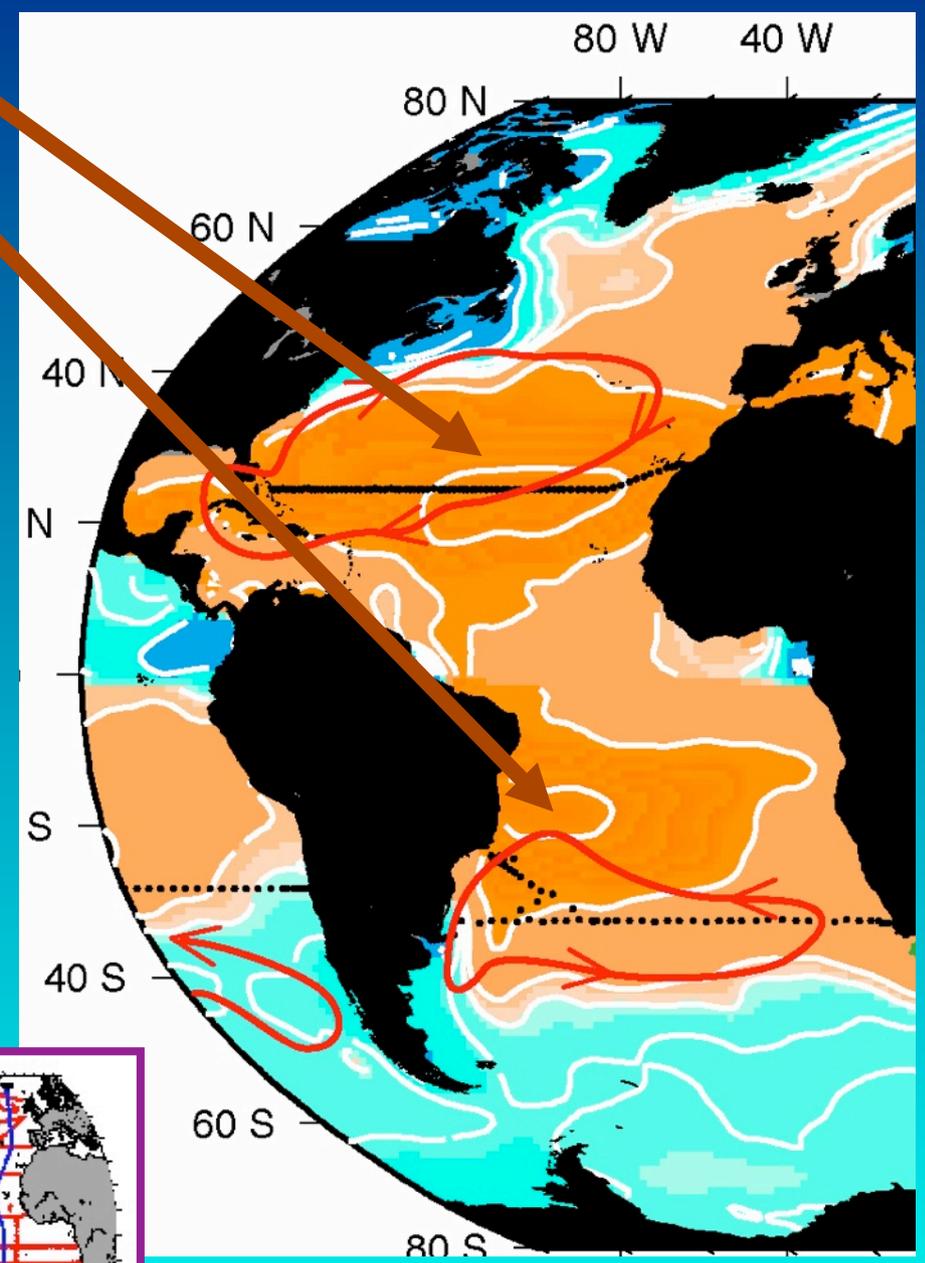
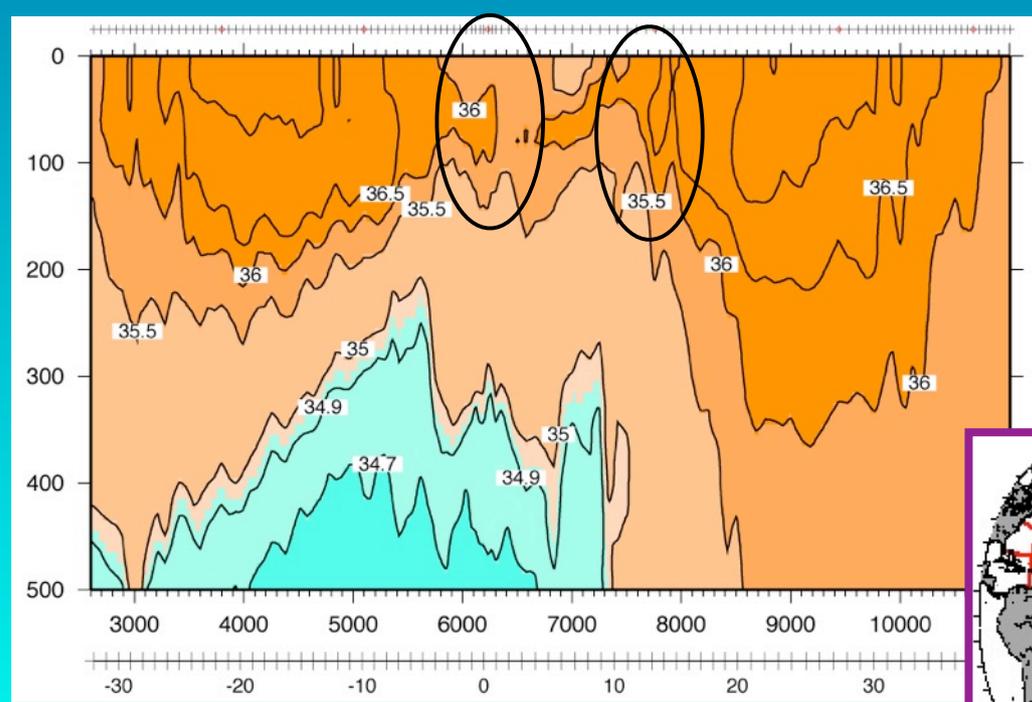
Corrente de Benguela (S. Atlantic)



Salinidade de superfície é máxima

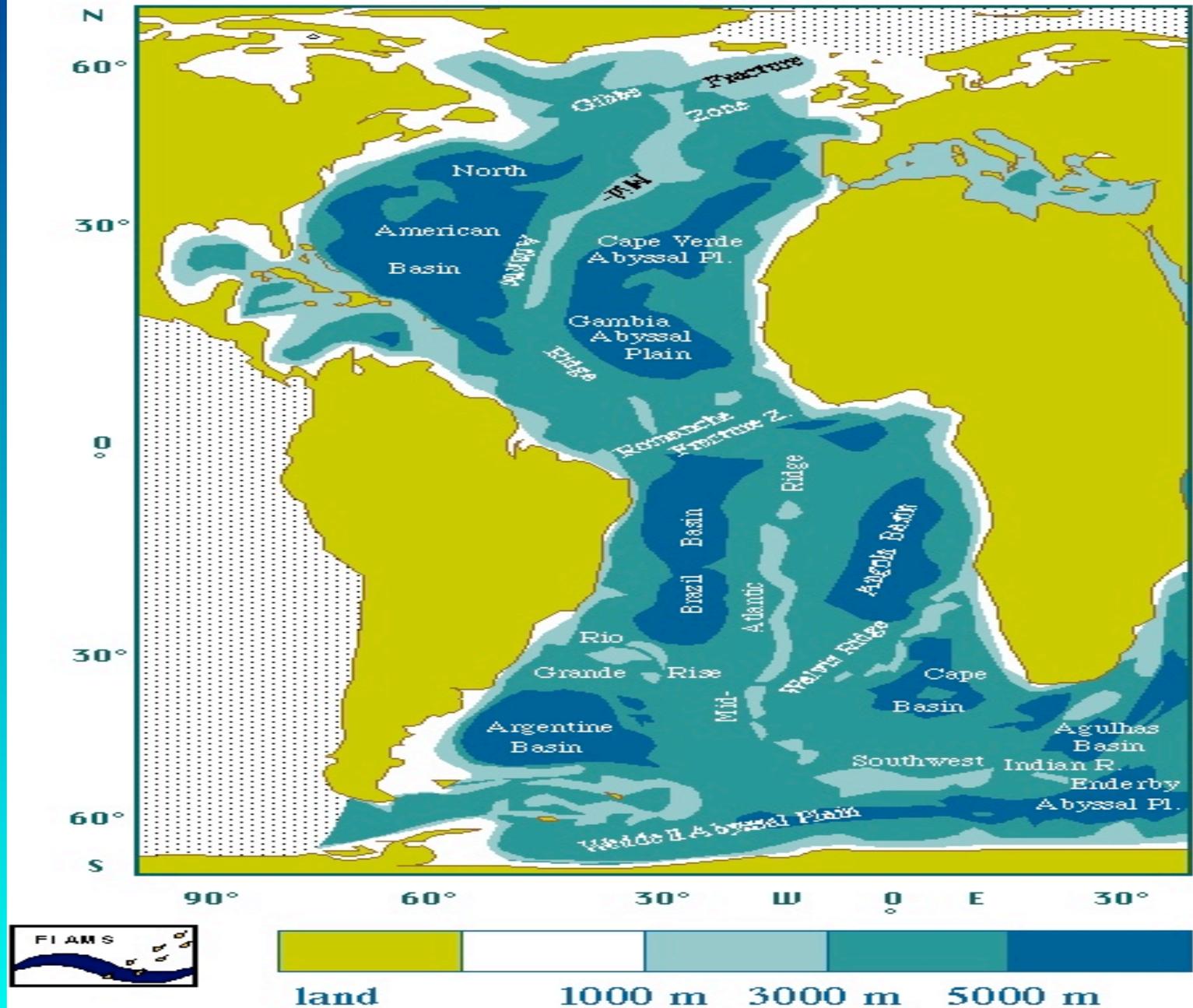
# Água subtropical

Subducção de águas muito salinas criando um máximo de salinidade abaixo da superfície.

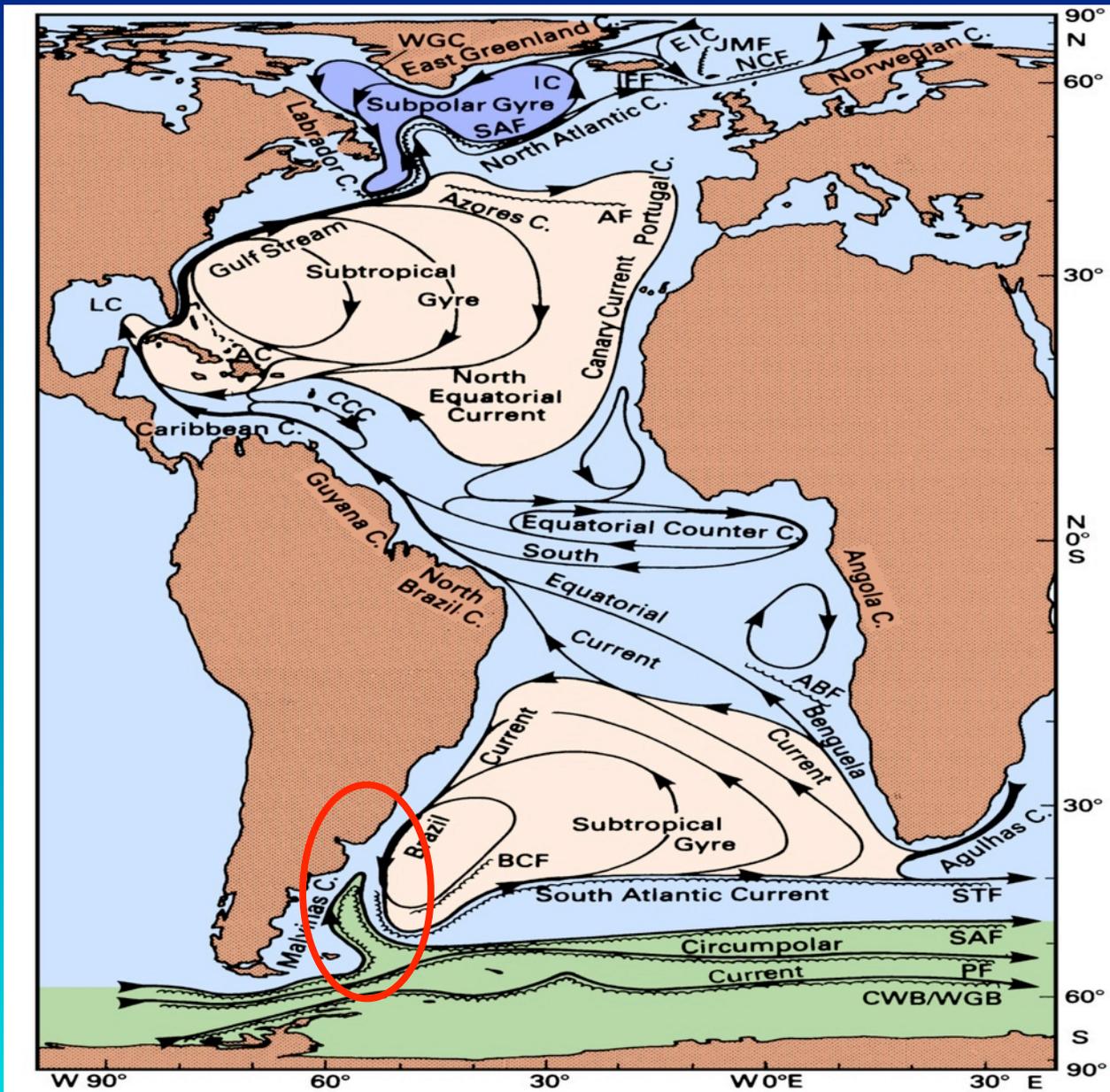


# O Oceano Atlântico Sul

# Atlantic Ocean



Fonte: Tomczak and Godfrey, 1994



## Correntes de superfície do Oceano Atlântico

Abreviações usadas para correntes:

EIC (Leste da Islândia)

IC (Irminger)

Oeste da Groelândia (WGC)

Loop/Giro (LC)

Antilhas (AC)

Contra corrente do Caribe (CCC)

Abreviações usadas para frentes:

Frente Jan Mayen (JMF)

Frente da Corrente da Noruega (NCF)

Frente da Islândia-Faroe (IFF)

Frente Subártica (SAF)

Frente de Açores (AF)

Frente de Angola-Benguela (ABF)

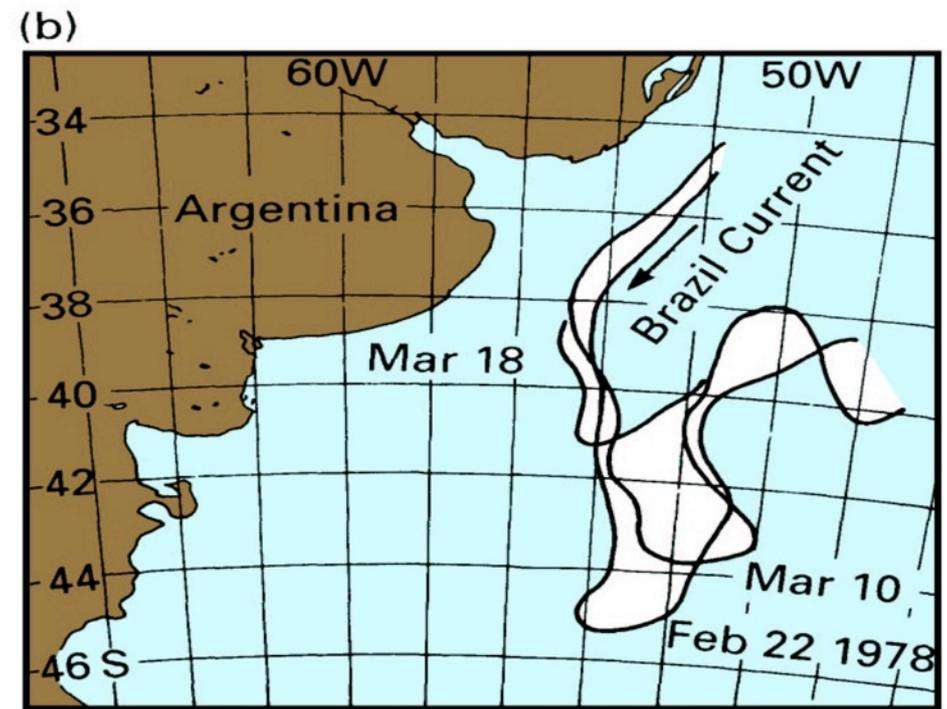
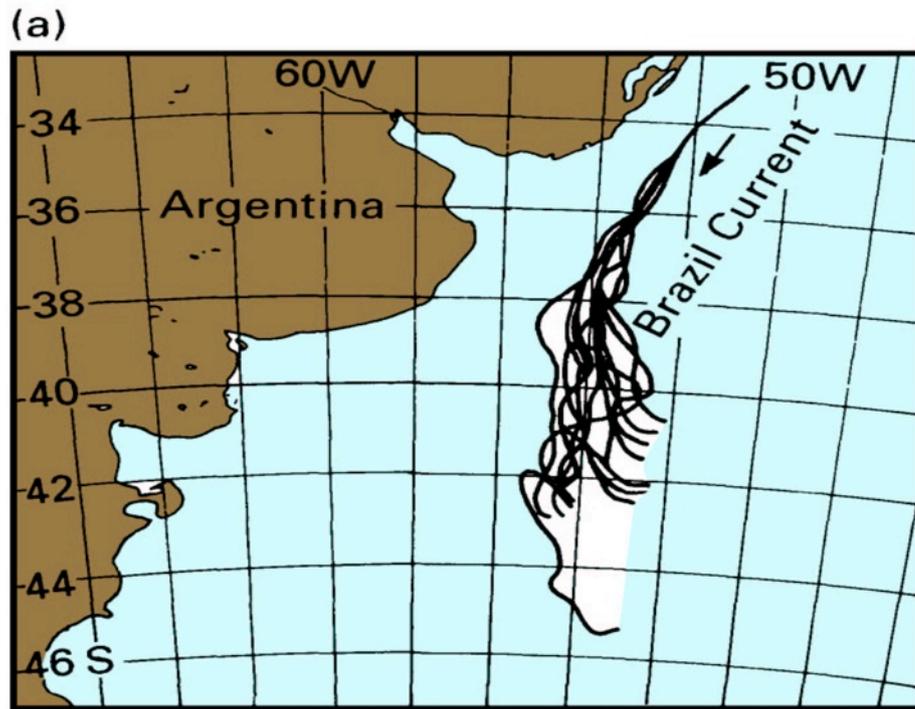
Frente da Corrente do Brasil (BCF)

Frente SubTropical (STF)

Frente Polar (PF)

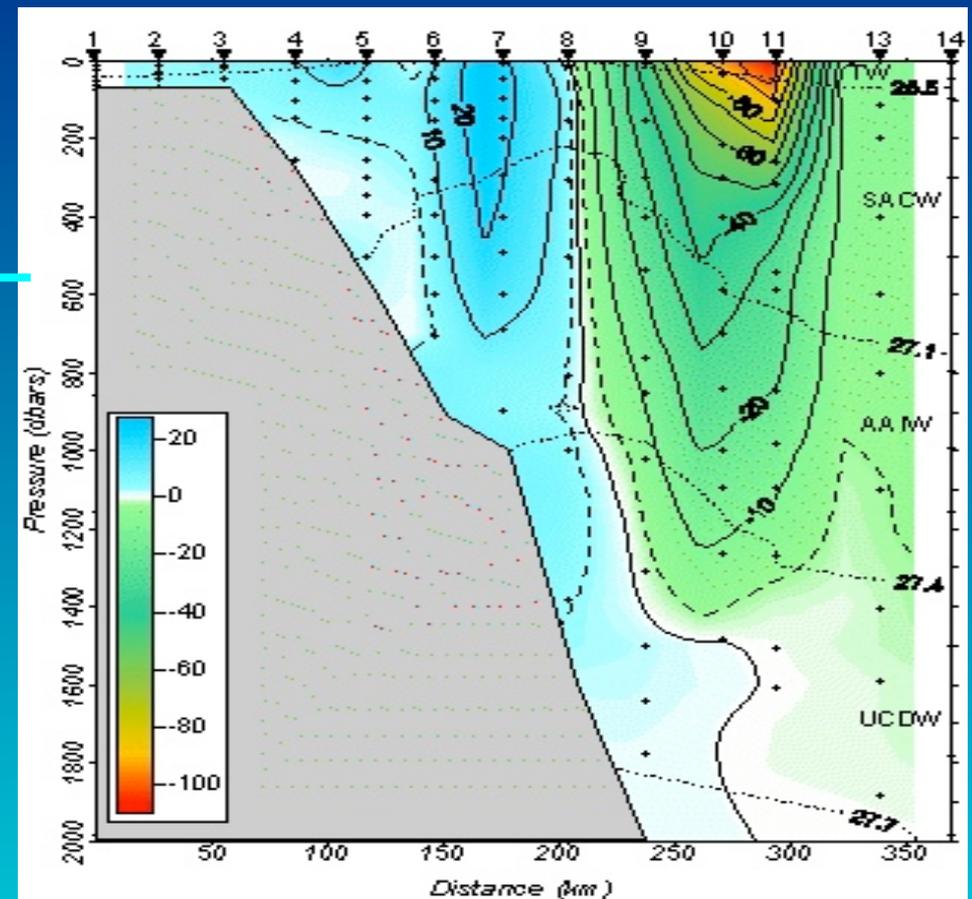
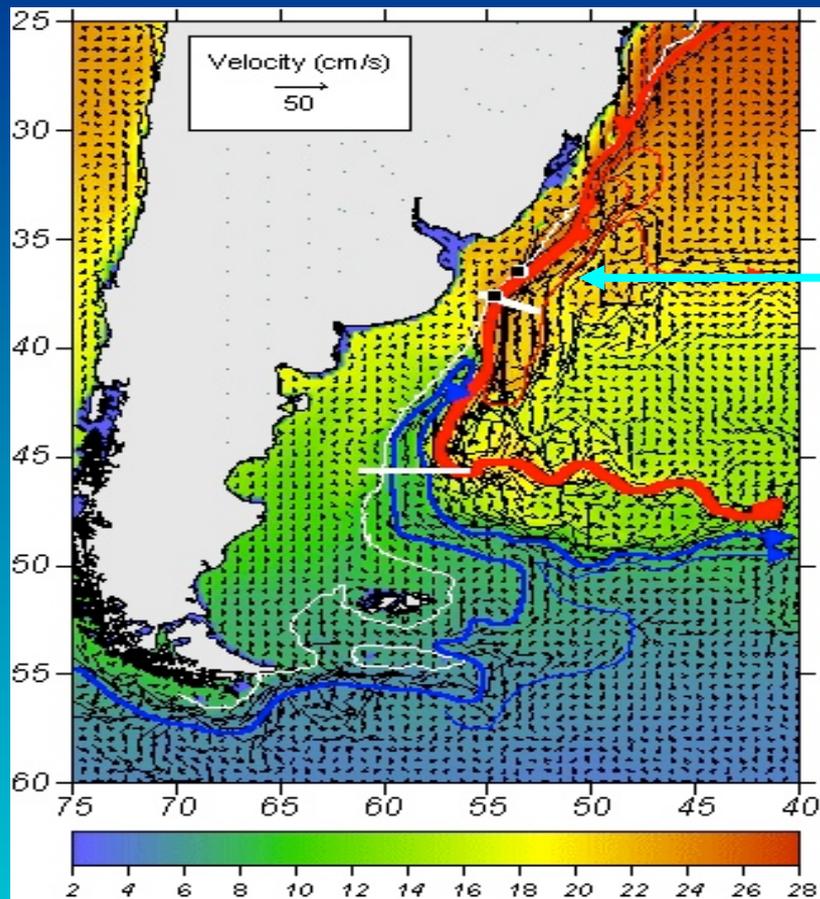
Borda do Giro de Weddell (CWB/WGB)

Fonte: Tomczak and Godfrey, 1994



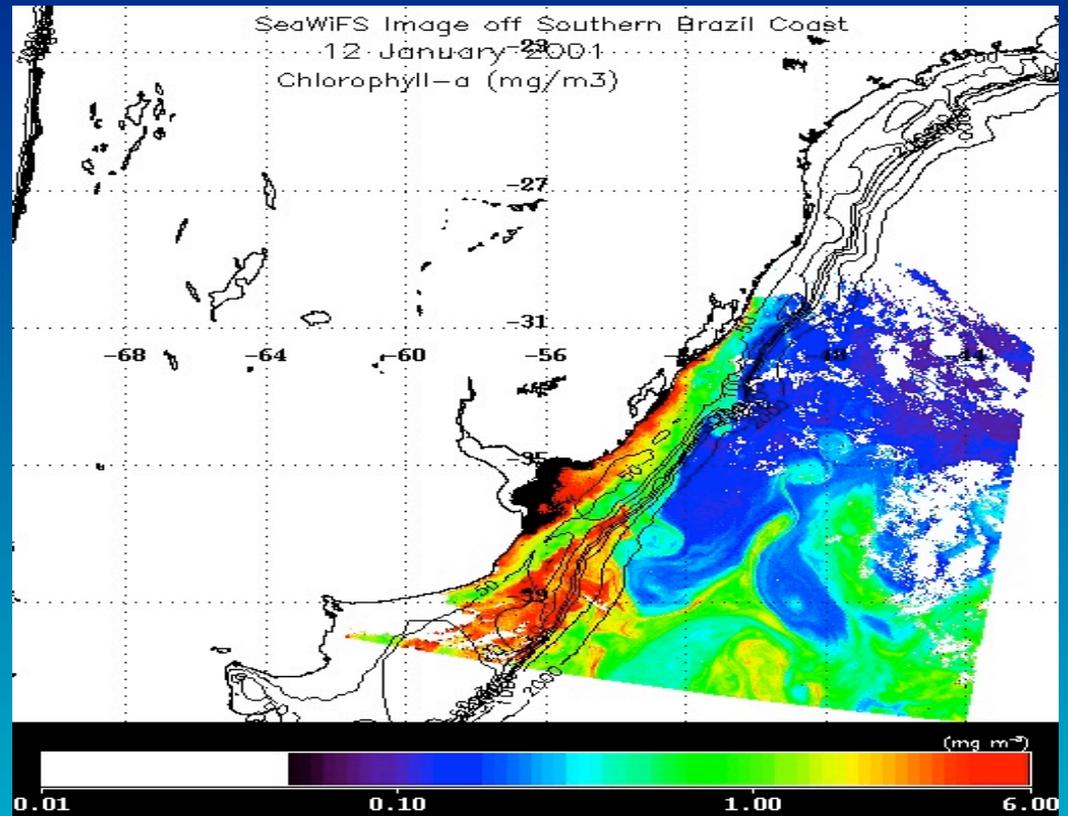
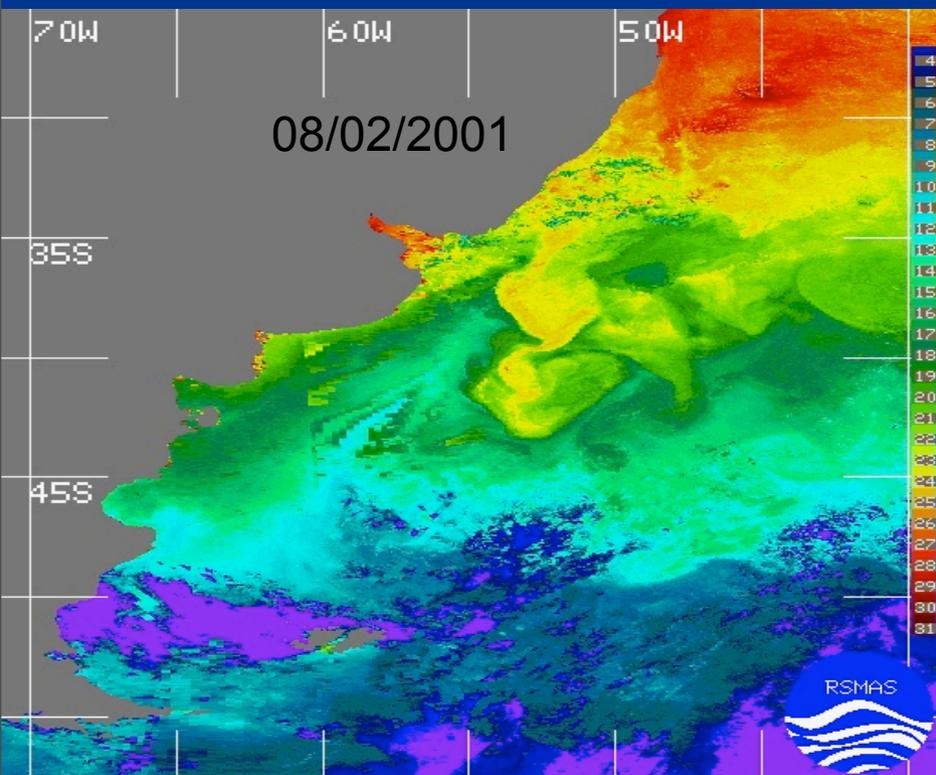
**(a) A separação da corrente do Brasil da costa Sul Americana indicada pelas TSM entre Setembro 1975-Abril 1976; (b) A migração da posição de separação da CB entre fevereiro e março de 1978. Durante este último período dois vórtices foram formados (Legeckis e Gordon, 1982).**

Fonte: Tomczak and Godfrey, 1994



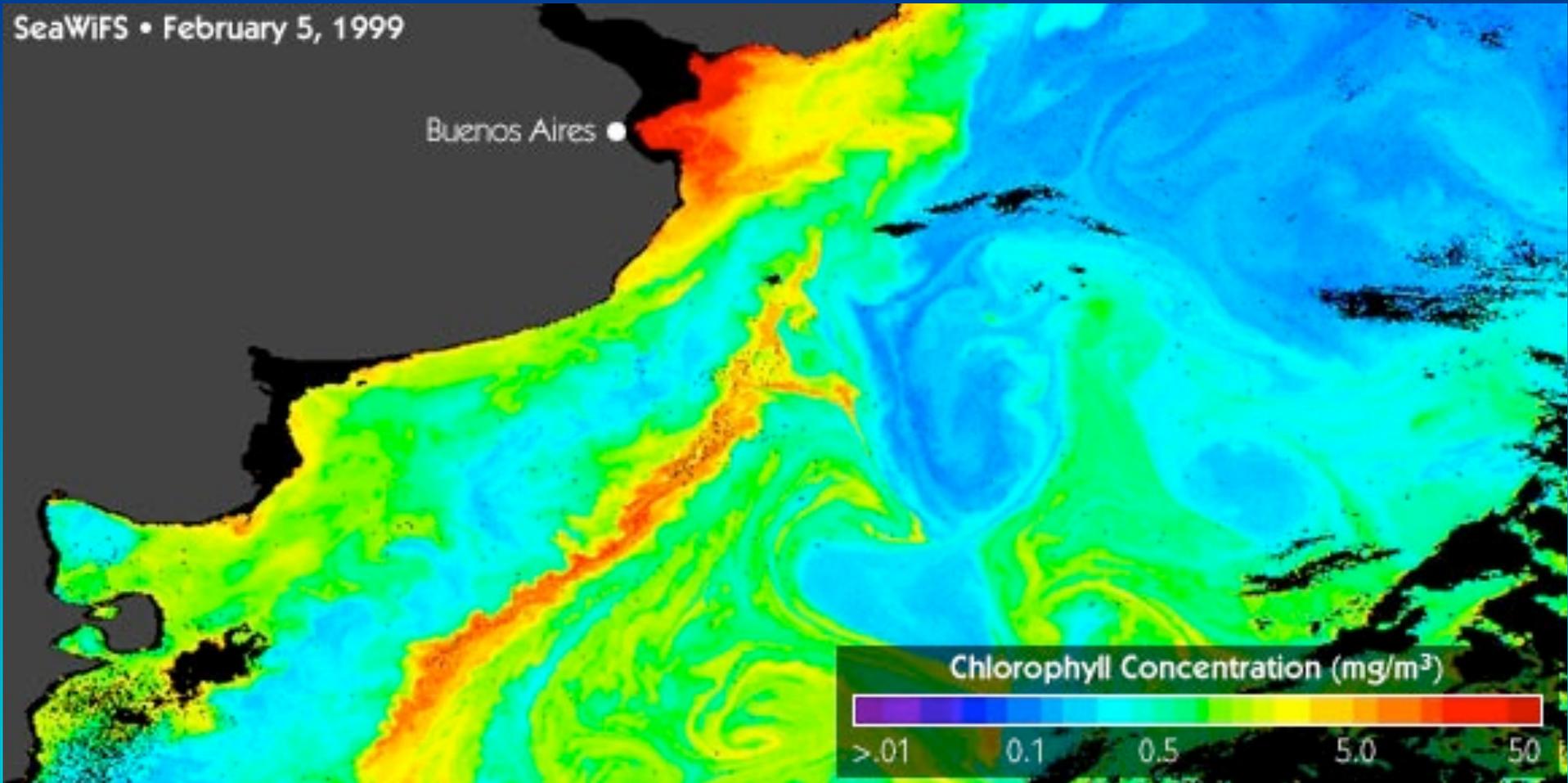
**Circulação simulada por modelo numérico na região SW do Atlântico Sul (esquerda) e uma seção hidrográfica mostrando a interface CB/CM (direita).**

Fonte: Alberto Piola et al, 2001



**Variabilidade de mesoescala na confluência Brasil/Malvinas observada a partir de dados de TSM (AVHRR/NOAA, a esquerda) e de cor do oceano (clorofila-a pelo SeaWiFS, a direita).**

Fonte: Garcia, Sarma e Mata, em prepar.



**A Corrente das Malvinas vista através da sua alta concentração de Clorofila-a e contraste com a corrente do Brasil. Imagem capturada pelo sensor SeaWiFS a bordo do satélite SEASTAR.**

Fonte: <http://daac.gsfc.nasa.gov>

# Circulação do Atlântico Sul

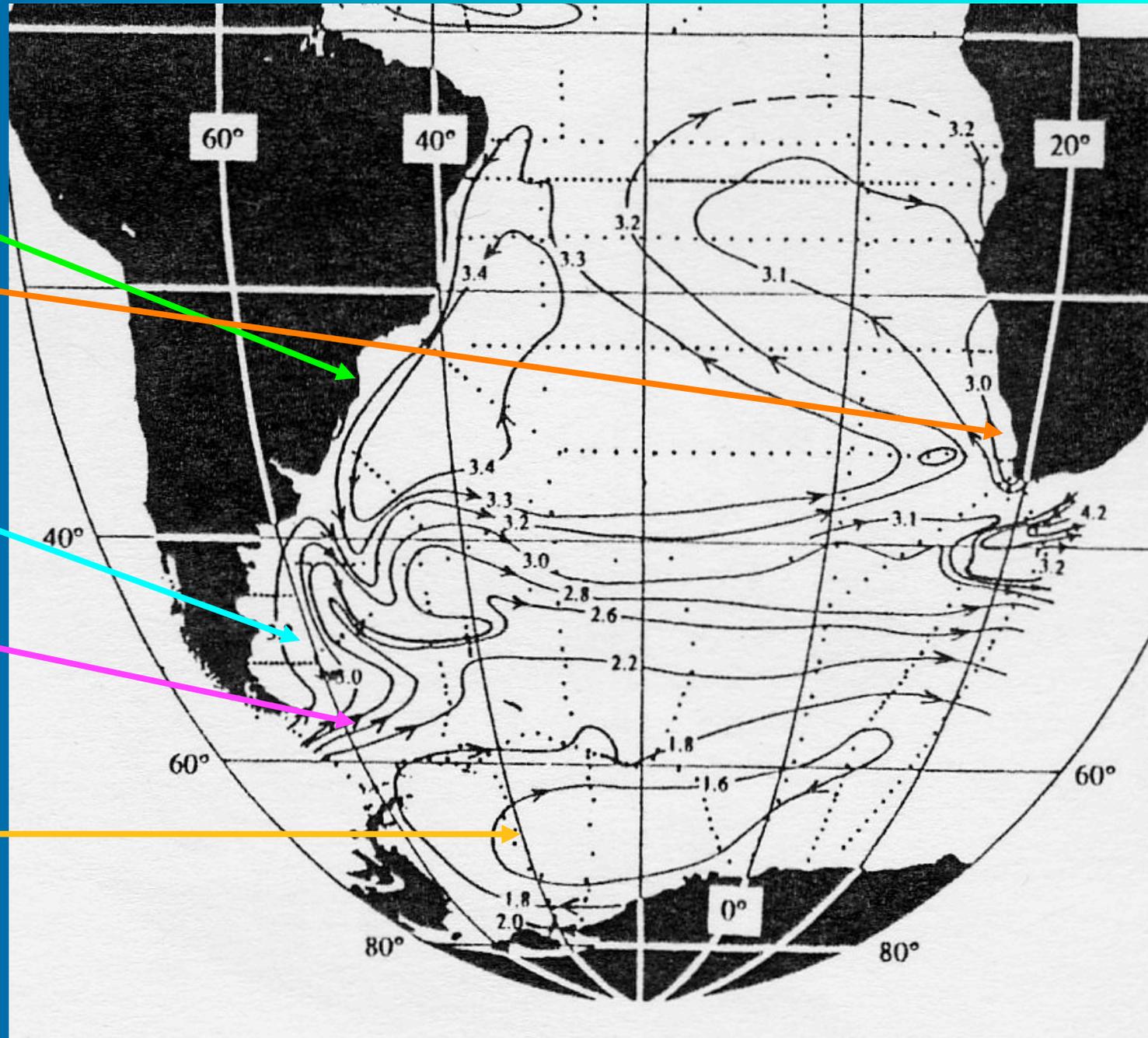
Corrente do Brasil

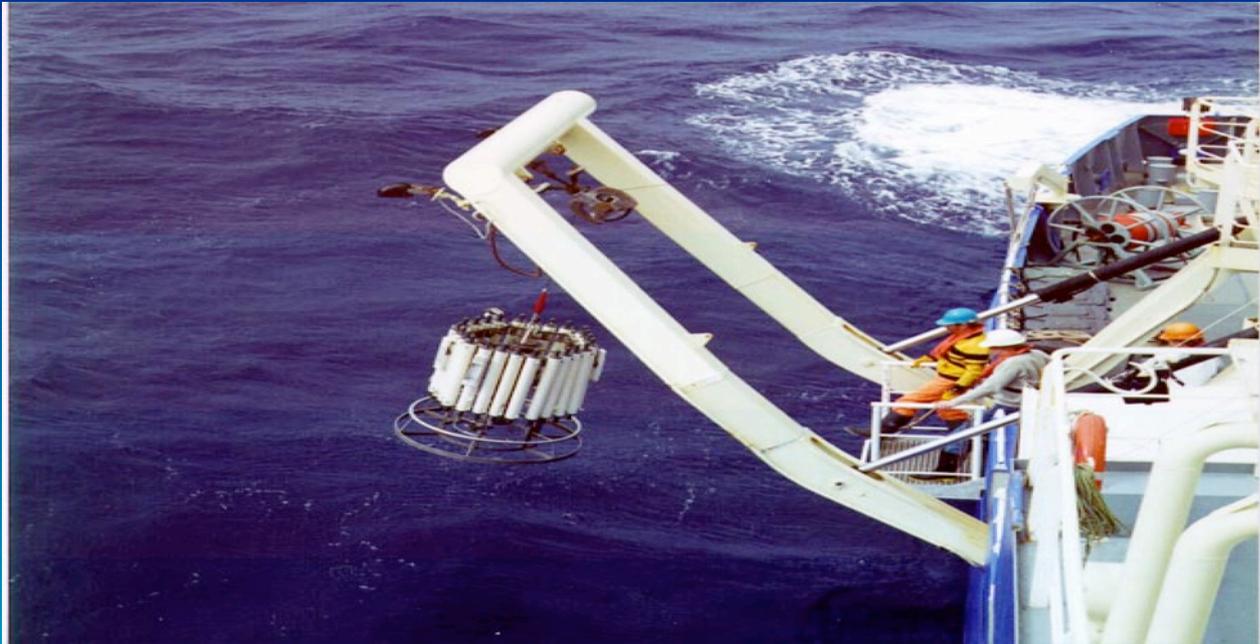
Corrente de Benguela

Corrente das Malvinas

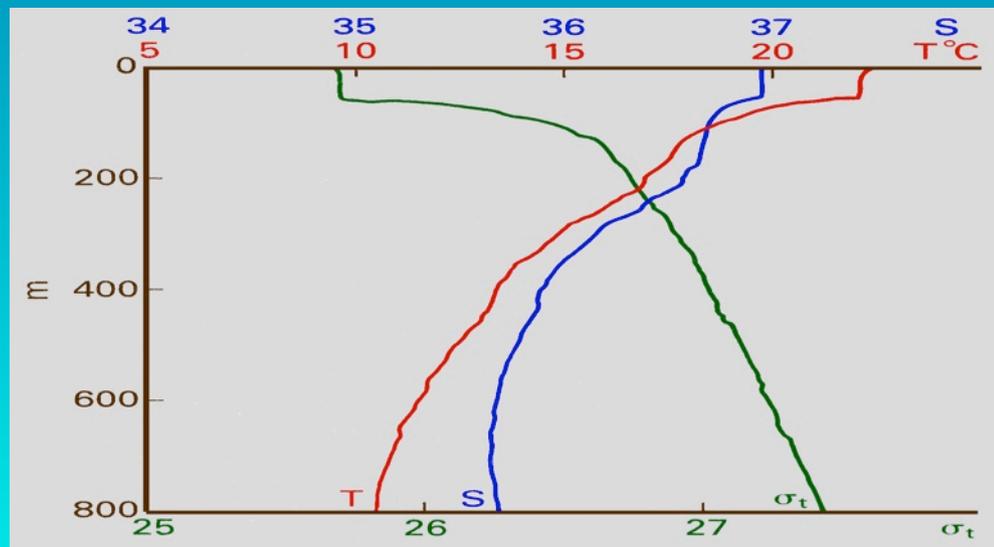
CCA

Giro do Mar de Weddell

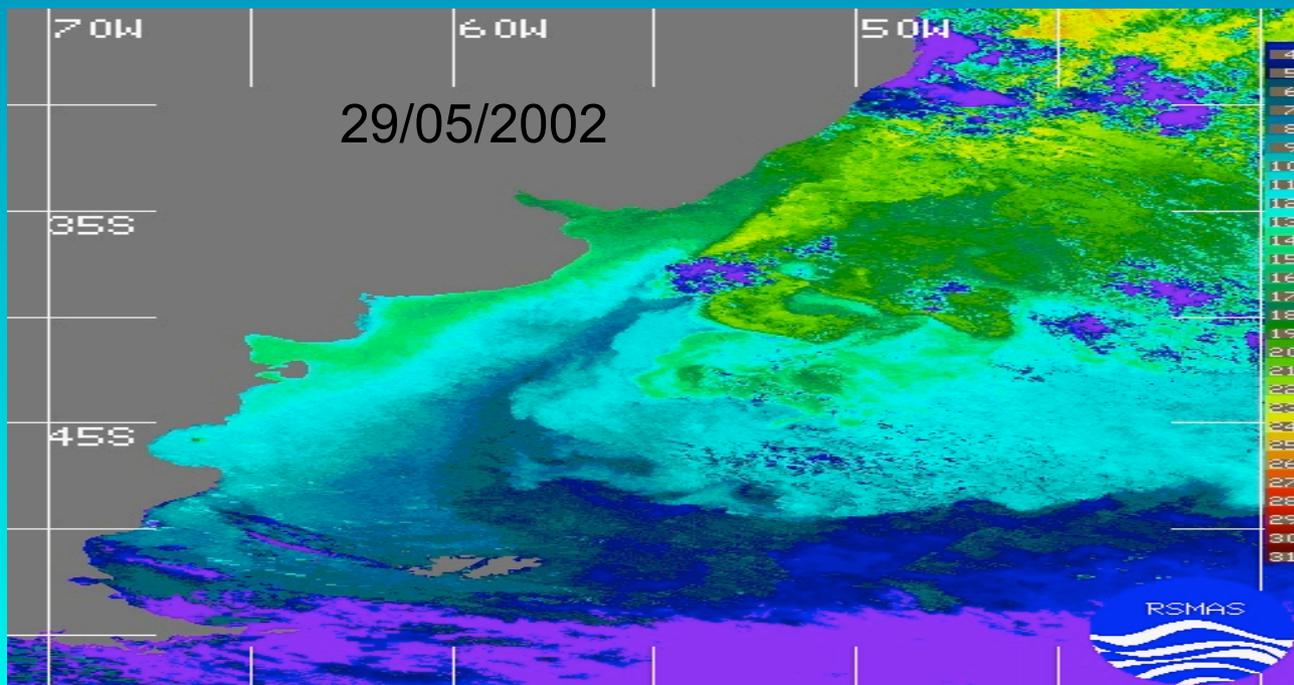
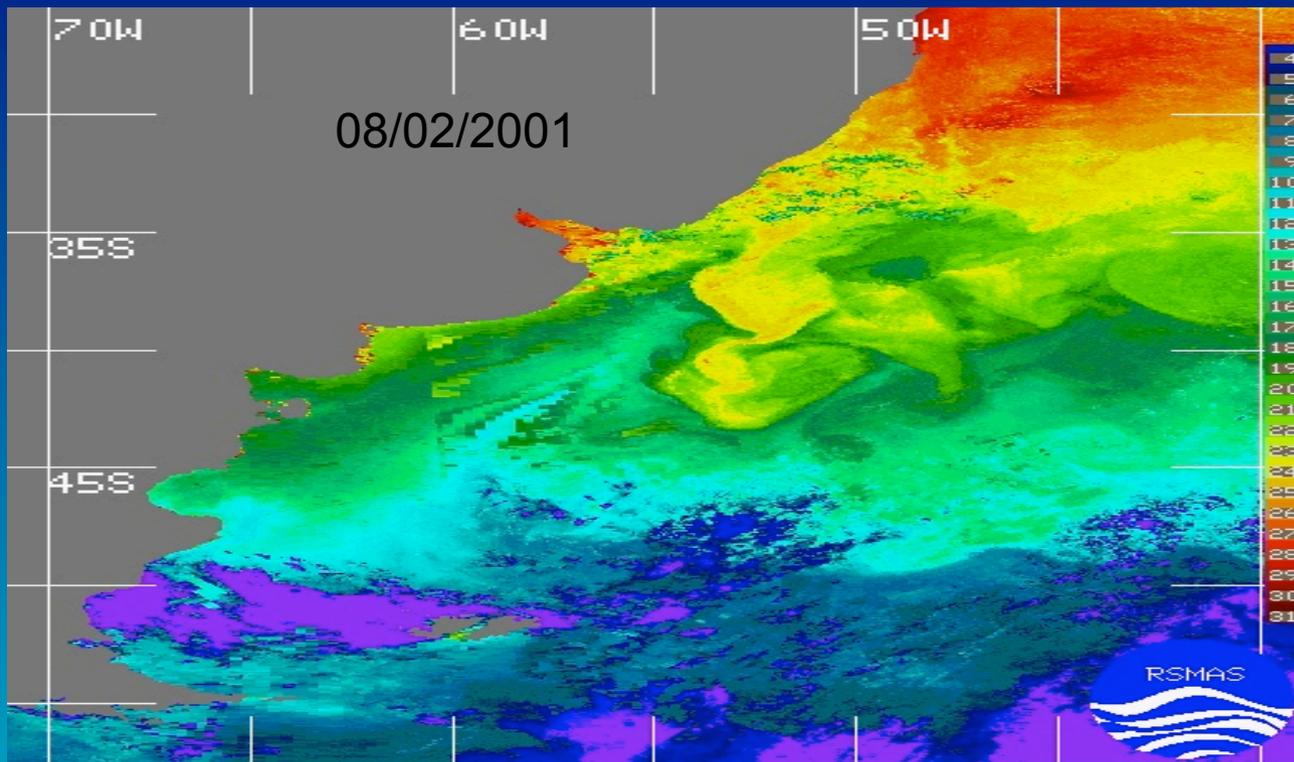




## A medida hidrografica : Roseta + CTD.



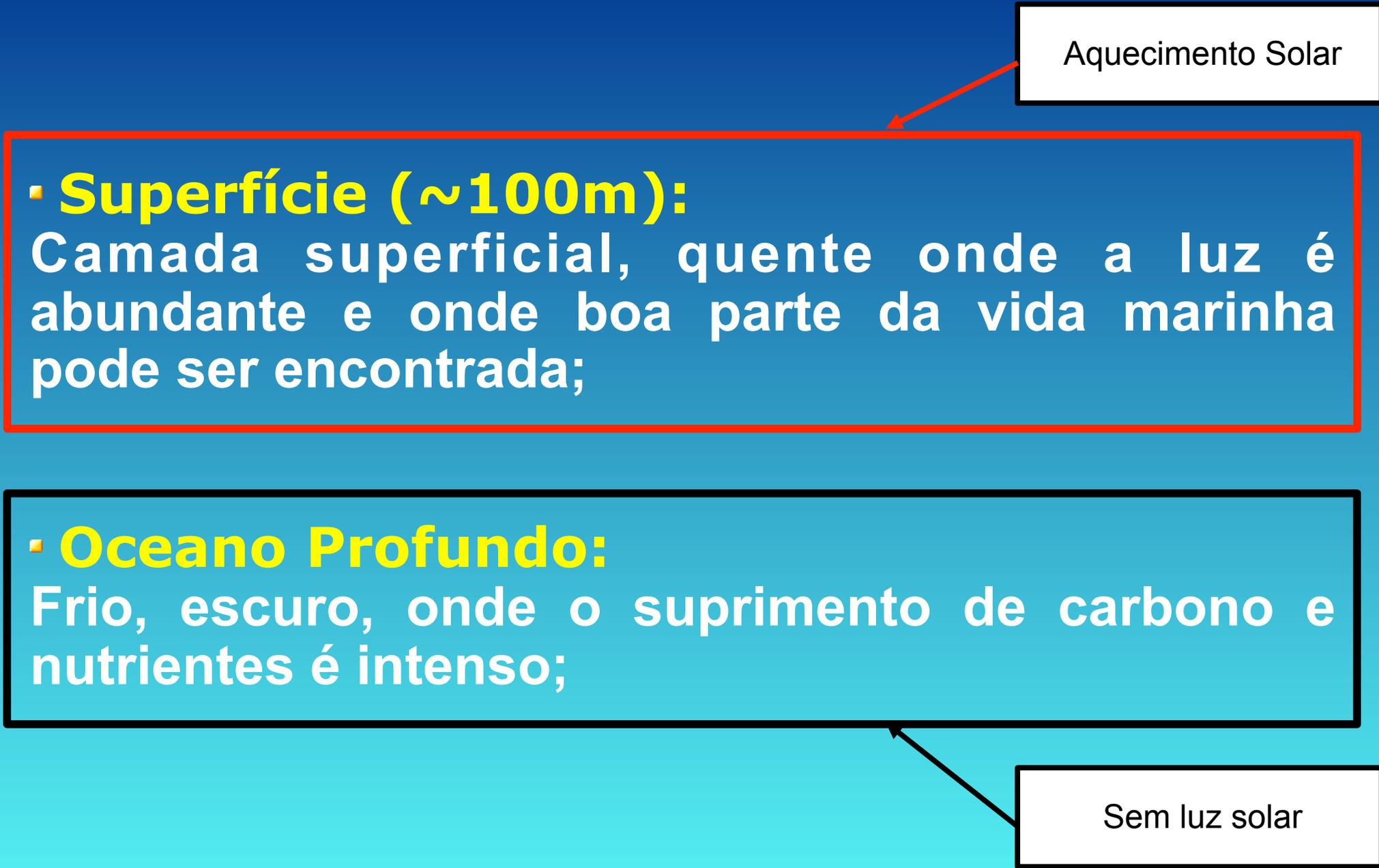
O perfil de T/S/Sigma-t resultante



# Diagrama T/S e Análise de Massas de Água

# Estruturas Básicas do Oceano

Aquecimento Solar



## ▪ **Superfície (~100m):**

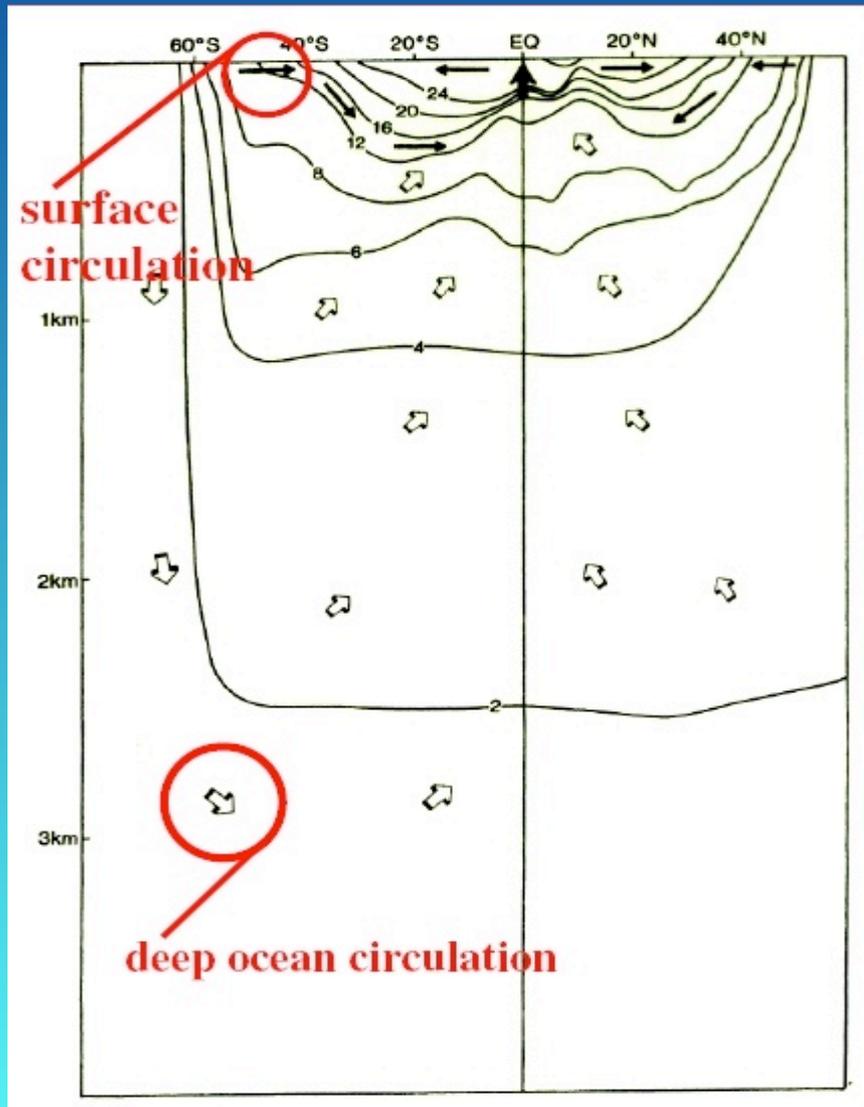
Camada superficial, quente onde a luz é abundante e onde boa parte da vida marinha pode ser encontrada;

## ▪ **Oceano Profundo:**

Frio, escuro, onde o suprimento de carbono e nutrientes é intenso;

Sem luz solar

# Sistema Geral de Circulação Oceânica



superfície

Oceano Profundo

# O Estado dos Oceanos

- **Temperatura:**  
quente na superfície e frio no fundo.
- **Salinidade:**  
variações determinadas pela evaporação,  
precipitação formação e derretimento de gelo  
e descargas de rios.
- **Densidade:**  
baixa na superfície e alta no fundo.

# Temperatura Potencial

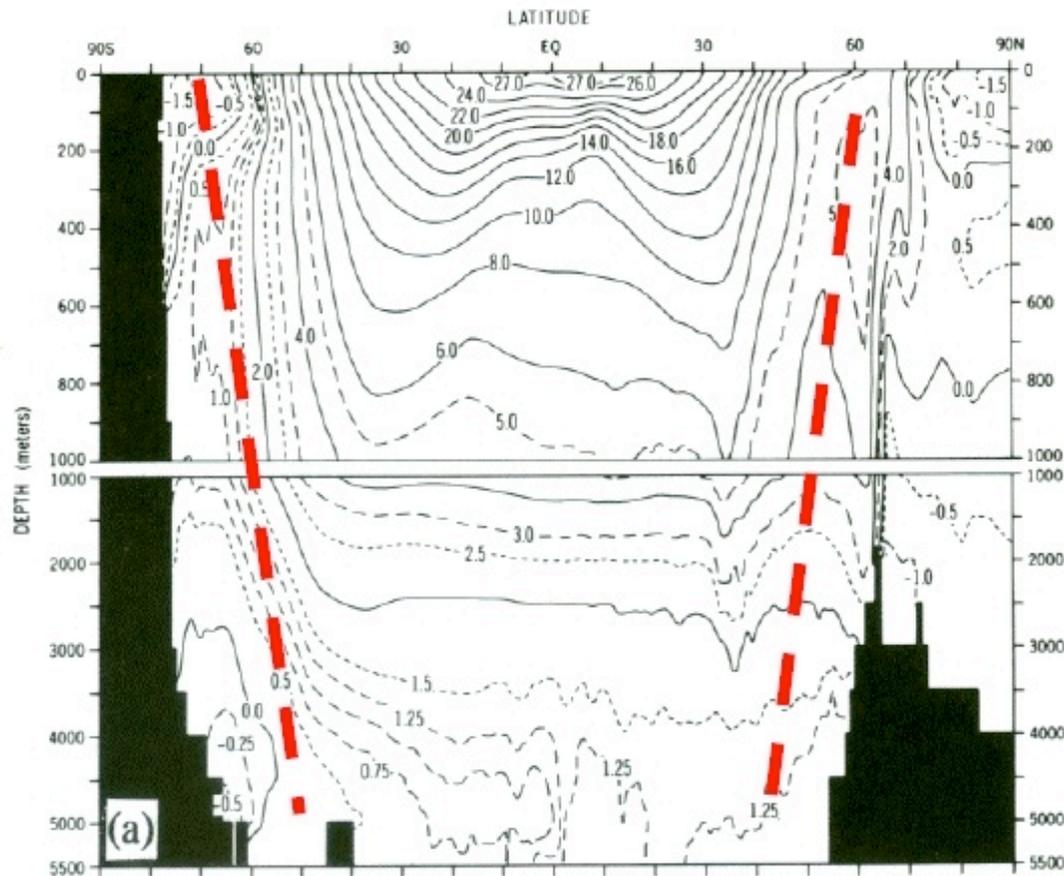


Fig. 7.1 Annual-mean zonal average for the global ocean of (a) potential temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), and (b) salinity [ $\text{‰}$  ( $\text{‰} = \text{parts per thousand}$ )], and (c) potential density ( $\rho_t - 1000, \text{kg m}^{-3}$ ). [From Levitus (1982).]

- A Temperatura Potencial é muito próxima da temperatura no oceano;
- A temperatura média de todos os oceanos é de  $3,6^{\circ}\text{C}$ ;

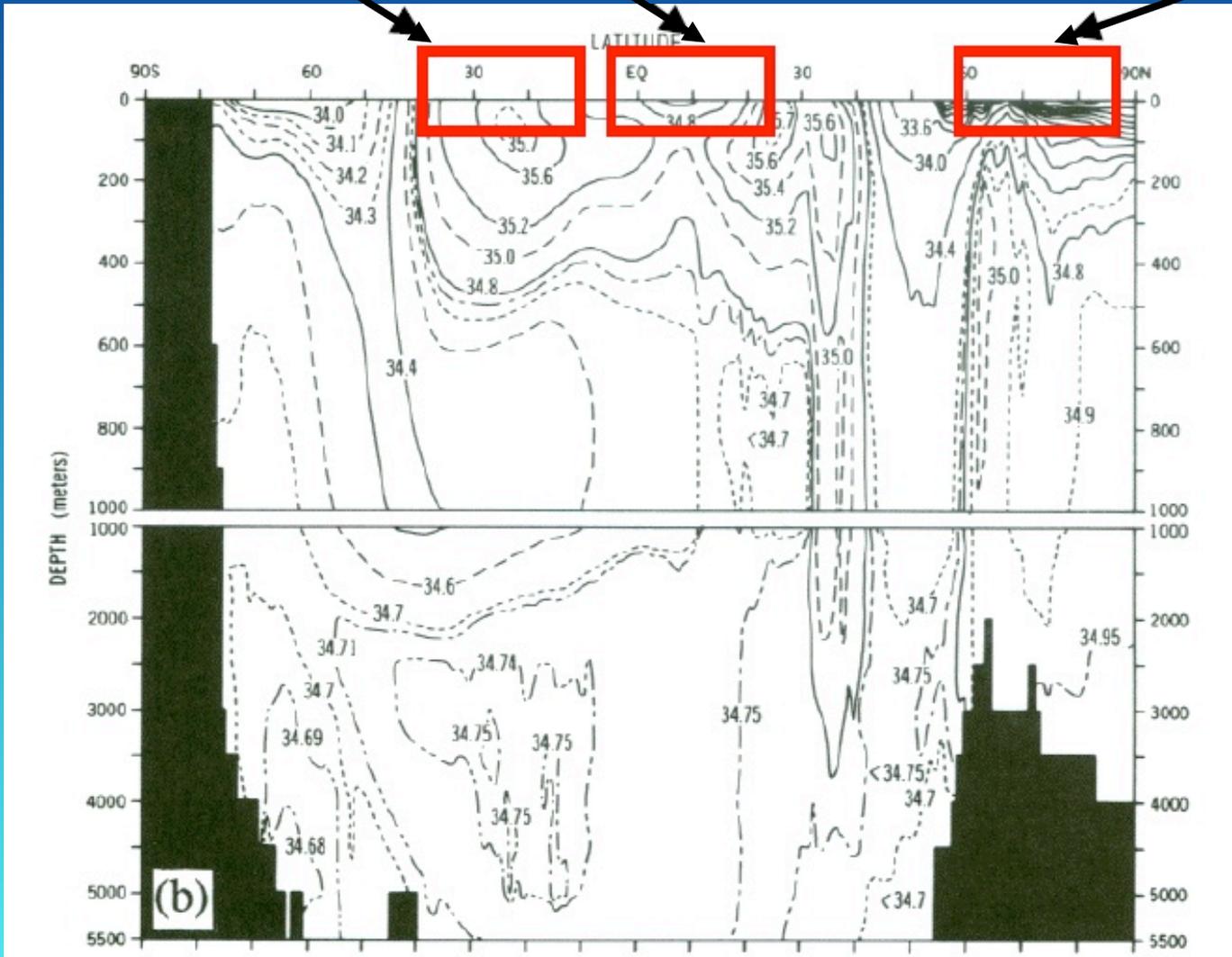
(Retirado de “*Global Physical Climatology*”)

# Salinidade

Formação e Derretimento de Gelo Marinho

$E > P$

$E < P$



- Salinidade é a massa de sal dissolvido em um quilograma de água do mar.

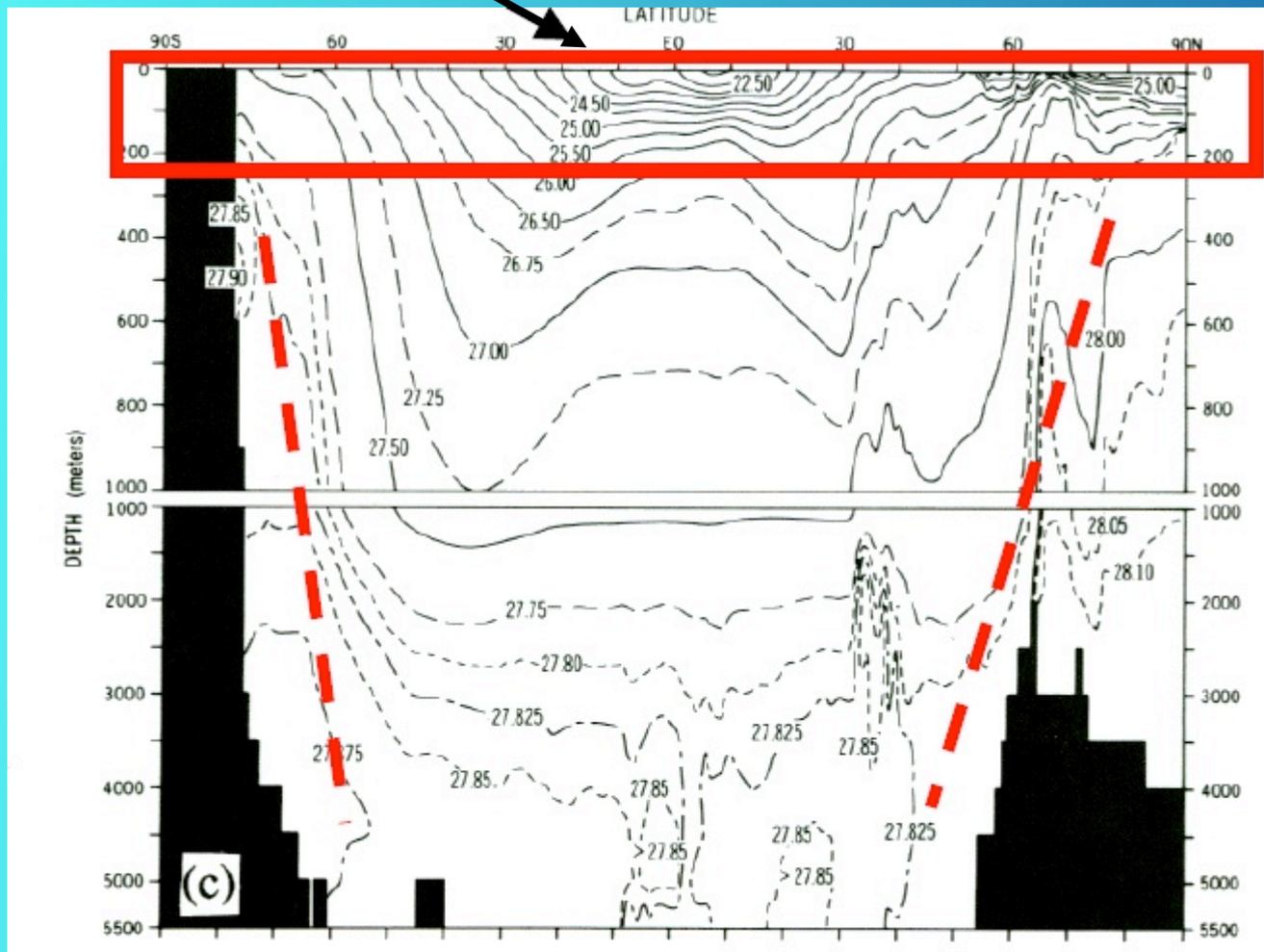
- Unidade: ‰ (partes por mil).

- A salinidade média dos oceanos é 34,7‰.

- Os quatro maiores fatores que afetam a salinidade são: evaporação, precipitação, aporte fluvial e derretimento / formação de gelo marinho.

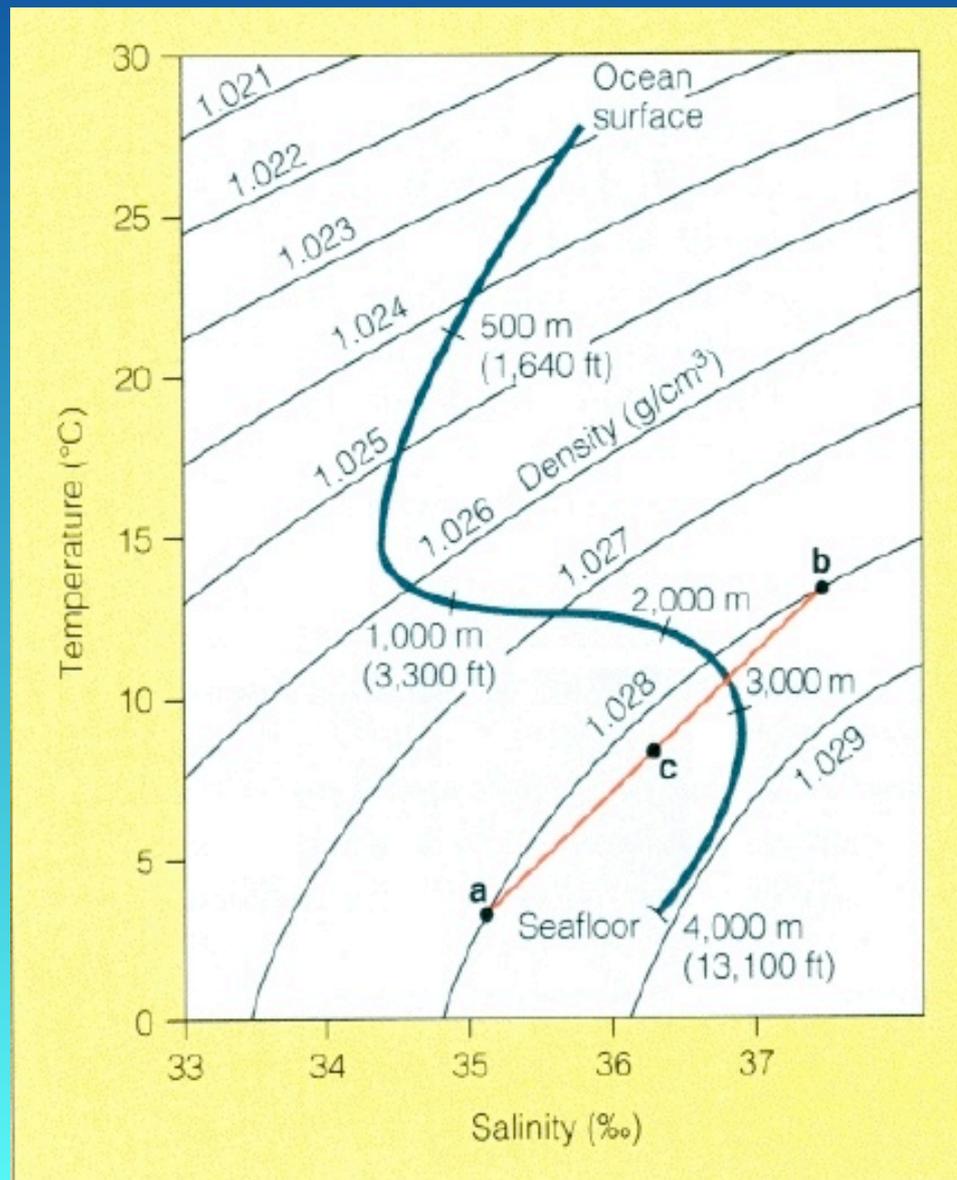
# Densidade

Menor densidade devido à absorção da radiação solar próximo a superfície

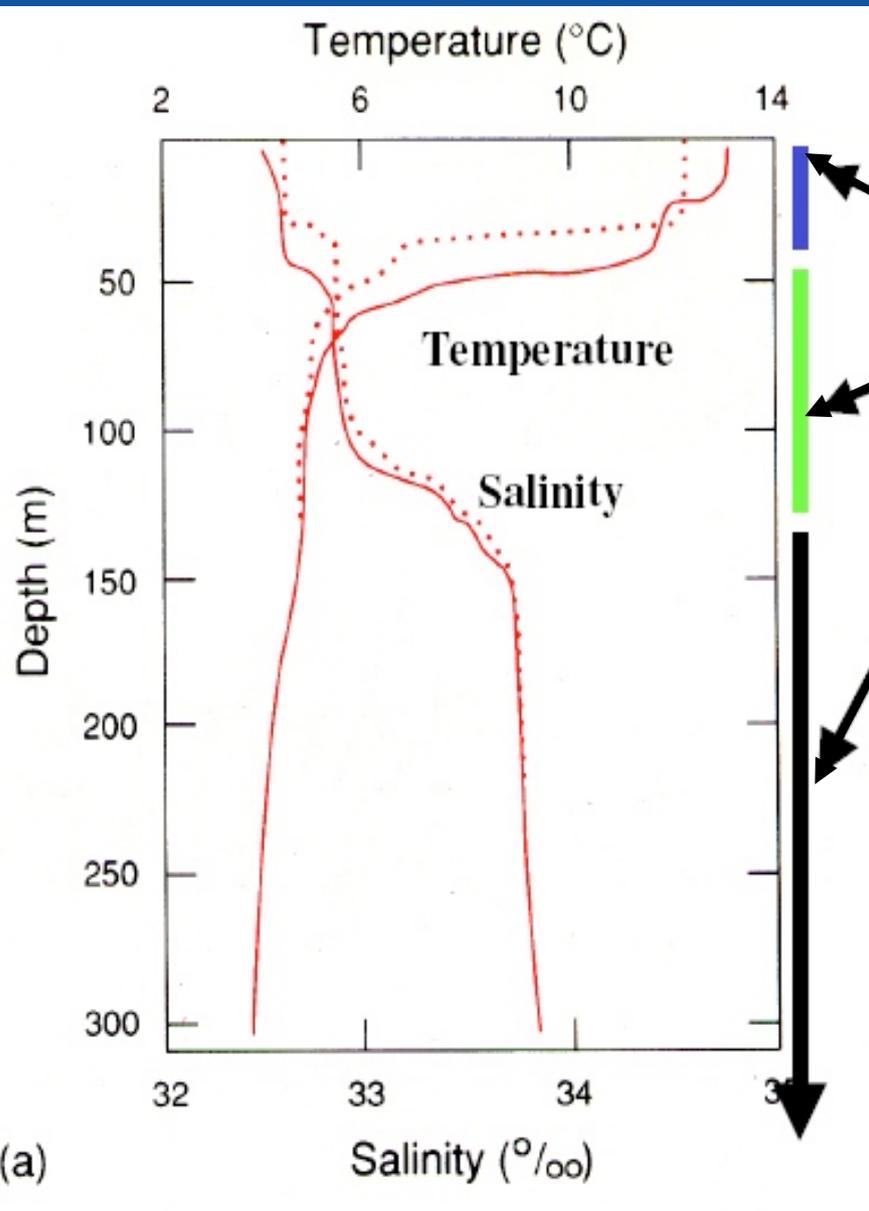


- A água do mar é quase incompressível, portanto a densidade da água do mar é sempre próxima a  $1000\text{kg/m}^3$ .
- Densidade Potencial é a densidade que a água do mar de determinada salinidade e temperatura teria a pressão zero (superfície).
- Densidade Potencial = densidade -  $1000\text{kg/m}^3$ .

# Densidade, Temperatura e Salinidade



# Estrutura Vertical dos Oceanos



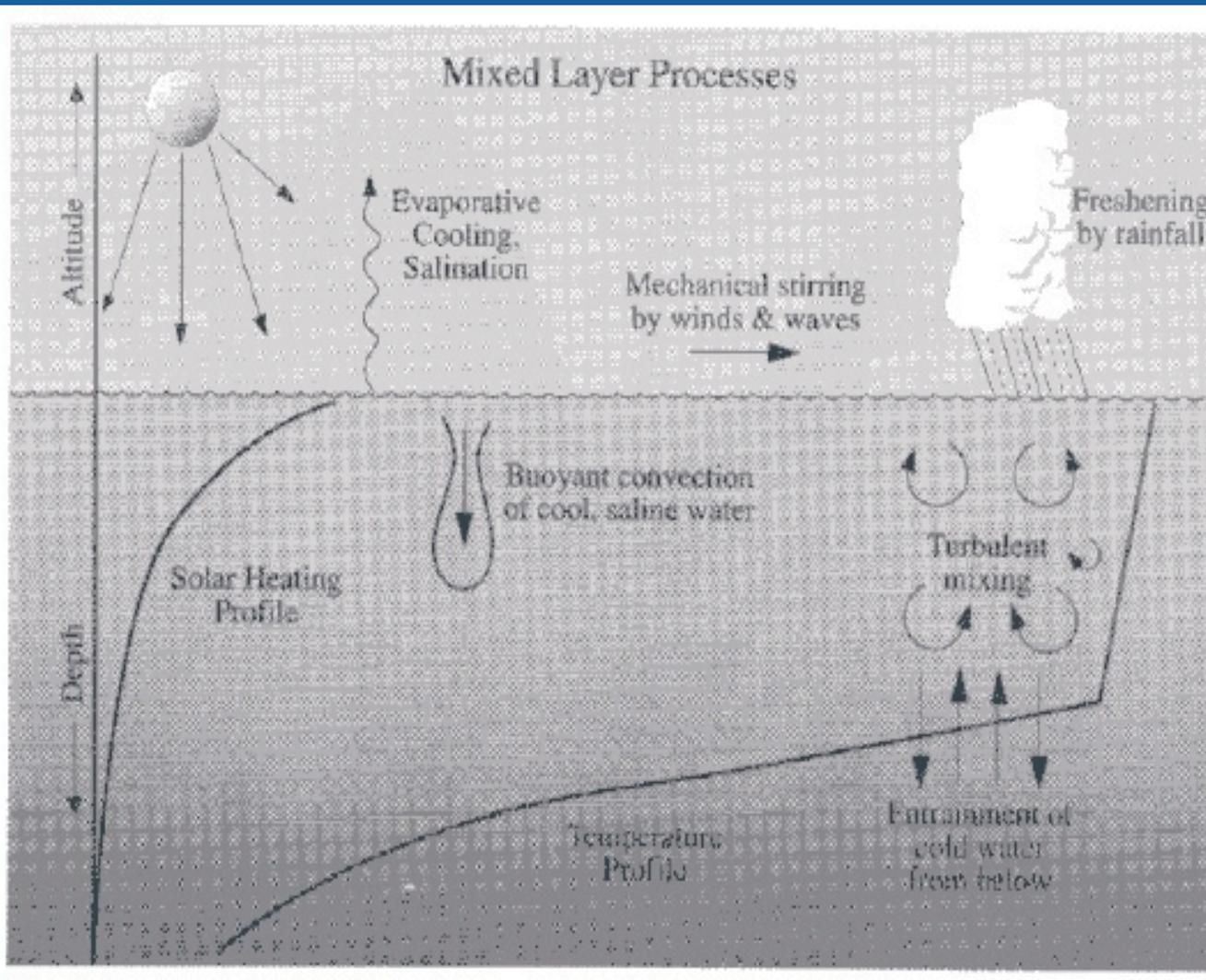
Camada de Mistura: T e S bem misturados pelo vento.

Termoclina / Haloclina: Elevado gradiente de T e S.

Oceano Profundo: T e S independentem da profundidade.

Frio  
Salino  
Rico em Nutrientes

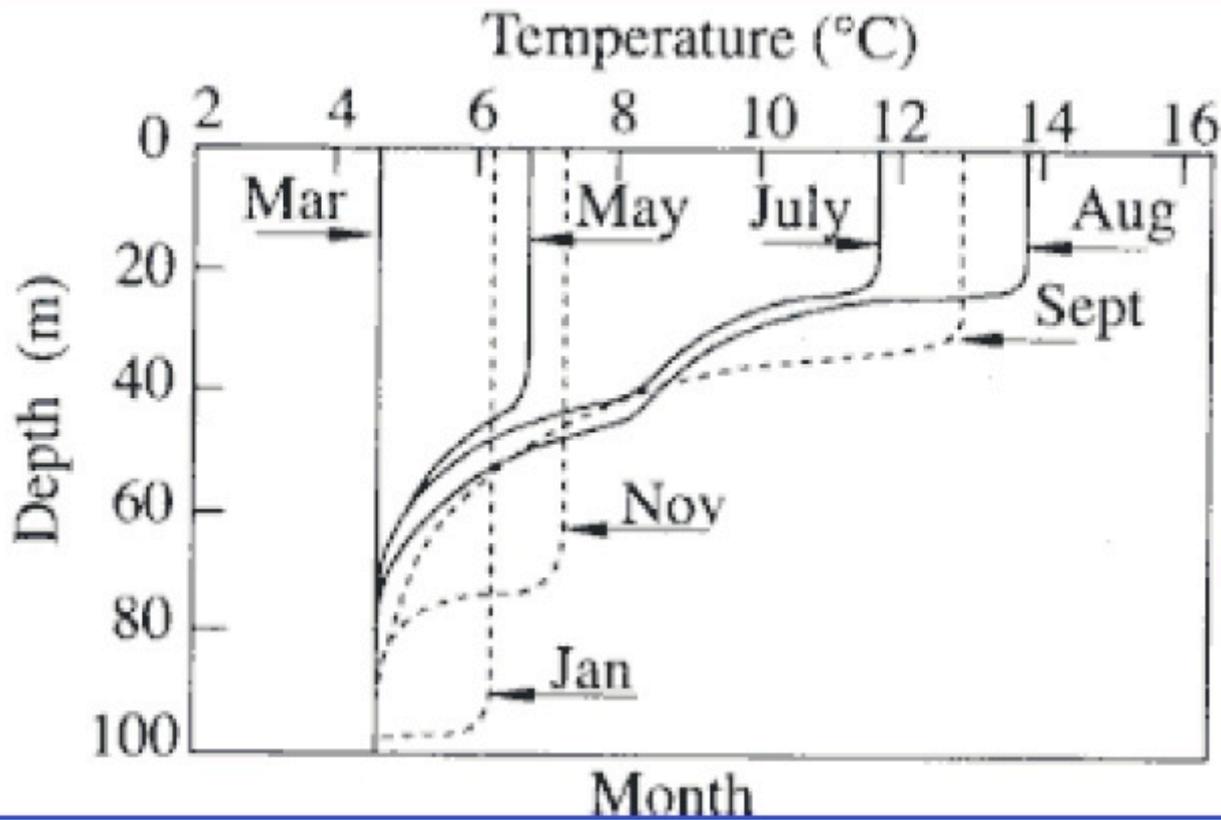
# Processos da Camada de Mistura



(retirado de *Global Physical Climatology*)

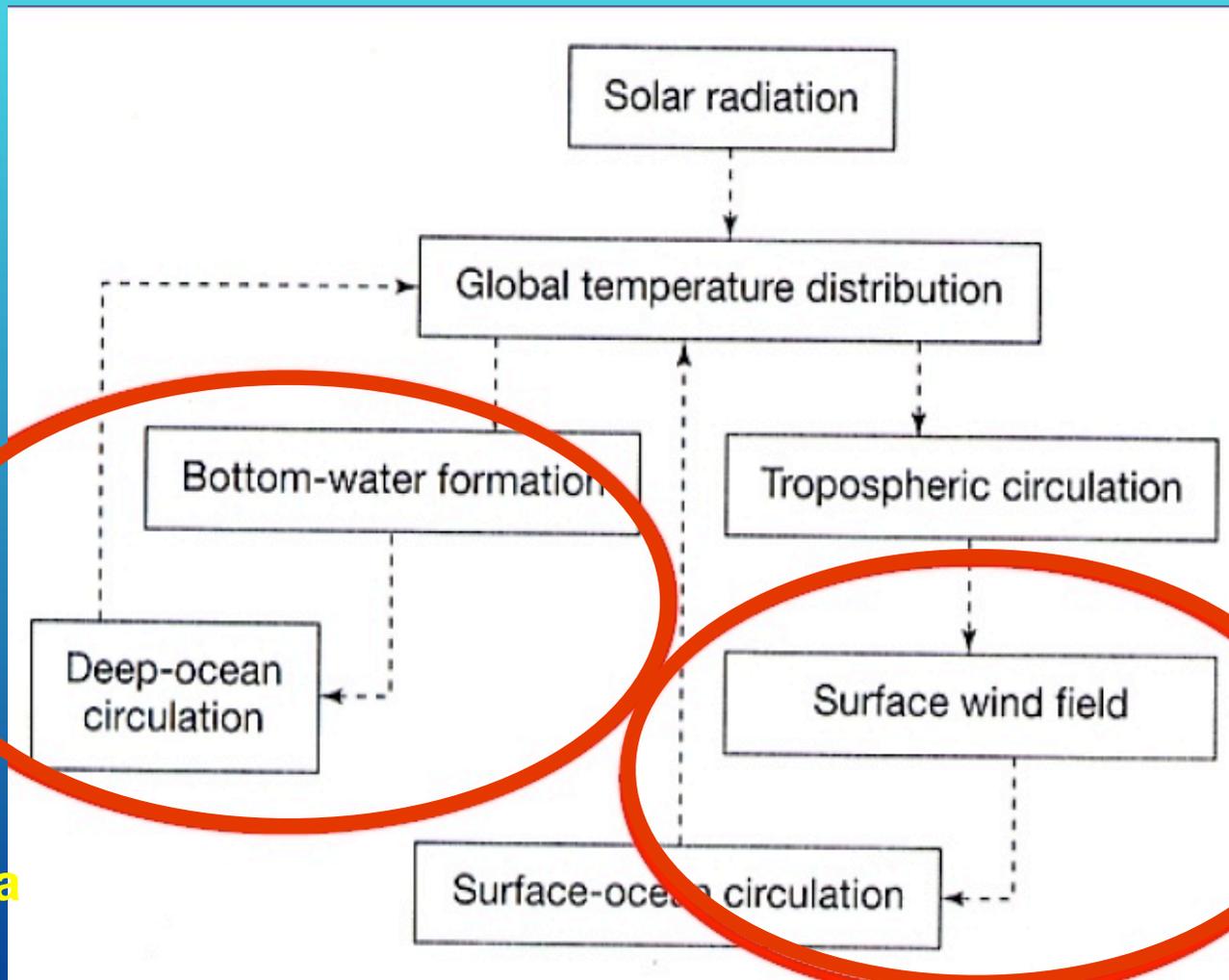
- A profundidade da Camada de Mistura depende da (1) estrutura de densidade e do (2) suprimento de energia cinética.
- A atmosfera interfere na Camada de Mistura através de três processos: aquecimento, vento e chuva/evaporação.
- A média Global da profundidade da Camada de Mistura é de 70m.
- A capacidade de absorver calor da Camada de Mistura é de aproximadamente 30 vezes da atmosfera.

# Variabilidade Sazonal da Camada de Mistura



- Verão: Quente e delgada.
- Inverno: Fria e espessa.
- (Algumas centenas de quilômetros)

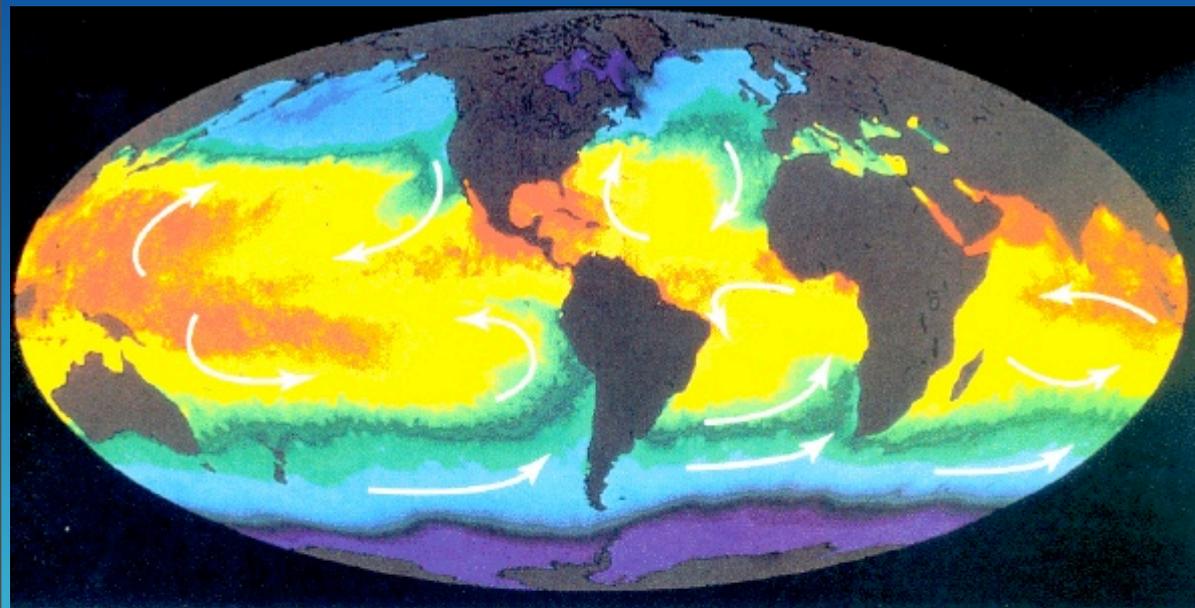
# Dois Sistemas de Circulação



**Circulação  
Forçada pela  
densidade**

**Circulação  
Forçada pelo  
vento**

# Seis grandes sistemas de Correntes nos Oceanos Mundiais

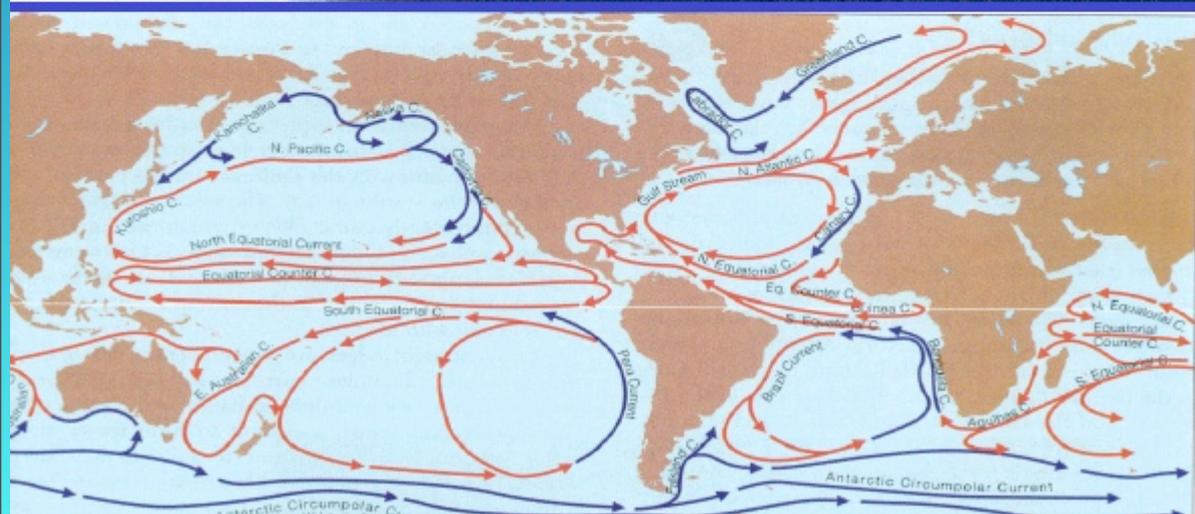


5 deles são geostróficos:

Giro do Pacífico Norte  
Giro do Pacífico Sul  
Giro do Atlântico Norte  
Giro do Atlântico Sul  
Giro do Oceano Índico

O 6º e a maior corrente:

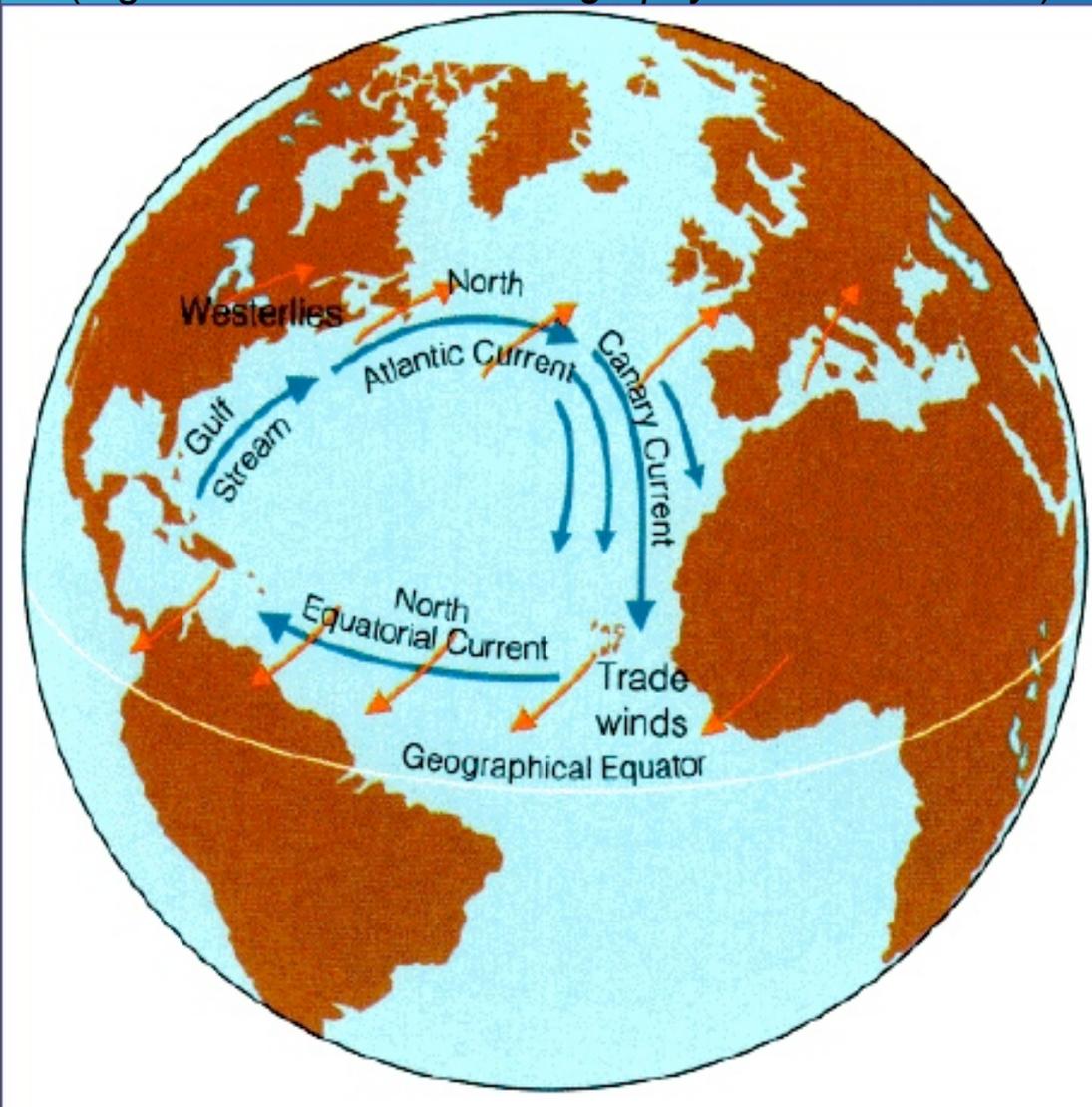
Corrente Circumpolar Antártica



(Retirada de *Oceanography* de Tom Garrison)

# Características dos Giros

(Figura retirada de *Oceanography* de Tom Garrison)



As Correntes estão em balanço geostrófico.

Cada giro é composto de 4 correntes:  
Duas correntes de contorno: oeste e leste  
Duas correntes transversais: norte e sul.

## Corrente de Contorno Oeste

forte, estreita e profunda, essa corrente transporta água quente em direção aos pólos. (transporte ~50 Sv ou mais)

## Corrente de Contorno Leste

amena, larga e rasa, essa corrente transporta água fria em direção ao Equador. (transporte ~10Sv – 15Sv)

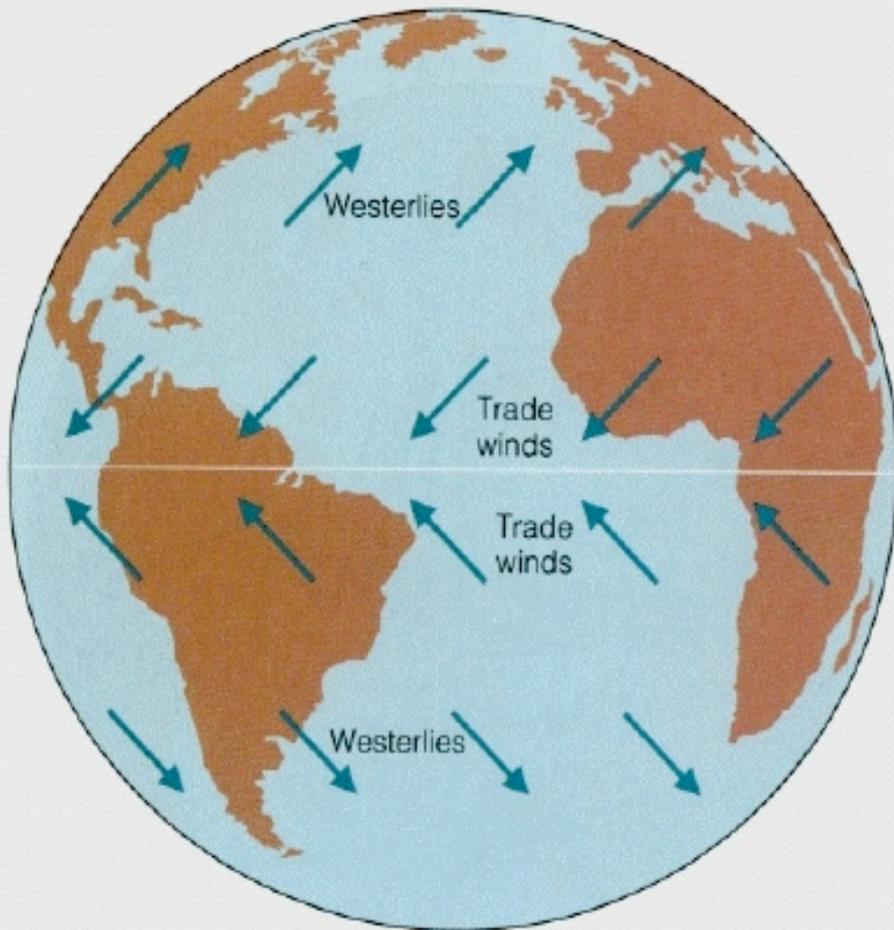
## Corrente Forçada pelos ventos Alísios

moderada, rasa e larga, transporta águas para oeste. (transporte ~ 30Sv)

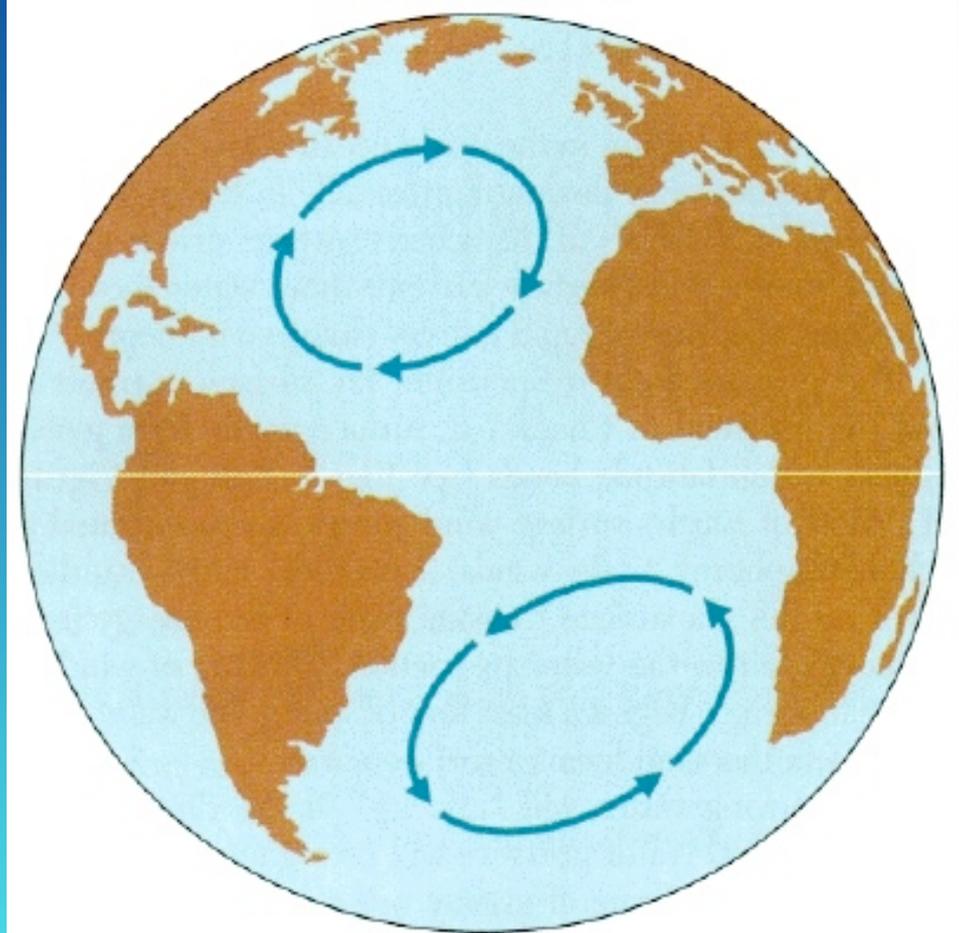
## Corrente Forçada por ventos de Oeste

mais larga e mais rasa que a anterior, sentido leste.

# Ventos de Superfície

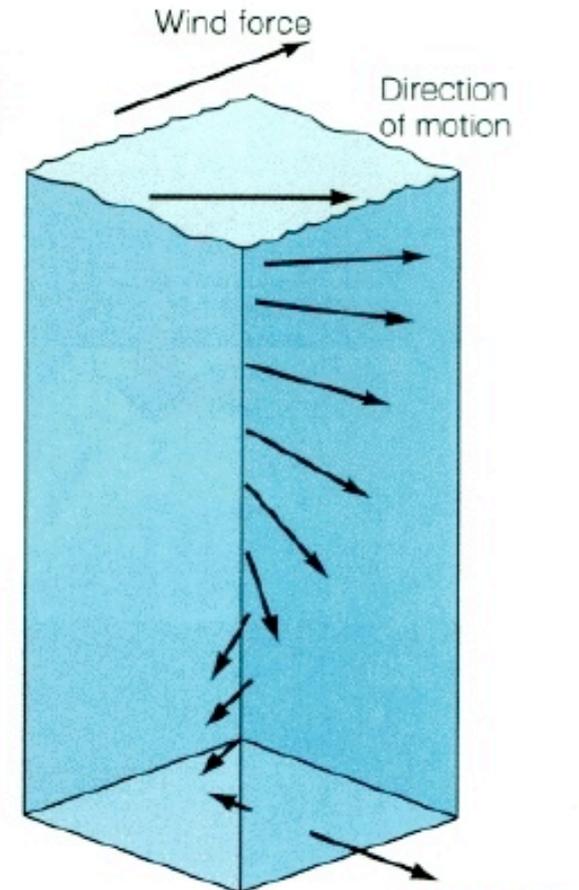
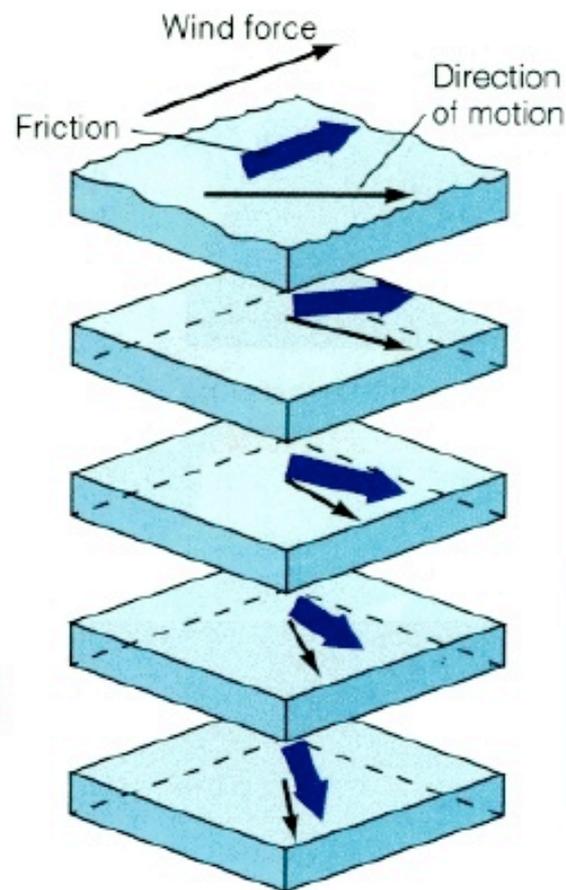
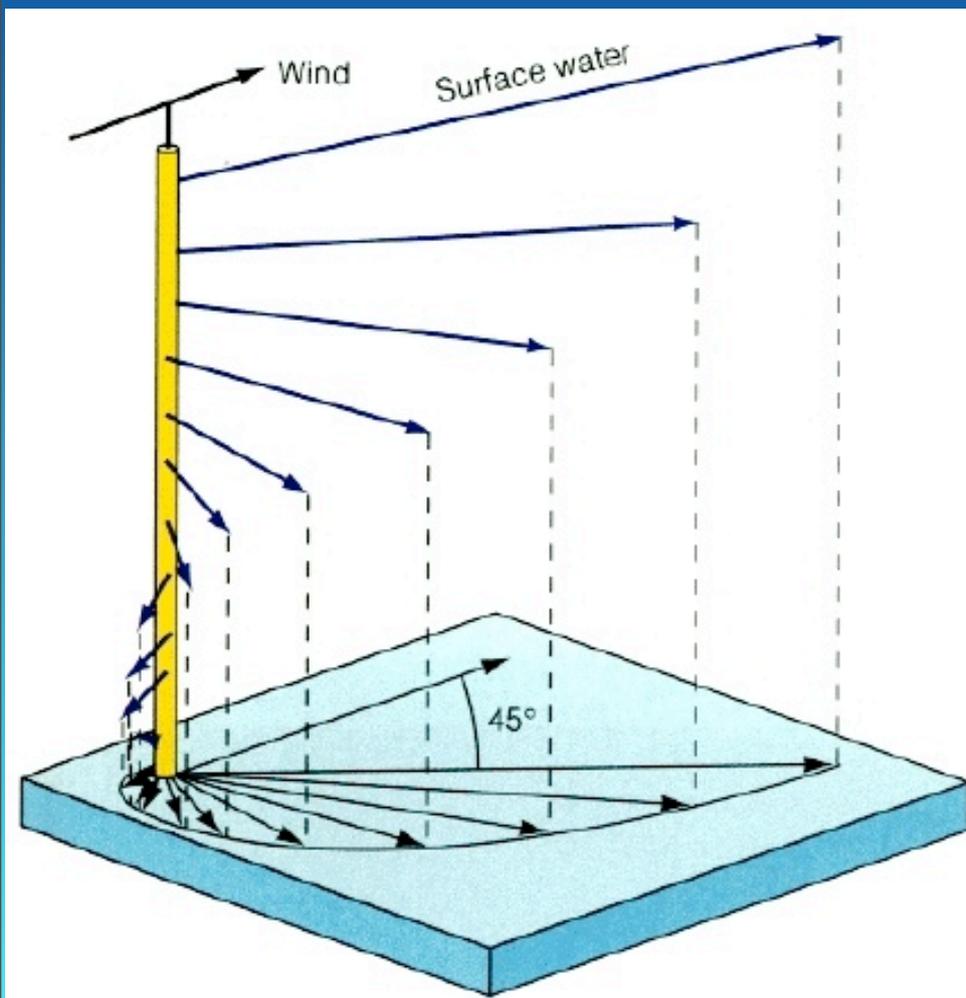


**Figure 9.1** Winds, driven by uneven solar heating and Earth's spin, drive the movement of the ocean's surface currents. The prime movers are the powerful westerlies and the persistent trade winds (easterlies).



**Figure 9.2** A combination of four forces—surface winds, the sun's heat, the Coriolis effect, and gravity—circulates the ocean surface clockwise in the Northern Hemisphere and counterclockwise in the Southern Hemisphere, forming gyres.

# Camada de Ekman (fricção + Força de Coriolis)



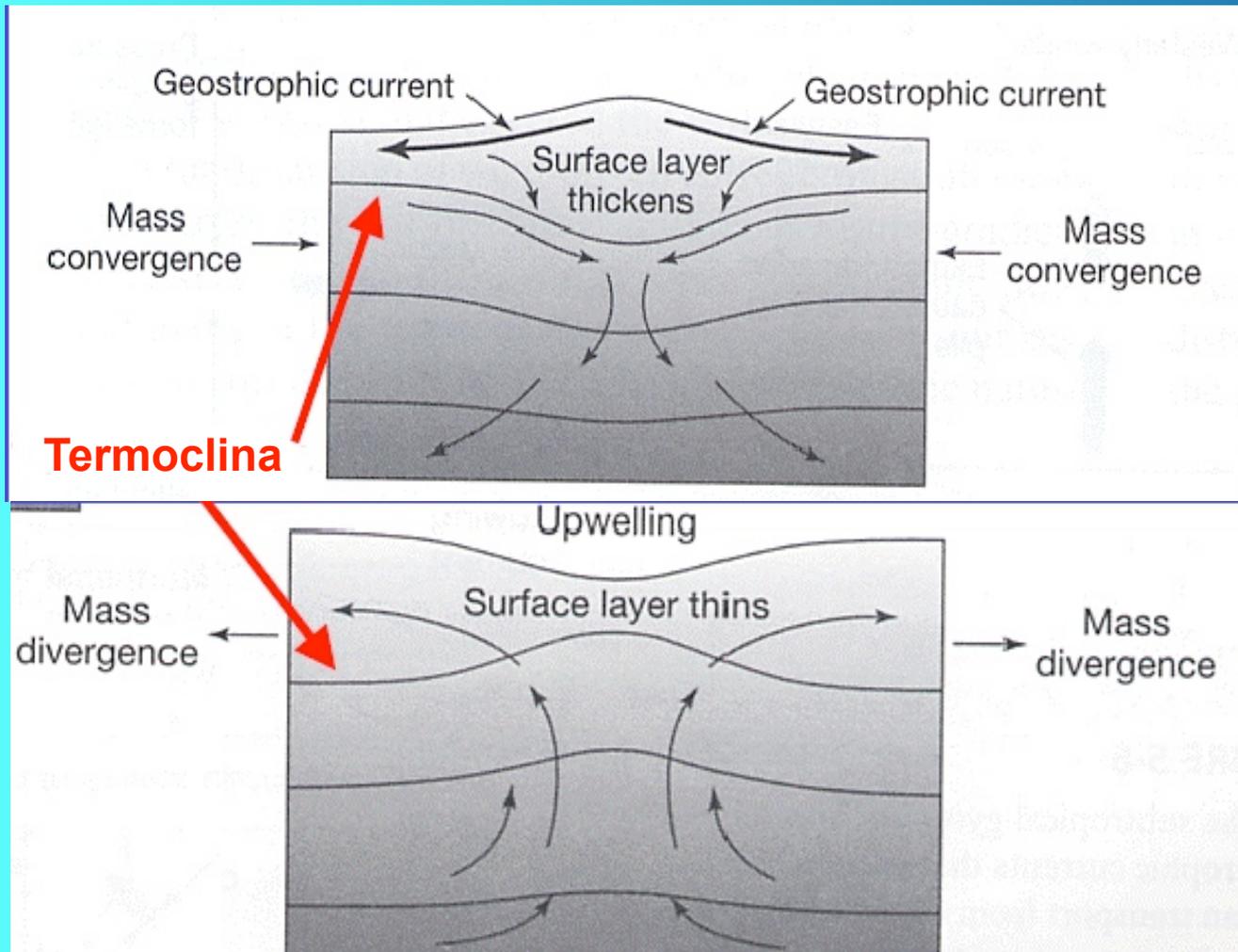
Average flow

# Transporte de Ekman

$$U_E = \int_{-\infty}^0 u_E dz = \frac{\tau_y}{\rho_0 f}; \quad V_E = \int_{-\infty}^0 v_E dz = -\frac{\tau_x}{\rho_0 f}$$

# Transporte de Ekman → Convergência/Divergência

Vento de Superfície + Força de Coriolis



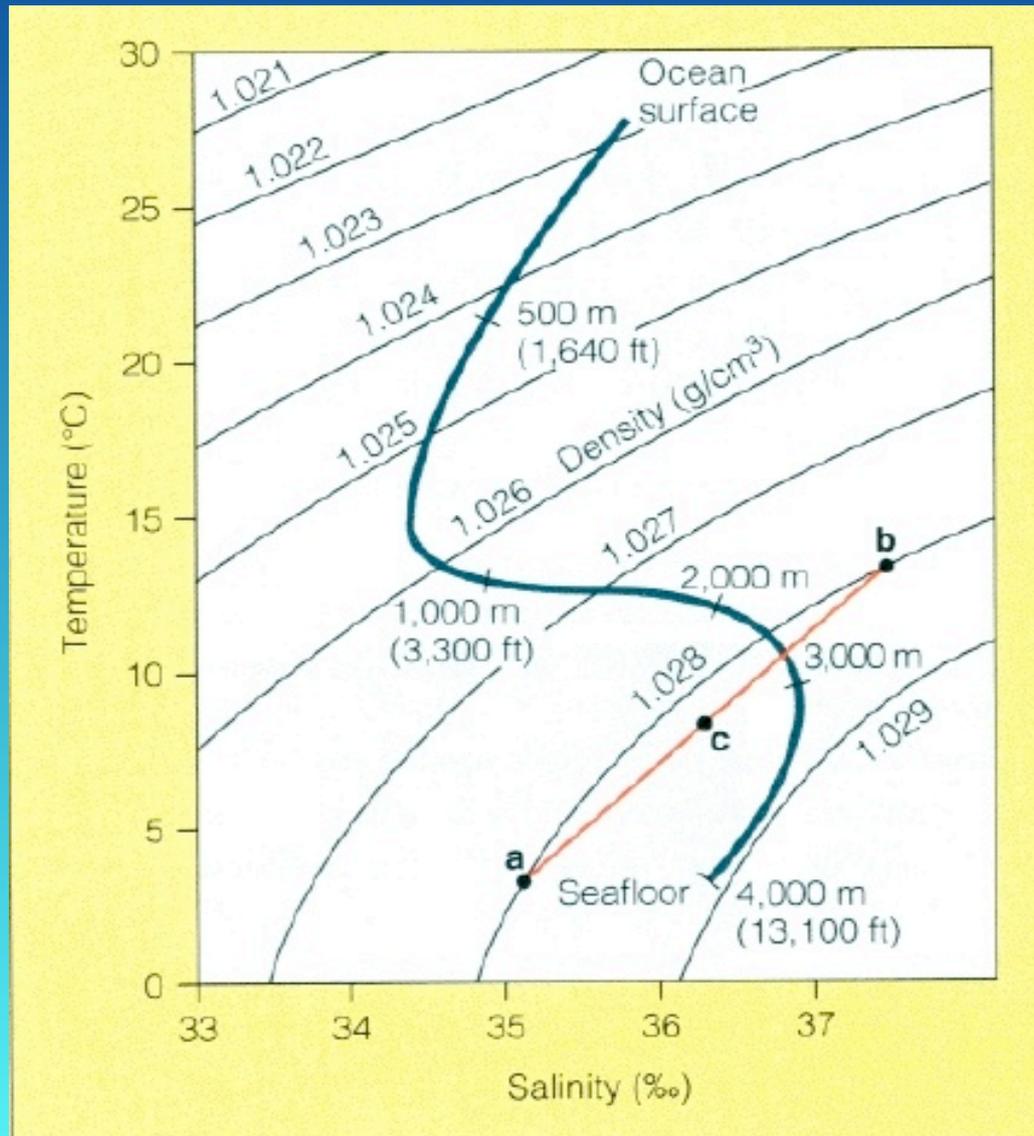
↓  
Transporte de Ekman

↓  
Convergência / Divergência  
(no centro do giro)

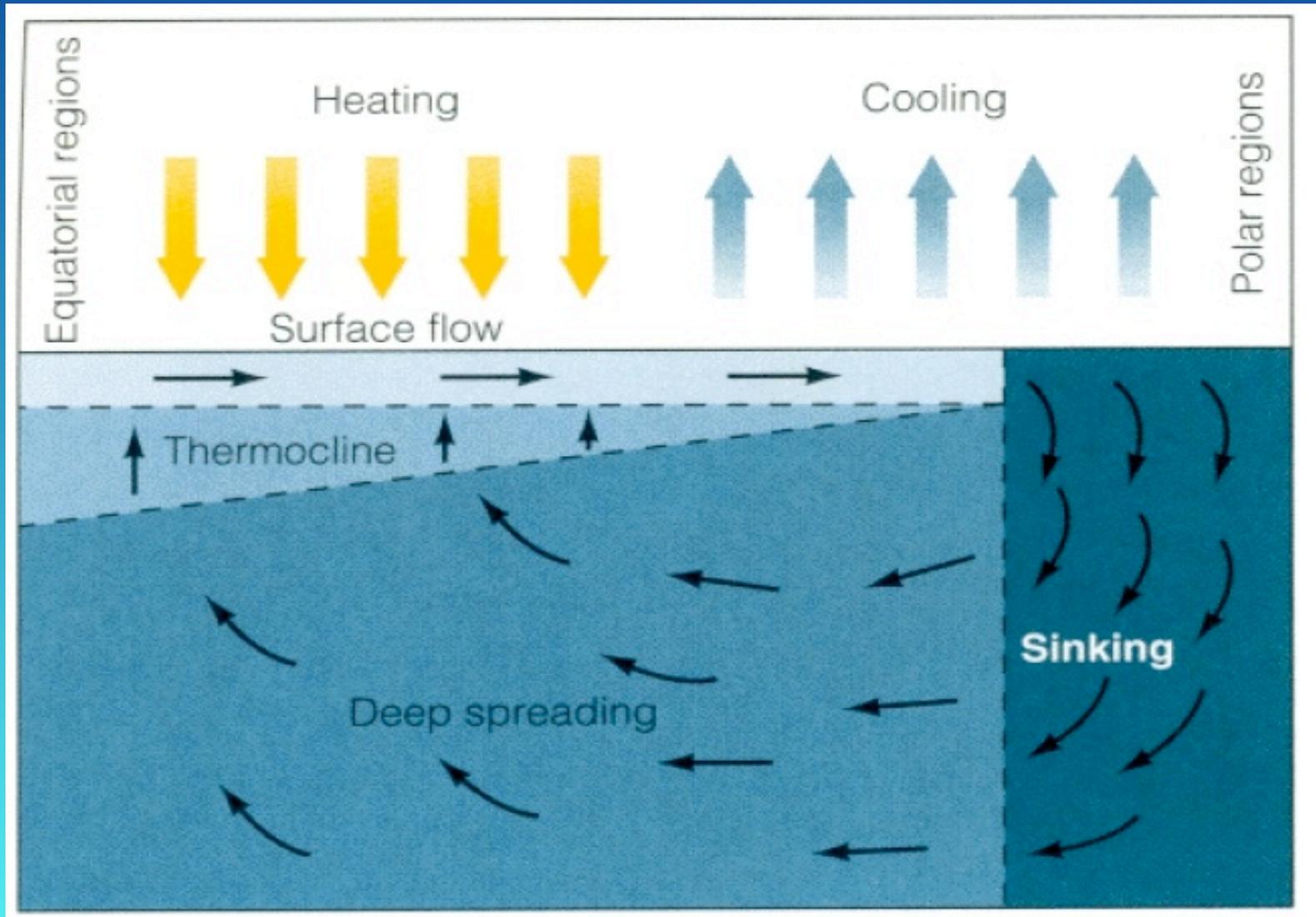
↓  
Força do Gradiente de Pressão

↓  
Correntes Geostróficas

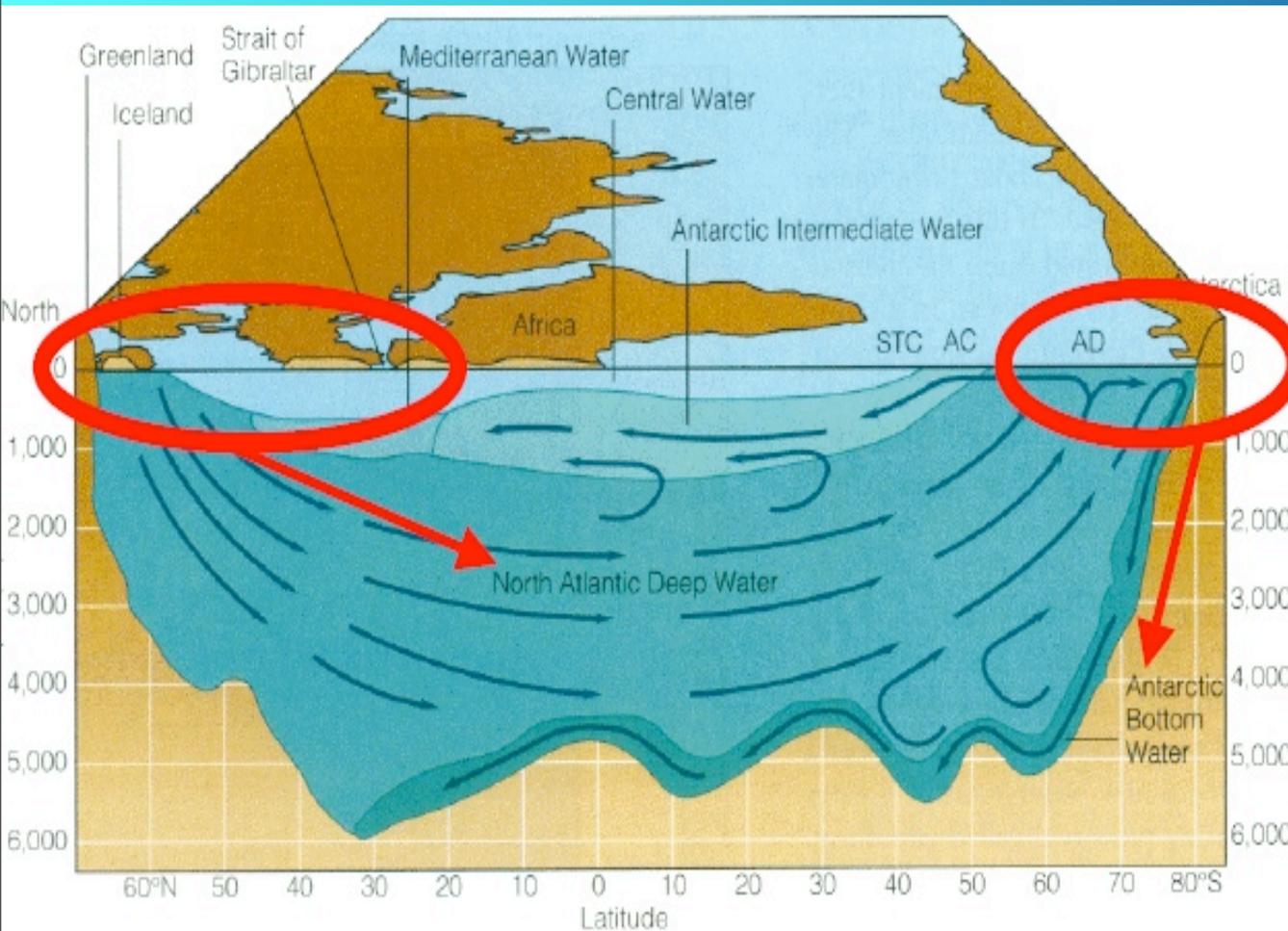
# Circulação no Oceano Profundo: forçada pela densidade



# Circulação Termohalina



# Duas Regiões de Formação de Massas d'água Profundas



## Água de Fundo Antártica

Salinidade = 34,65‰  
Temperatura = -0,5°C  
Densidade = 10279 g/cm<sup>3</sup>  
Formada no Mar de Weddell  
relacionada a formação de gelo durante o inverno.

## Água Profunda do Atlântico Norte

Durante o inverno:  
resfriamento e evaporação

# Dois processos para o aumento da salinidade em altas latitudes

**Evaporação:** extremamente frio, inverno gelado acentua o processo de evaporação do oceano relativamente quente → aumento da salindade.

**Formação de Gelo Marinho:** quando o gelo marinho é formado, o sal é expelido para o oceano → aumento da salinidade

# Massas D'água no Oceano

## **Água Superficial**

Até 200m

## **Água Central**

Até o topo da Termoclina

## **Água Intermediária**

Até por volta de 1500m

## **Água Profunda**

Abaixo da Água Intermediária, mas não em contato com o fundo

## **Água de Fundo**

Em contato com o fundo oceânico

- Massas d'água oceânicas possuem propriedades distintas e identificáveis e não costumam se misturar facilmente quando se encontram.

- Ao invés disso, elas frequentemente fluem acima ou abaixo da outra.

- Massas d'água oceânicas podem reter suas identidades por longas distâncias e grandes períodos de tempo.

- Oceanógrafos nomeiam as massas d'água de acordo com suas posições relativas.

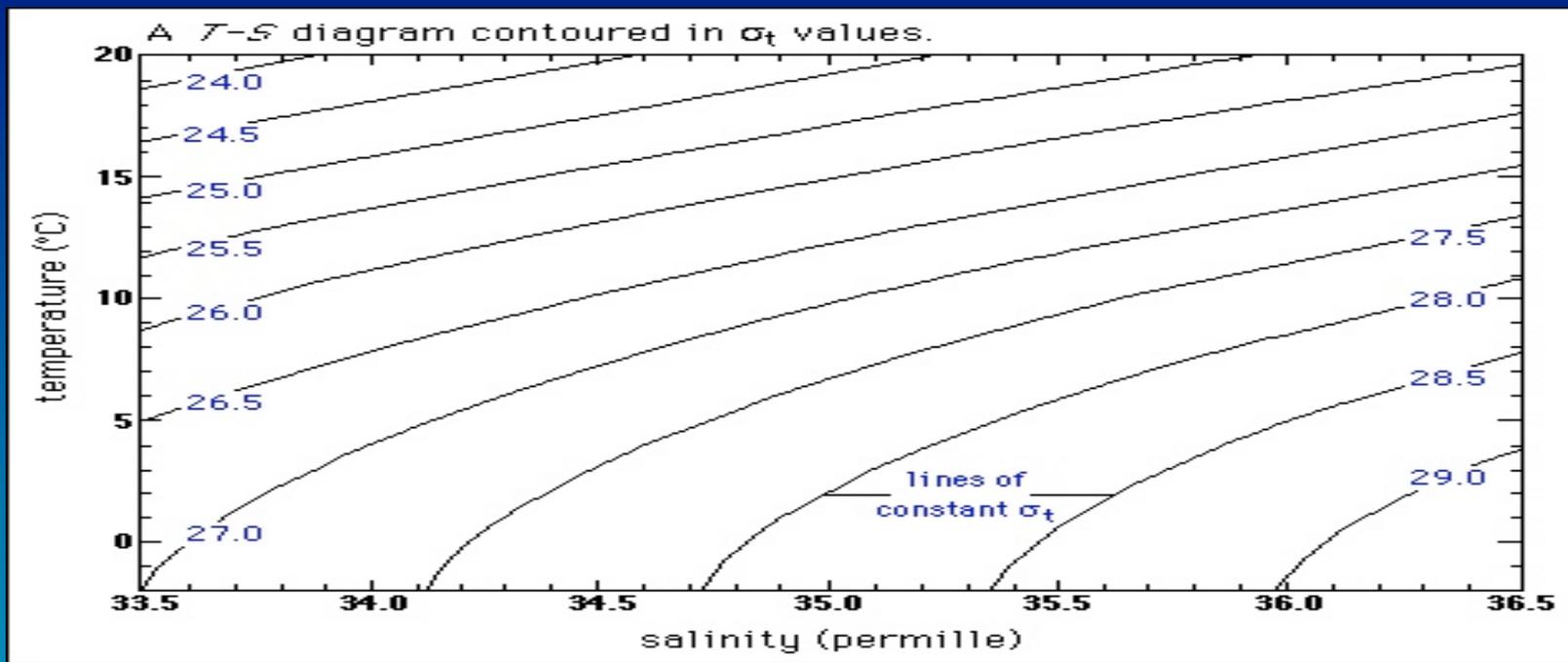
# Formação de Massas d'água

- Uma vez que uma parcela de água é transportada da superfície sua temperatura e salinidade não muda até que ela retorne, normalmente muito anos depois.
- Massas d'água de temperatura e salinidade bem definidas são formadas por processos de superfície em regiões específicas, que afundam e misturam-se lentamente com outras massas d'água enquanto se deslocam.
- Massas d'água são frequentemente indentificadas por letras maiúsculas. Por exemplo, "Água de Fundo" pode ser para Antártica, Ártica ou outra Água de Fundo, mas sempre se refere a uma massa d'água, equanto a água encontrada no fundo de uma região oceânica pode ser referida como "água de fundo" sem implicar que seja uma massa d'água definida e conhecida.

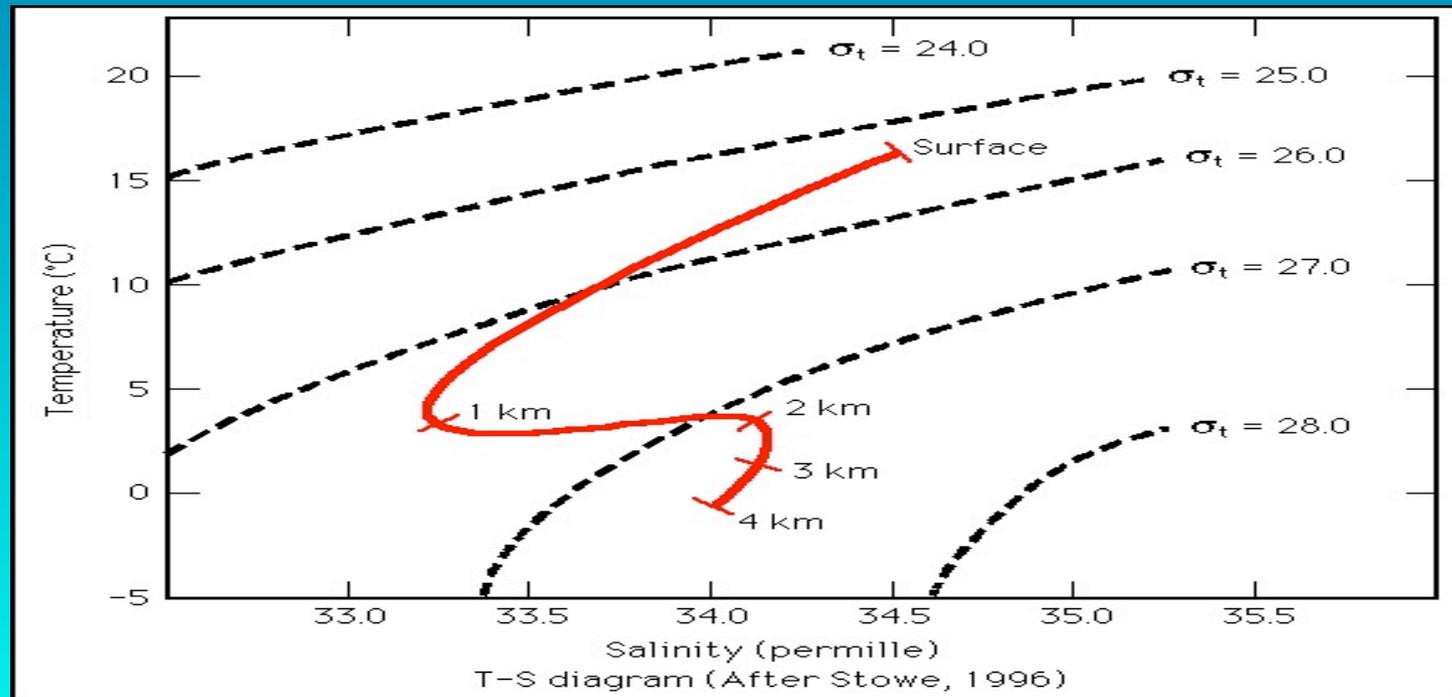
# Leva ~1000 anos para àguas profundas

Se datarmos uma parcela de água a partir do tempo que ela deixou a superfície e afundou para o oceano profundo...

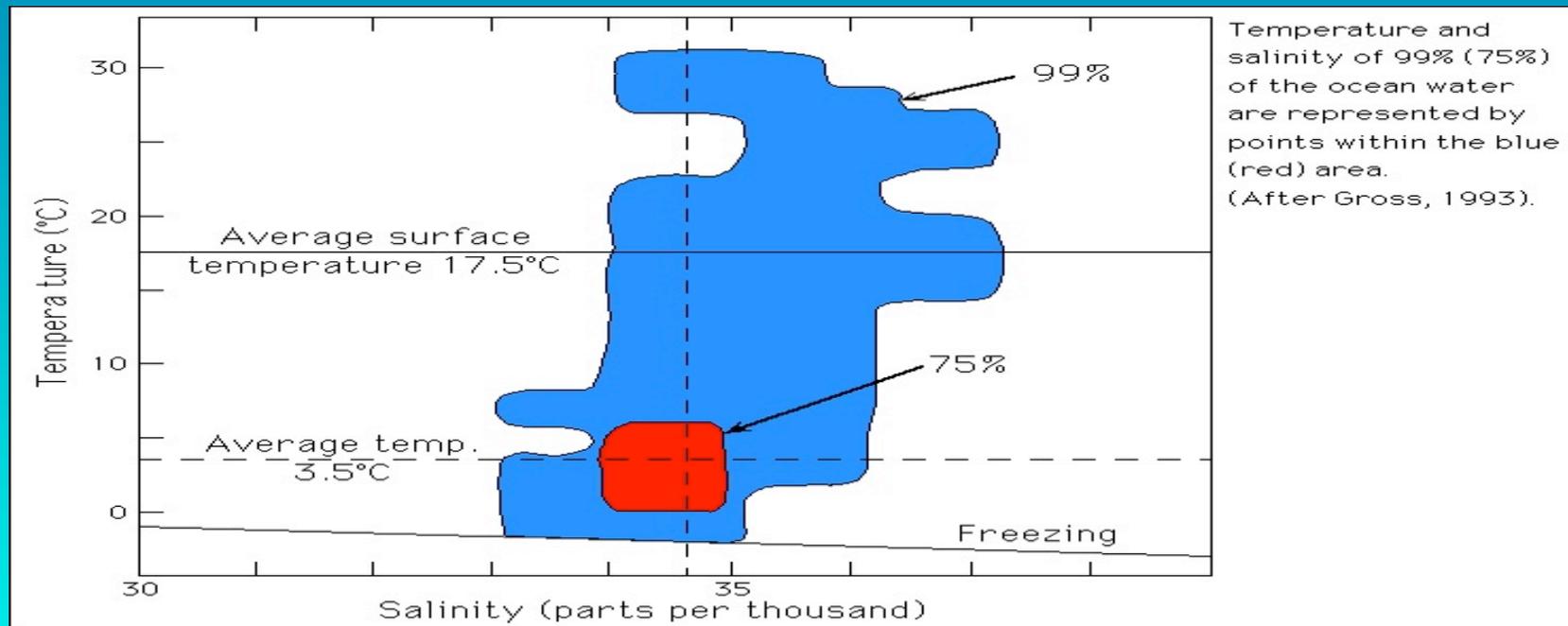
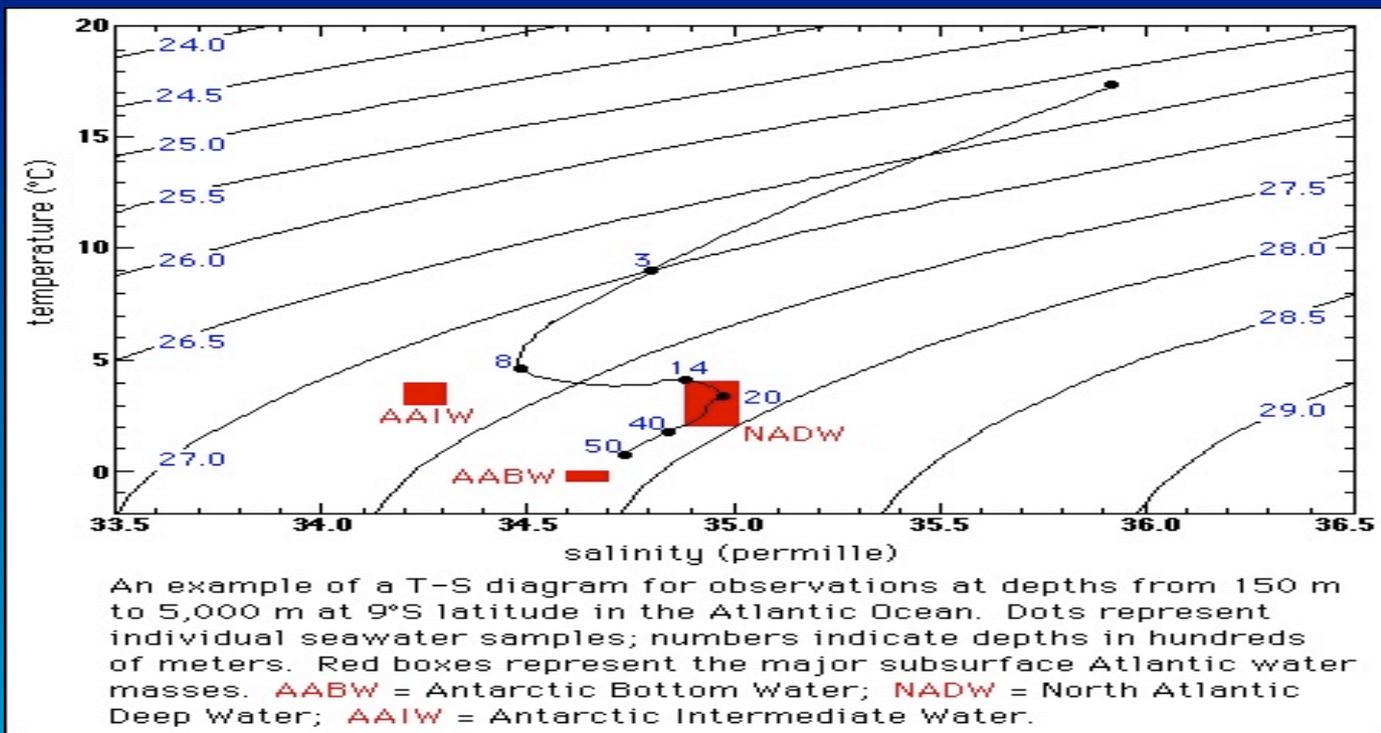
- A água de fundo mais nova é encontrada ao norte do oceano Atlântico, e a mais antiga na mesma profundidade no Norte do Pacífico, onde sua idade é estimada em ~ 1000 anos.



### Características básica de um T/S



### Exemplo de um T/S típico



## Diagrama T/S Geral dos oceanos

Fonte: LDEO Oceanslides

# Processos de Formação de Massas de Água

- **Subducção**: Águas Centrais e Águas intermediárias;
  - É o processo pelo qual as massas de água são injetadas em profundidades maiores seguindo as mesmas isopicnais da região da sua formação.
- **Convecção** profunda: Águas Profundas e Águas de Fundo
  - É resultado da formação, em camadas superficiais de uma água bem mais densa que a camada inferior favorecendo o desenvolvimento de forte circulação vertical.

## LINKS:

<http://www.jason.oceanobs.com/> AVISO/CNES

<http://topex-www.jpl.nasa.gov/> TOPEX/NOAA

<http://oceanworld.tamu.edu/> TEXAS A&M

<http://www.woce.org> WOCE

<http://www.clivar.org> CLIVAR

<http://www.lei.furg.br/ocfis/mattom/> Tomczak's Page

<http://podaac.jpl.nasa.gov> NASA/PODAAC

# Referências

1. **Tchernia P (1980) Descriptive Regional Oceanography. Pergamon Press, Oxford.**
2. **Tomczak M, Godfrey JS (1994). Regional oceanography: An Introduction. Pergamon Press, Oxford, 422pp.**
3. **Pickard G. L., W. J. Emery (1990) Descriptive Physical Oceanography. Pergamon Press, Oxford.**