

4 Pressão e densidade

Assuntos

- Unidades de medida;
- Equilíbrio hidrostático;
- Equação de estado da água do mar;
- Outras grandezas associadas;
- Distribuição espacial e temporal de densidade;
- Estabilidade da coluna d'água.

Referências bibliográficas

- Notas de aula;
- Livro em preparação.

4.1 Unidade de medida

A unidade de medida para densidade é a do sistema internacional, ou seja, $kg.m^{-3}$. No sistema internacional, a unidade de pressão é dada em Pascal (Pa), que equivale a $N.m^{-2}$. Entretanto, a pressão pode ser apresentada de diversas maneiras, dependendo do propósito. Por exemplo, a pressão pode ser dada em atmosferas (atm ; $1atm \approx 1.013 \times 10^5 Pa$) ou em decibares ($dbar$; $1bar \approx 10^5 Pa$ e $1dbar = 10^{-1}bar$), uma vez que a pressão no oceano aumenta cerca de $1dbar$ por metro, facilitando esta relação entre pressão e profundidade.

4.2 Equilíbrio hidrostático

Uma das aproximações mais comuns que fazemos nos oceanos é a do equilíbrio hidrostático. Quando assumimos que um sistema encontra-se neste equilíbrio, temos que a pressão (p) é dada por:

$$dp = -\rho g dz, \quad (7)$$

onde ρ é a densidade, g a gravidade e z é a coordenada vertical, com o eixo vertical orientado para cima e sua origem na superfície.

Como solução desta equação, temos:

$$p - p_{atm} = -\bar{\rho}gz \quad (8)$$

onde $\bar{\rho}$ é a densidade média, p_{atm} é a pressão atmosférica e z , neste caso, a profundidade. Nesta equação, o termo $-\bar{\rho}gz$ é a pressão oceanográfica, isto é, a pressão devido ao peso da coluna d'água.

4.3 Equação de estado da água do mar

A densidade depende da temperatura, salinidade e pressão para ser estimada. Assim, é comum se referir a densidade como $\rho_{S,T,p}$ ou $\rho(S, T, p)$. De maneira simplificada, a densidade aumenta com o aumento da salinidade e pressão, e com a diminuição da temperatura. Uma primeira aproximação para se estimar a densidade, usando apenas temperatura e salinidade, é dada por:

$$\rho(S, T, p) \approx \rho_0(1 - \alpha\Delta T + \beta\Delta S) \quad (9)$$

onde $\rho_0 = \rho(S_0, T_0, 0)$, $\Delta T = (T - T_0)$ e $\Delta S = (S - S_0)$. Os coeficientes α e β são chamados de coeficiente de expansão térmica e de contração halina, respectivamente.

Atualmente, a salinidade deve ser calculada usando-se a equação de estado da água do mar TEOS-10 (*Thermodynamic Equation Of Seawater-2010*), que é baseada numa formulação que usa função de Gibbs.

4.4 Outras grandezas associadas

Outras grandezas associadas a densidade também são largamente utilizadas e são definidas abaixo.

Volume específico ($\alpha_{S,T,p}$):

$$\alpha_{S,T,p} = \frac{1}{\rho_{S,T,p}} \quad (10)$$

Densidade convencional ($\sigma_{S,T,p}$):

$$\sigma_{S,T,p} = \rho_{S,T,p} - 1000 \quad (11)$$

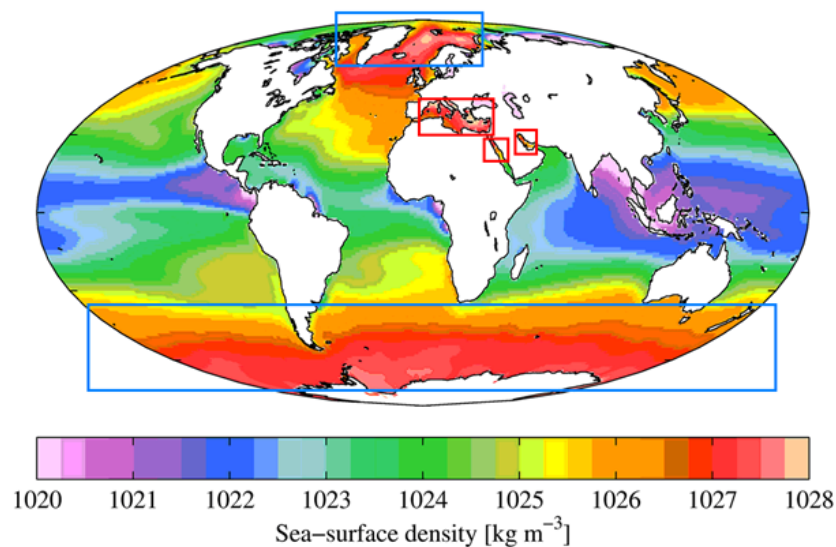


Figura 27: Distribuição superficial de densidade média na superfície dos oceanos.

4.5 Variabilidade da Salinidade

De maneira geral, as variações de densidade na superfície ocorrem na direção meridional e são dominadas pelas variações de temperatura. Assim, a densidade superficial possui valores mínimos no equador que aumentam em direção aos pólos, com valores entre 1.028 kg.m^{-3} e 1.028 kg.m^{-3} . Em regiões estuarinas, entretanto, a salinidade é a principal variável para se determinar a densidade. A Figura 27 mostra como varia a densidade na superfície do oceano.

Vale ressaltar que as maiores variações temporais de densidade ocorrem na camada superficial dos oceanos.

Verticalmente, a densidade também pode ser separada em 3 regiões em baixas latitudes, a camada de mistura, com densidade quase constante, a pic-

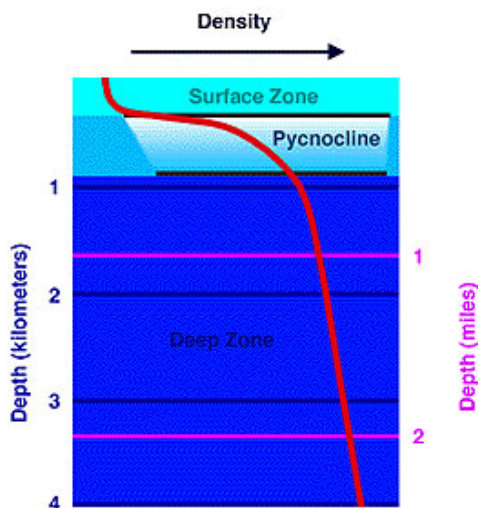


Figura 28: Perfil vertical de densidade em baixas latitudes.

noclina, com grande variação de densidade e associada a variação de temperatura, e a camada de fundo, com aumento suave da densidade e associada ao aumento da pressão. A Figura 28 mostra como a densidade varia com a profundidade em baixas latitudes.

4.6 Estabilidade da coluna d'água

A estabilidade da coluna d'água, isto é, a tendência que as parcelas d'água têm em permanecer na profundidade em que se encontram, depende da distribuição vertical da densidade. Assim, este parâmetro de estabilidade (E) pode ser definido por:

$$E = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (12)$$

No oceano, E tem valores típicos entre 1×10^{-6} e 1×10^{-5} , com os maiores valores na região da pycnoclina. Para valores de E negativos, a coluna d'água é instável e, para valores nulos, a coluna d'água é neutra.

5 Massas d'água

Assuntos

- Diagrama TS
- Definição de massa d'água
- Formação
- Tipos
- Massas d'água no Atlântico Sul

Referências bibliográficas

- Notas de aula;
- Livro em preparação.

5.1 Introdução

Definição: Massas d'água são grandes volumes de água do mar que possuem combinações particulares de propriedades físicas e químicas.

As propriedades que são analisadas para identificar as massas d'água são propriedades conservativas (principalmente temperatura e salinidade). Essas propriedades são alteradas apenas por processos de mistura no interior dos oceanos.

5.2 Diagrama TS

O diagrama TS é simplesmente um gráfico onde os pares de temperatura (T) e salinidade (S) são plotados, com a temperatura no eixo das ordenadas e a salinidade, no eixo das abcissas (Figura 29). Esta é uma ferramenta muito comum para identificação das massas d'água.

5.3 Processos de formação

A formação das massas d'água é dada quando um grande volume d'água adquire valores bem determinados de suas características físicas e químicas. Este processo ocorre na cama superficial dos oceanos, onde os processos termodinâmicos são mais intensos.

Basicamente, ocorre um processo na superfície que aumenta a densidade de um volume d'água. Assim, este grande volume d'água tende a afundar até a profundidade em que estará em equilíbrio com o meio. Depois disso, através de processos de dispersão (advecção e difusão), passa a ocupar amplas regiões das bacias oceânicas.

Os principais processos que alteram as características termodinâmicas da água são:

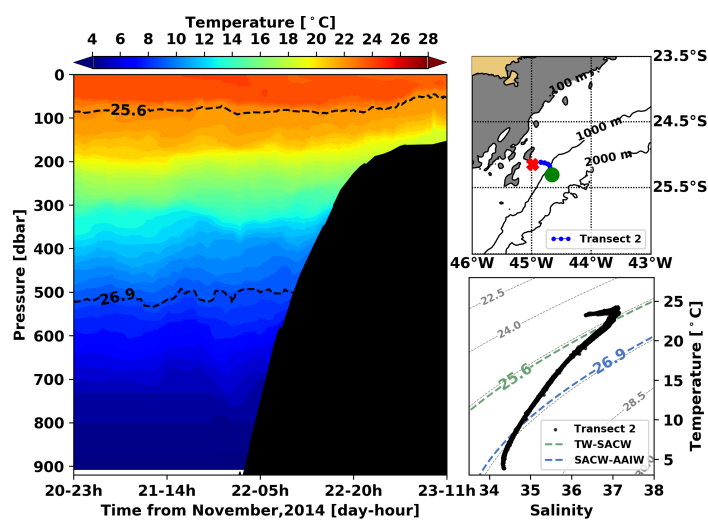


Figura 29: Transecto mostrando a temperatura em uma radial ao largo do estado de São Paulo junto com a rajetória onde foram realizadas as estações oceanográficas e o seu respectivo diagrama TS (Dottori et al., 2018).

- Resfriamento causado por perda de calor sensível com a atmosfera;
- Aumento da salinidade causado por evaporação ou formação de gelo.

5.4 Tipos de massas d'água

As massas d'água podem ser divididas em 3 tipos:

- Águas profundas e de fundo: são massas d'águas que ocupam as regiões mais profundas dos oceanos, incluindo o fundo;
- Águas intermediárias: são massas d'águas que ocupam as regiões intermediárias da coluna d'água, tipicamente entre 1000 e 2000 m de profundidade;
- Águas centrais: são massas d'águas que ocupam as regiões mais próximas da superfície, tipicamente profundidades até 600 m, mas já afastadas dos intensos processos de trocas acima da termoclina.

No oceano Atlântico Sul, as principais massas d'água presentes são:

- Água de Fundo Antártica (*AABW*): Formada principalmente nos Mares de Weddel e de Ross (Antártica). Espalha-se por todos os oceanos e ocupa regiões superiores a 4.000 m de profundidade;
- Água Profunda do Atlântico Norte (*NADW*): Formada no Oceano Ártico e nos mares da Groenlandia e de Labrador. Espalha-se para todas as bacias oceânicas e estabiliza-se logo acima da *AABW*;
- Água Intermediária Antártica (*AAIW*): Formada principalmente no oceano Atlântico. Espalha-se para todos os oceanos transportada pela Corrente Circumpolar Antártica;

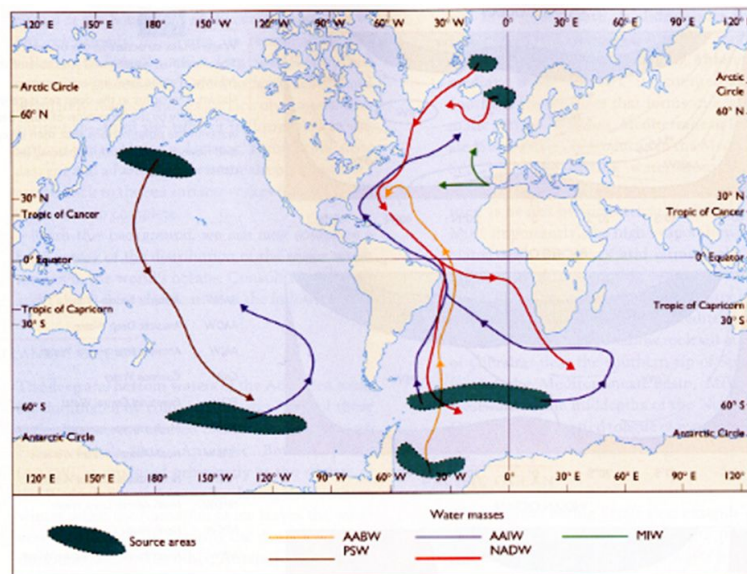


Figura 30: Regiões de formação das principais massas d'água nos oceanos.

- Águas Central do Atlântico Sul (*SACW*): Formada na região subtropical do Atlântico Sul, esta massa d'água tem características regionais e preenche a camada da termoclina e sua base.

Ainda podemos destacar as águas modais, que são massas d'água com valores de temperatura e salinidade muito bem definidos e, portanto, identificados por um ponto no diagrama TS.