



*Universidade de Aveiro*  
*Departamento de Física*  
*Dinâmica do Clima*

# ***Estrutura Vertical da Densidade Média nos Oceanos***

Realizado por:  
Elsa Vieira, nº 26297  
Rita Soares, nº 31157  
Mafalda Morais, nº 31326

## Introdução

### *Densidade*

- Parâmetro importante para definir o clima nos Oceanos, visto que a sua estrutura está relacionada com a estabilidade, bem como com os campos 3D da velocidade nos Oceanos;
- Função da Temperatura, Salinidade e da Pressão,  $\rho = \rho(T, S, p)$ ;
- Quantidade de massa por unidade de volume ( $\text{kg/m}^3$ );
- A densidade da água do mar é importante porque determina a profundidade à qual a parcela de água irá atingir o equilíbrio;
- Em Oceanografia utiliza-se:  $\rho - \rho_0$ , onde  $\rho_0 = 1000 \text{kg/m}^3$  (densidade in situ);

- A temperatura domina as variáveis da densidade oceânica na sua grande maioria (excepto onde as águas superficiais são relativamente doces, devido à alta precipitação ou gelo derretido, isto é, nas altas latitudes e nos trópicos entre a região chuvosa da ICTZ).
- As variações da densidade com a compressibilidade são maiores do que com a expansão térmica e contracção salina (para a gama de valores de Salinidade e a Temperatura observadas nos Oceanos Mundiais).
- Água fria é mais compressível que a água quente, no entanto a água fria torna-se mais densa que a água quente quando são ambas sujeitas à mesma pressão.
- Duas parcelas de água à mesma pressão podem ter a mesma densidade mas diferem na temperatura, e conseqüentemente na compressibilidade.

## *Densidade Potencial, $\sigma_\theta$*

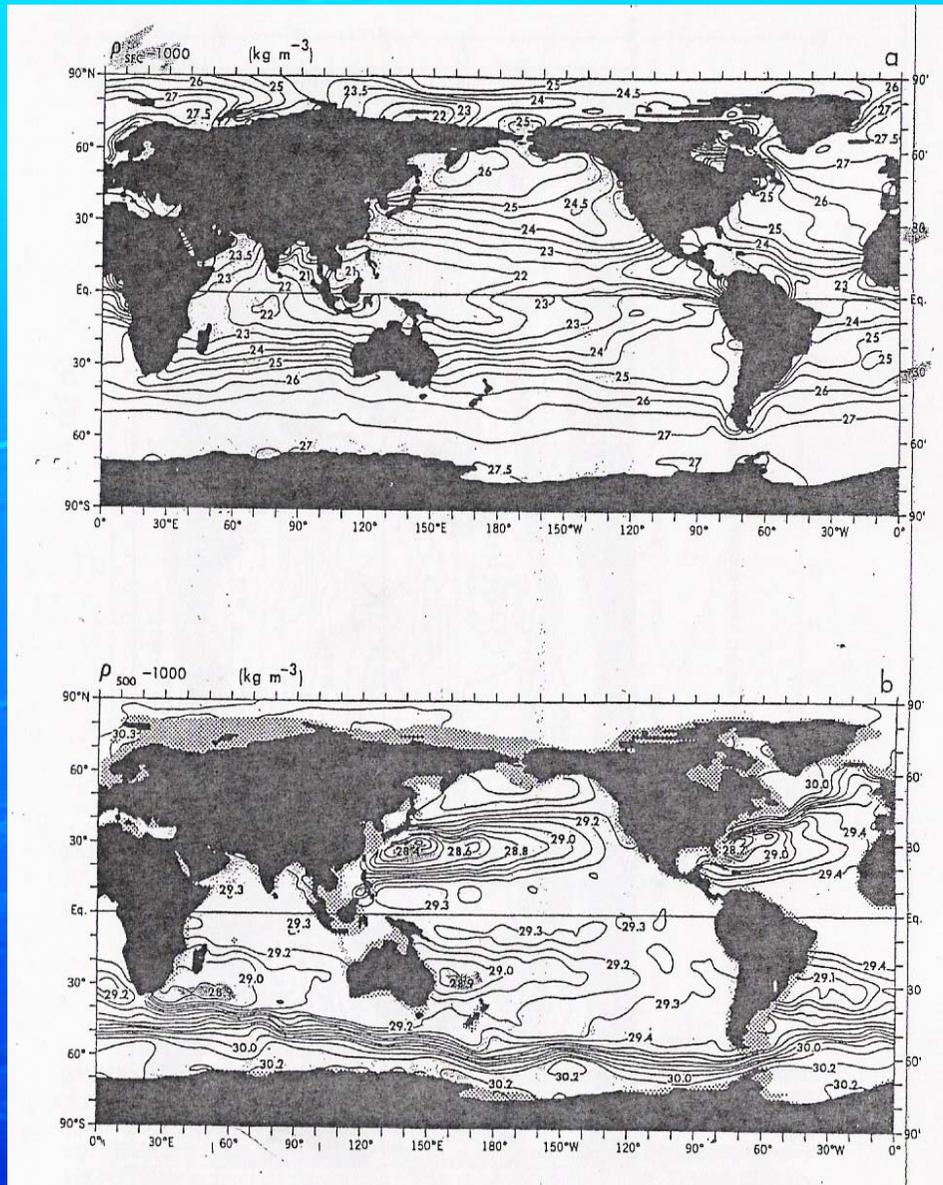
- Enquanto uma parcela de água é comprimida, as moléculas vão-se juntar e a densidade aumenta;
- Compressão adiabática causa o aumento da temperatura, o que desloca muito ligeiramente o aumento da densidade devido à compressão;
- A densidade potencial é a densidade a que uma parcela se move adiabaticamente para uma pressão de referência.

## Frequência de Brunt-Väisälä

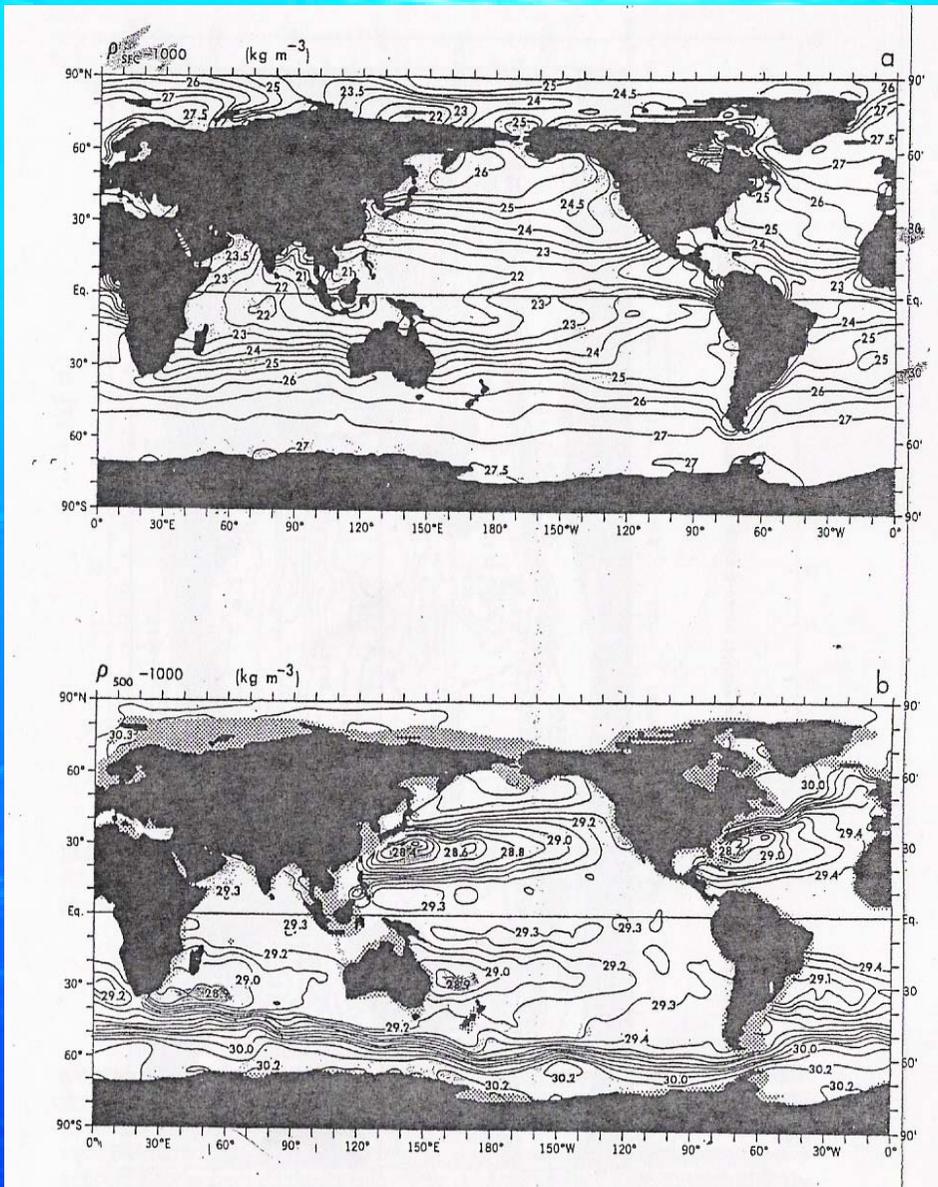
- ➔ A influência da estabilidade é expressa através de uma frequência de estabilidade,  $N^2$ , designada por **Frequência de Brunt-Väisälä**, que quantifica assim a importância da estabilidade.
- ➔ A Frequência de Brunt-Väisälä pode ser interpretada como a frequência do movimento vertical sentido por uma parcela de fluido, que é deslocada da sua posição de equilíbrio, através de uma excitação correspondente a um deslocamento vertical.
- ➔ A Frequência de Brunt-Väisälä é a frequência máxima das ondas internas no Oceano e apresenta valores típicos de alguns ciclos/hora.

$$N^2 = gE \Leftrightarrow N = \sqrt{gE} \quad (\text{Hz segundo ciclo/seg, Hz}) \quad \text{em que } E = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial Z}.$$

## Distribuição global da densidade média anual à superfície (a) e aos 500m de profundidade (b)



- As características do campo de densidade a uma dada profundidade reflectem os efeitos combinados da distribuição da Temperatura e da Salinidade a essa profundidade.
- À superfície a contribuição da Temperatura para o campo de densidade aparenta ser mais importante do que a Salinidade (excepto para altas latitudes).
- A influência do fluxo de água doce a partir dos grandes rios é também evidente nas regiões equatoriais com os valores mais baixos de densidade observados junto aos continentes.



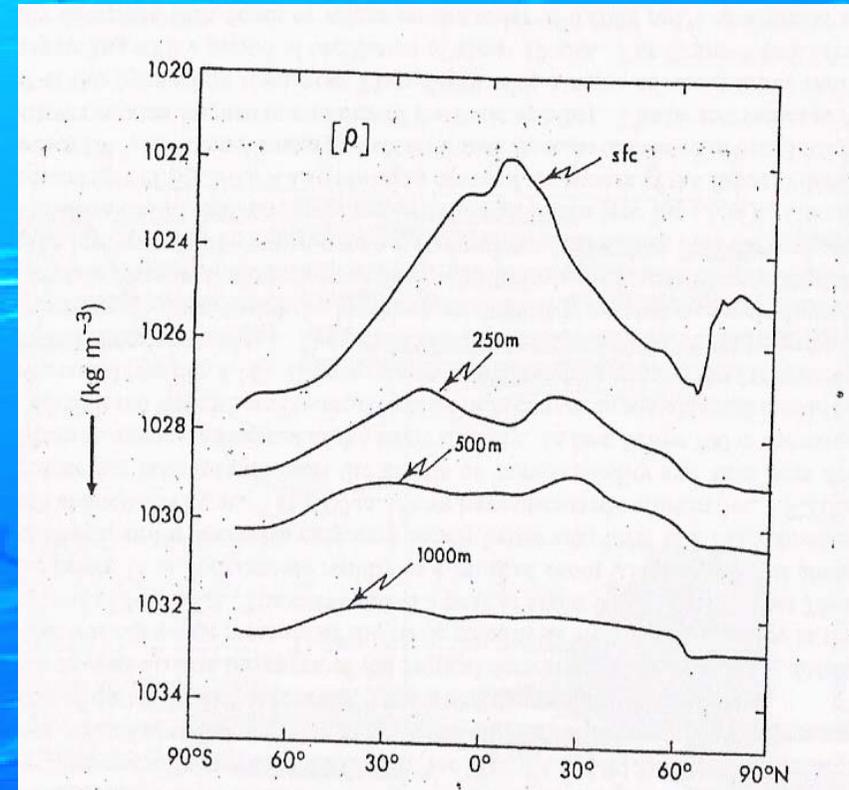
- A localização do maior gradiente meridional da densidade à superfície é perto dos  $30^\circ$  de latitude em ambos os hemisférios;
- O mínimo de densidades na região equatorial resulta claramente dos valores elevados de temperatura combinados com os baixos valores de salinidade.





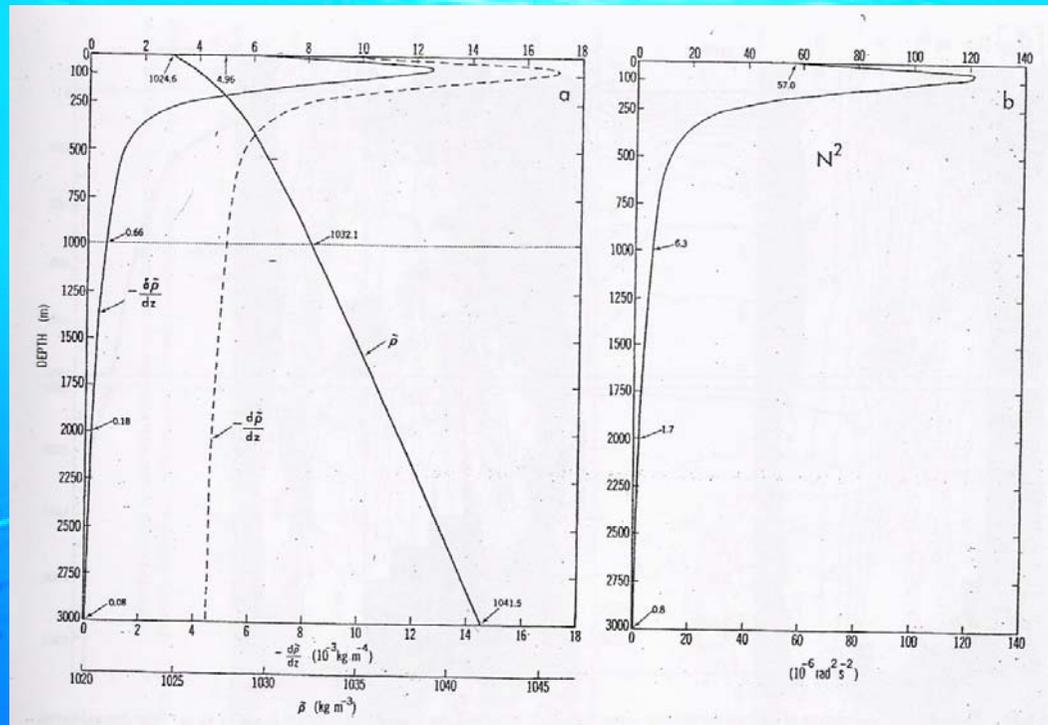
## Perfil meridional da média zonal da densidade *in situ* à superfície do mar e a diferentes profundidades

- A densidade aumenta com a profundidade;
- Torna-se mais homogénea com o aumento da densidade;



- Temos um mínimo perto do Equador deslocado para Norte (zona chuvosa da ICTZ, logo é menos densa).

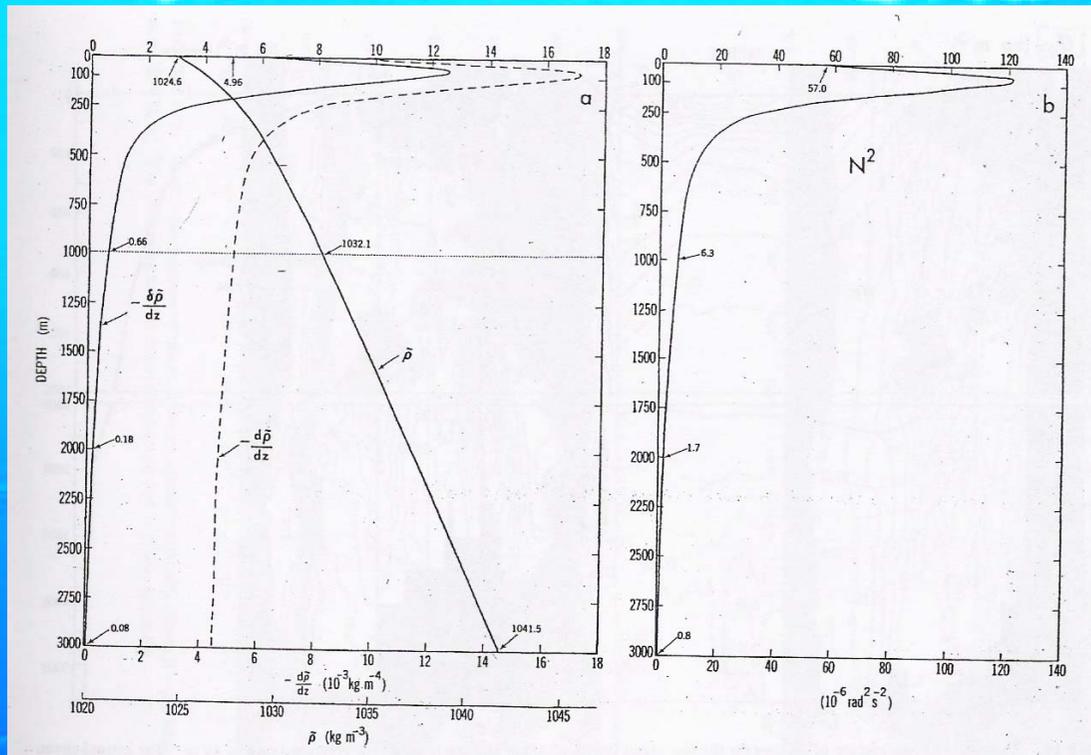
## Perfil vertical da densidade média global



➤ A curva  $-\frac{d\bar{\rho}}{dz}$  mostra um pico por volta dos 0.017 kg.m<sup>-4</sup> perto dos 75m de profundidade;

➤ Abaixo desse valor decresce rapidamente até aproximadamente 0.005kg.m<sup>-4</sup> aos 700m de profundidade e decresce mais lentamente abaixo desse nível para um valor cerca de 0.004 kg.m<sup>-4</sup> aos 3000m.

- Rápido aumento com a profundidade nos primeiros 100m associado à diminuição da Temperatura e aumento de salinidade;
- Aumento um pouco mais lento de densidade abaixo dos 700m onde a temperatura e a salinidade do oceano são mais uniformes;
- O aumento quase linear da densidade com o aumento da profundidade abaixo dos 1000m deve-se principalmente à compressão da água com o aumento da pressão da coluna de água acima



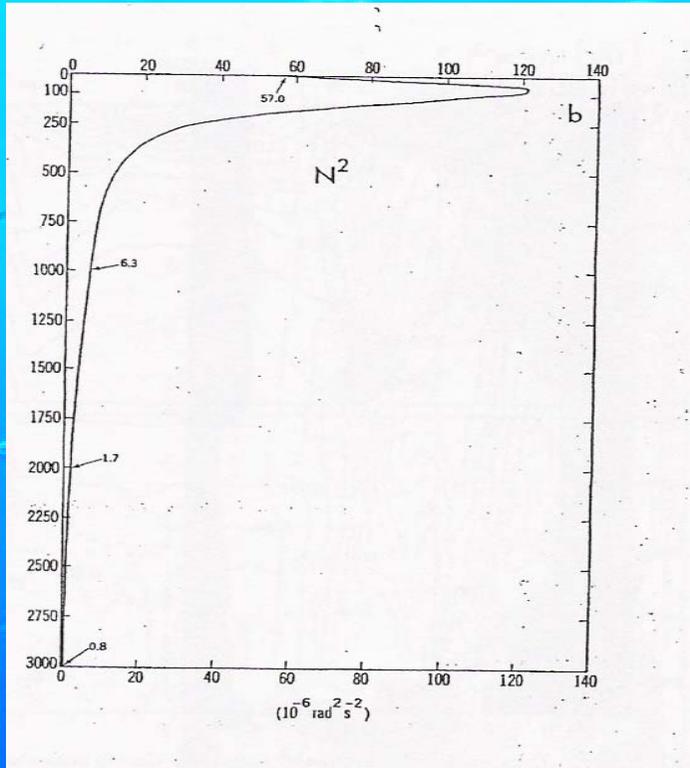
➤ De facto, abaixo dos 700m o valor da variação vertical da densidade é muito grande.

➤ A curva mostra valores muito pequenos da estabilidade local abaixo dos 700m.

➤ Esta curva não tem em conta os efeitos da compressibilidade e também não constitui uma medida adequada da estabilidade estatística.

➤ Uma melhor medida de estabilidade é dada pela curva  $-\frac{\delta\bar{\rho}}{dz}$ .

## Frequência de Brunt-Väisälä



➤ Os valores maiores de  $N^2$  ocorrem no nível da pycnoclina perto dos 75 m de profundidade com um valor a rondar 0.011 rad/s correspondendo a um período de oscilação de cerca de 10 min.

➤ A frequência de Brunt-Väisälä diminui com a profundidade até aos valores da ordem de 0.0009 rad/s ou um período de cerca de 2h no oceano profundo, indicando condições quase neutras de estabilidade nesses níveis.

film

24 de Abril de 2007