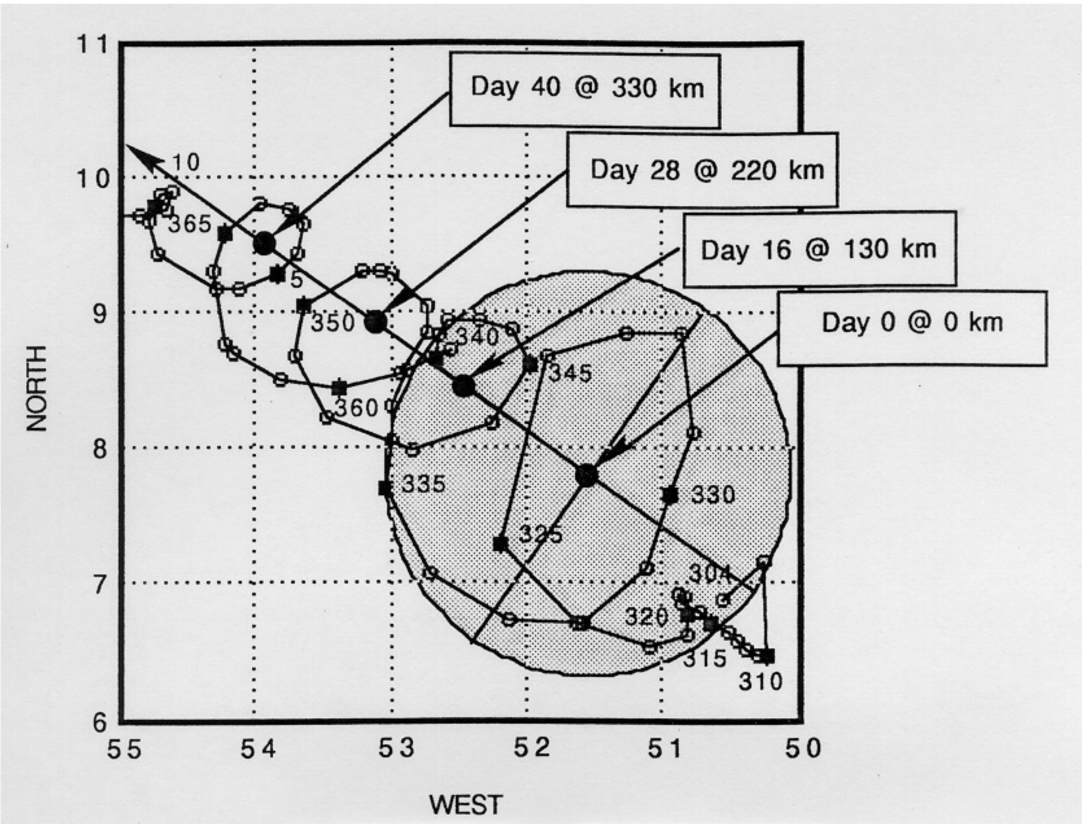
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DISCIPLINA: IOF-1222 OCEANOGRAFIA DINÂMICA II
PROFESSOR: ILSON CARLOS A. DA SILVEIRA
MONITOR: CÉSAR BARBEDO ROCHA

BLOCO DE EXERCÍCIOS # 1

1. ESPECIFICAÇÃO LAGRANGIANA

A figura abaixo mostra a trajetória de um bóia de deriva rastreada por satélite lançada como parte do Projeto WESTRAX para estudar a separação da Corrente Norte do Brasil. Esta bóia foi capturada por vórtice anticiclônico emitido pela corrente.



Pede-se então que:

(a) Explique como pode-se utilizar uma bóia de deriva para estudar escoamentos utilizando a especificação Lagrangiana;

(b) Justifique como a partir da trajetória espiralada da bóia chega-se à conclusão que a bóia está presa a um anticiclone.

(c) Estime a velocidade de translação do vórtice com base nos pontos negros (indicando o centro da estrutura). Faça uma estimativa simples da velocidade de rotação.

(d) Esboce como seria o exame desse vórtice visto sob a especificação Euleriana (Dica: desenhe dois ou três quadros explicando o deslocamento do vórtice).

2. ESPECIFICAÇÕES EULERIANA E LAGRANGIANA

Considere um estuário unidimensional, na forma de canal ao longo do eixo x.

No instante t=0, a distribuição de temperatura é linear, com um gradiente zonal de 0,1°C km^{-1}. Uma corrente flui para o interior do estuário com velocidade constante de 0,25 m s^{-1}.

(a) Um oceanógrafo, situado na localidade onde a temperatura é de 16°C, lança uma bóia de deriva no instante t=0. Esse oceanógrafo assume então que não há aquecimento ou resfriamento da água pelo sol ou qualquer outro agente externo. Se o oceanógrafo estiver certo, qual será a taxa de variação de temperatura registrada pela bóia?

(b) Novamente assumindo nenhum aquecimento ou resfriamento por agentes externos, qual seria a variação de temperatura observada pelo oceanógrafo fixo em sua localidade?

(c) Plote ou esquematize a evolução temporal do gradiente de temperatura do estuário entre t=0 e um tempo qualquer.

(d) Ao recolher a bóia algum tempo depois, o oceanogŕafo percebe que esta registrou um aquecimento constante de 0,2°C/hora no estuário. Com base nessa informação, corrija qual seria a variação local medida no ponto de observação do oceanógrafo.

3. FORÇA DO GRADIENTE DE PRESSÃO BAROTRÓPICO

Determine a força do gradiente de pressão, horizontal por unidade massa, atuante numa parcela de água do mar com massa unitária, situada a 1 m de profundidade na plataforma continental do Sudeste do Brasil, caso exista uma inclinação linear entre a costa e a quebra da plataforma em duas situações:

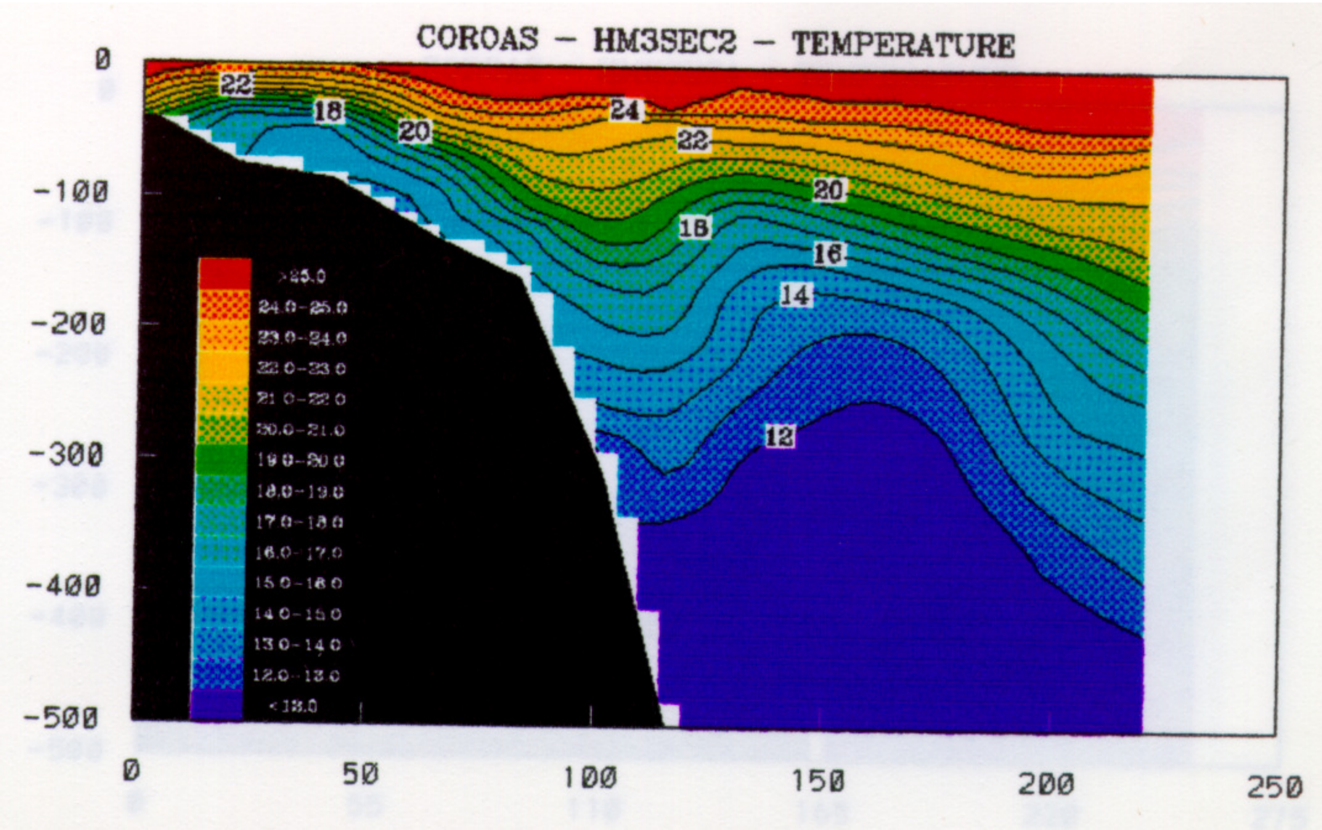
(a) O nível do mar está mais alto na costa em 0,1 m;

(b) O nível do mar está mais baixo na costa em 0,1 m;

Considere que as águas sejam homogêneas e que a largura da plataforma é 100 km.

4. FORÇA DO GRADIENTE DE PRESSÃO BAROCLÍNICO

Dada a seção de temperatura do Projeto COROAS, ao largo da cidade de Santos (vide figura abaixo), estime a direção da força baroclínica do gradiente de pressão horizontal a 300 m de profundidade entre as distancias de 125-150 km e 175-200km. Justifique suas respostas. Faça uma estimativa da magnitude dessa força usando as valores típicos de meso-escala visto em classe.



5. FORÇA DE CORIOLIS

O operador que relaciona a taxa de variação de um vetor num sistema referencial inercial em termos da taxa de variação deste mesmo vetor num sistema referencial que gira com velocidade angular $\vec{\Omega}$ é

$$\left(\frac{D}{Dt}\right)_I = \left(\frac{D}{Dt}\right)_R + \vec{\Omega}\times$$

(a) Demonstre que a expressão para aceleração no sistema inercial pode ser expressa por:

$$\vec{a}_I = \vec{a}_R + 2\vec{\Omega} \times \vec{v}_R + \vec{\Omega} \times \left(\vec{\Omega} \times \vec{r}\right) + \left(\frac{D\vec{\Omega}}{Dt}\right) \times \vec{r}$$

onde $\vec{r}$ é o vetor deslocamento e $\vec{v}_R$, o vetor velocidade no sistema referencial em rotação.

(b) Identifique cada termo e reescreva aquele que corresponde a aceleração centrípeta como

$$\vec{a}_{Ce} = - \mid \vec{\Omega} \mid^2 \vec{r}_\perp.$$

onde o vetor $\vec{r}_\perp$ representa a distância perpendicular do elemento de volume ao eixo de rotação do sistema.

6. VISCOSIDADE

Um vento zonal sopra homogeneamente sobre um lago circular de 100 m de raio. gerando correntes da ordem de 30 cm s^{-1} em superfíficie. A 1 m de profundidade, a velocidade é praticamente nula.

(a) Utilize a lei de atrito de Newton para estimar a tensão de cizalhamento na direção zonal devido ao cisalhamento vertical da corrente. Considere que a temperatura do lago está a 20° C para estimar o valor do coeficiente de viscosidade molecular.

(b) O número de Reynolds, definido por $Re = UL/\nu$, indica se o escoamento é turbulento ($Re > 10^5$) ou laminar ($Re < 10^5$). Avalie o número de Reynolds para o escoamento em questão e mostre que este é trubulento.

(c) Caso o escoamento seja turbulento, como você parametrizaria esse efeito? Estime a tensão cizalhamento para o caso trubulento.

7. O NÚMERO DE ROSSBY

O número de Rossby pode ser interpretado como uma medida da importância da rotação da Terra no movimento que se deseja investigar. Esse número pode ser escrito como:

$$\varepsilon = \frac{U}{\mid f_0 \mid L}, \tag{1}$$

onde f_0 é valor do parâmetro de Coriolis na região de interesse. Então,

(a) Calcule o número de Rossby para o vórtice formado em sua pia (ou banheira), estimando uma escala de movimento L e considerando uma velocidade de 50 cm s^{-1}. A rotação da Terra é importante para esse movimento? (Considere a latitude de São Paulo em seus cálculos)

(b) Calcule o número de Rossby associado aos meandros, de cerca de 100 km, da Corrente do Brasil ao largo do Sudeste brasileiro, considerando uma velocidade típica de 50 cm s^{-1}

(c) Estime uma velocidade orbital de partículas típica em uma onda de 300 km de comprimento de onda sabendo que a influência da rotação se faz presente nesse tipo de movimento.

8. CONSERVAÇÃO DA MASSA

A equação da conservação da massa pode ser escrita como:

$$\frac{1}{\rho}\frac{D\rho}{Dt} = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) . \tag{2}$$

(a) Qual o significado dos dois termos que compõem a Eq. (2)?

(b) Usando escalas oceânicas típicas de meso-escala vista em classe, mostre que o primeiro termo é desprezível se comparado ao segundo (lembre-se que $\Delta\rho$=1 kg/m^3).

(c) Esse resultado se alteraria para movimentos de pequena escala? Justifique.

(d) Qual a consequência física da Eq. (2) nos oceanos ficar aproximada pelo segundo termo apenas?

9. CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR (I)

A componente zonal da equação do movimento para escoamentos não-acelerados no meio das bacias oceânicas pode ser escrita como:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + fv + A_v\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 , \tag{3}$$

onde A_v é o coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta. Um valor típico de A_v para o Atlântico Tropical Sudoeste é 10^{-2} m^2/s.

(a) Identifique os três termos da Eq. (3);

(b) Utilizando as mesmas escalas do problema anterior, mostre que o último termo do primeiro membro é desprezível se comparado ao segundo;

(c) Qual a escala vertical de movimento adequada para que os três termos sejam relevantes na Eq. (3)?

10. CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR (II)

Considere uma onda de gravidade de período de 10 s e 100 m de comprimento se propagando zonalmente num oceano homogêneo de 1000 m de profundidade numa dada latitude subtropical. Partindo da componente zonal linearizada da equação de conservação do momento linear

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv \quad = \quad -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + A_H\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + A_V\frac{\partial^2 u}{\partial z^2},$$

(a) Quantifique a razão entre os termos de aceleração local e aceleração de Coriolis. Qual o significado do valor encontrado? Considere o valor da velocidade orbital das parcelas de fluido na onda como U=0.6 m/s e $\bar{\rho}$=1000 kg/m^3.

(b) Justifique e quantifique por que o termo da força de atrito turbulento horizontal por unidade de massa pode ser desprezado para o estudo deste movimento ondulatório. Considere A_H=10 m^2/s.

(c) Justifique e quantifique por que o termo da força de atrito turbulento vertical por unidade de massa pode ser para o estudo deste movimento ondulatório. Considere A_V=10^{-1} m^2/s.

(d) Estime qual seria a escala para a variação de pressão associada à passagem da onda.

(f) Qual a profundidade que teria de ter este oceano para que o termo de atrito turbulento vertical fosse tão importante no balanço quanto o do gradiente de pressão?