

Massas de Água e Frentes Oceânicas

Sueli Susana de Godoi - ssdgodoi@usp.br

Laboratório de Dinâmica Oceânica - www.lado.io.usp.br
Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica
Instituto Oceanográfico
Universidade de São Paulo

outubro 2020

Massas de Água

- *O significado de Massas de Água*
- O significado de massas de água é melhor compreendido nos oceanos pela analogia com as massas de ar na atmosfera.
- O conceito de massas de ar está intimamente ligado com a previsão do tempo, a qual é norteadas pelas mudanças no tempo, passagens de sistemas frontais entre outros aspectos.

- *O significado de Massas de Água*
- O oceano e a atmosfera são fluidos em movimento turbulento.
- Há, portanto, uma analogia entre ambos fluidos, a qual é usualmente apreciada no contexto da dinâmica de fluidos geofísicos.

Massas de Água

- *O significado de Massas de Água*
- Assim, como as massas de ar na atmosfera, as massas de água, nos oceanos, são entidades físicas com um volume mensurável e ocupam um espaço finito nos oceanos.
- Em sua região de formação, as massas de água ocupam uma camada da coluna de água exclusiva.
- Externamente a essa região compartilham o oceano com outras massas de água, com as quais se misturam (Tomczak , 1999).

- *O significado de Massas de Água*
- Considerando que o ambiente natural é complexo, tal definição de massas de água deixa espaço para decisões subjetivas.
- Há necessidade de uma série de classificações e definições para se ter uma definição relativamente mais precisa e robusta.
- Solução: é necessário incluir conceitos relacionados com os processos de formação de massas de água e o ciclo de vida das massas de água.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água*

No ambiente marinho três processos físicos podem ocorrer para explicar a formação de massas de água:

- convecção;
- subdução e
- mistura subsuperficial.

As definições apresentadas a seguir são baseadas na pesquisa de Tomczak (1999). Detalhes podem ser consultados no referido artigo.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Convecção*

A convecção é um processo de formação onde a densidade da água na superfície oceânica se eleva por resfriamento ou por evaporação.

- Este processo conduz ao afundamento de água para profundidades onde o equilíbrio hidrostático é restabelecido.
- A subsidência das parcelas individuais por convecção não chega a algumas centenas de metros.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Convecção*

- Porém o efeito acumulativo pode atingir profundidades muito maiores.
- Após afundar a recém-formada massa de água se afasta da sua região de formação, sendo transportada por correntes dominantes na mesma profundidade.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Convecção*

- Massas de água formadas por convecção são caracterizadas pelo contato/troca com a atmosfera, e pela homogeneização por mistura na região de convecção.
- Consequência: isto resulta em propriedades extremamente uniformes por um amplo intervalo de profundidade.
- O processo de convecção é característico para formação da Água Profunda e de Fundo.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Subducção*

- A subducção é um processo de formação pela combinação da ação do vento e do resfriamento.
- A convergência do transporte de Ekman, conhecida como bombeamento de Ekman negativo ou subsidência, "empurra" água para baixo ao longo das superfícies isopícnas.
- Este movimento é extremamente lento e, no fim do outono e inverno, é ultrapassado pelo espessamento da camada de mistura.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Subducção*

- As parcelas de água são misturadas convectivamente e, como resultado, há o resfriamento da superfície.
- A maioria das parcelas que afundaram, devido ao bombeamento de Ekman negativo, é, no inverno, retornada para a camada de mistura e suas propriedades se tornam uniformes.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Subducção*
- Quando estabelece-se na primavera a picnoclina sazonal, a camada de mistura é isolada novamente compreendendo uma delgada camada de água quente.
- No entanto, o bombeamento de Ekman continua atuando e eventualmente move a água para baixo e para fora do alcance da camada de mistura no próximo inverno.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Subducção*
- Deste modo, a água é injetada no interior do oceano.
- Este processo foi sugerido primeiramente por Stommel (1979) como sendo o responsável pela formação da Água Central.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água: Subducção*
- A Água Intermediária também é formada pelo processo de subducção em latitudes maiores, e, por conseguinte, com maior efeito da componente termodinâmica do processo (Tomczak & Godfrey, 1994).
- Uma das características da subducção é que a água que experimenta esse processo é geralmente saturada em oxigênio.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água:
Mistura Subsuperficial*
- O processo mistura subsuperficial é o único que não remete à interação oceano-atmosfera,
- Não é tão comum como as outras duas formas de formação de massas de água.

Massas de Água - Processos de Formação

- *Processos de Formação de Massas de Água: Mistura Subsuperficial*
- Ocorrência: quando parte de duas ou mais massas de água encontram-se e misturam-se tão intensamente, que na região onde ocorre a mistura encontra-se uma água com propriedades bem definidas e distintas daquelas massas de água precursoras.
- Consequência: massa de água espalha-se pelo oceano, e é, então, considerada uma massa de água recém-formada.
- A massa de água mais proeminente formada predominantemente por este processo é a Água Circumpolar no sul dos oceanos Pacífico e Atlântico (Thompson & Edwards, 1981).

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Tópico trata de processos ativos após a formação da massa de água (Tomczak, 1999):

Evolução das Massas de Água

- Consolidação ou Homogeneização
- Envelhecimento ou Modificação e
- Mistura

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Decaimento das Massas de Água

- Absorção e
- Transformação

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Evolução das Massas de Água

- Consolidação ou Homogeneização

Primeiro processo que ocorre é a consolidação da massa de água:

- Consiste na homogeneização da massa de água pela mistura.
- Pode ocorrer mesmo na ausência de mistura com outra massa de água
- Isto é, pode ocorrer também em situações onde a massa de água possui exclusividade na camada que ocupa.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Evolução das Massas de Água

- Consolidação ou Homogeneização

- Efeito da consolidação da massa de água: pode eliminar diferenças verticais de propriedades da massa de água
- O processo auxilia a formar uma distribuição mais uniforme dos gradientes das propriedades e, conseqüentemente, diminui o desvio padrão associado.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Evolução das Massas de Água

- Envelhecimento ou Modificação

- Um segundo processo que ocorre assim que a massa de água escoa da sua região de formação é o envelhecimento ou modificação da massa de água.
- Ocorre independentemente da mistura com outras massas de água.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Evolução das Massas de Água

- Envelhecimento ou Modificação
 - O efeito atua apenas nas propriedades não-conservativas, por meio de seu comportamento físico-químico e bioquímico.
 - Consequência: a massa de água sofre mudanças mesmo quando é a única a ocupar determinada profundidade no oceano.
 - isto é, o envelhecimento ou modificação da massa de água altera suas propriedades não-conservativas.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Evolução das Massas de Água

- Mistura

- O terceiro processo é a mistura que ocorre entre duas ou mais massas de água.
- A mistura não resulta nas mudanças de propriedade das massas de água no espaço físico.
- Mas, produz novas combinações de propriedades que não são encontradas nas massas de água precursoras.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*
- Evolução das Massas de Água

Conclusão:

A sequência da consolidação, envelhecimento e mistura pode ser descrita como o período de evolução da massa de água.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Decaimento das Massas de Água

- Absorção da Massa de Água

- Eventualmente, as massas se misturam de tal maneira que não podem mais ser identificadas como uma mistura.
- Em algumas situações, podem desaparecer sem deixar traços.
- Exemplo: Água do Mediterrâneo - é absorvida pela Água Profunda do Atlântico Norte ao deixar o estreito de Gibraltar.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

Decaimento de Massas de Água

- Transformação da Massa de Água

- Há situações em que as massas de água podem desaparecer por ter se transformado em outra.
- O processo de transformação de massa de água está sempre associado ao processo de formação de massas de água por mistura subsuperficial.

Massas de Água - Ciclo de Vida

- *Ciclo de Vida das Massas de Água*

- Decaimento das massas de água

Conclusão:

A absorção e transformação de massas de água são as duas possíveis formas da fase final da vida das massas de água, que pode ser chamada de decaimento.

- Stommel, H., 1979: Determination of water mass properties of water pumped down from the Ekman layer to the geostrophic flow below. *Process National Academics Science*, 76 (7), 3051–3055.
- Thompson, R. O. R. Y. & Edwards, W., 1981: Mixing and water-mass formation in the Australian Subantarctic. *Journal of Physical Oceanography*, (11), 1399–1406.
- Tomczak, M., 1999: Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis. *Journal of Marine Research*, (57), 275–303.
- Tomczak, M. & Godfrey, J.S., 2003: *Regional oceanography: an introduction*. 2nd edn, Pergamon, Great Britain. 422 pp.