

Universidade de São Paulo  
Instituto de Física

Circulação Termohalina

Professor Henrique Barbosa

Aluno André Luis V F Leite

As correntes oceânicas podem ser geradas por circulação dos ventos e circulação termohalina.

Circulação dos ventos:

1- ventos de baixa intensidade colocam a água do mar em movimento e há os de maior intensidade, obviamente.

2- a circulação gerada pelo vento se situa mais nos primeiros 1000 m da coluna de água considerada.

3- São importantes as correntes oceânicas na redistribuição de calor.

4- O calor que fica um tanto acumulado é desviado para os pólos.

O balanço geostrófico

Esse balanço acontece no interior do oceano e da atmosfera

É dado pelo equilíbrio entre a Força do Gradiente de Pressão e a Força de Coriolis, que ocorre devido aos movimentos de rotação do planeta.

Dados para uma determinada profundidade de 1000 m no oceano...

distância  $L = 1.000.000$  m...

velocidade horizontal  $U = 0,1$  m/s

profundidade  $H = 1000$  m.

$F = 0,0001$  [1/s]

densidade  $w = 1000$  kg/m<sup>3</sup>

aceleração da gravidade  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>

Nesse exemplo ideal consideramos um equilíbrio estacionário.

Derivadas parciais

$$F_u.r = (-1dP/ dy) \quad (1) \quad F_v.r = 1(dP/dx) \quad (2) \quad -g.r = (dP/dz) \quad (3)$$

Equilíbrio na vertical para a expressão (3).

x, y, z são as coordenadas cartesianas...

r é a densidade

P é a pressão

F é chamado de parâmetro de Coriolis

A pressão de um ponto em uma coluna de água se faz em função do peso da água que está acima desse, que é função da densidade  $r(S,T,P)$  e da altura da coluna de água. S no caso seria a salinidade, que seria medida por exemplo em partes por milhar.

O **vento geostrófico** é o vento teórico que iria resultar de um balanço entre o efeito Coriolis e a força do gradiente de pressão. Essa condição é chamada de *balanço geostrófico*.

Gradiente de pressão mostra em que direção a taxa de pressão muda mais rapidamente. Como unidades se tem o pascal por metro.

### Circulação Termohalina

Processos relacionados com trocas de calor (aquecimento, resfriamento, evaporação, precipitação).

A **circulação termohalina** ou **termossalina** refere-se à circulação oceânica global movida pelas diferenças de densidade das águas dos oceanos devido a variações de temperatura ou salinidade em alguma região oceânica superficial. O aumento de densidade pode ocorrer devido ao arrefecimento da água, ao excesso de evaporação sobre a precipitação ou ainda à formação de gelo e consequente aumento de salinidade das águas vizinhas.

### Mecanismo da CTG

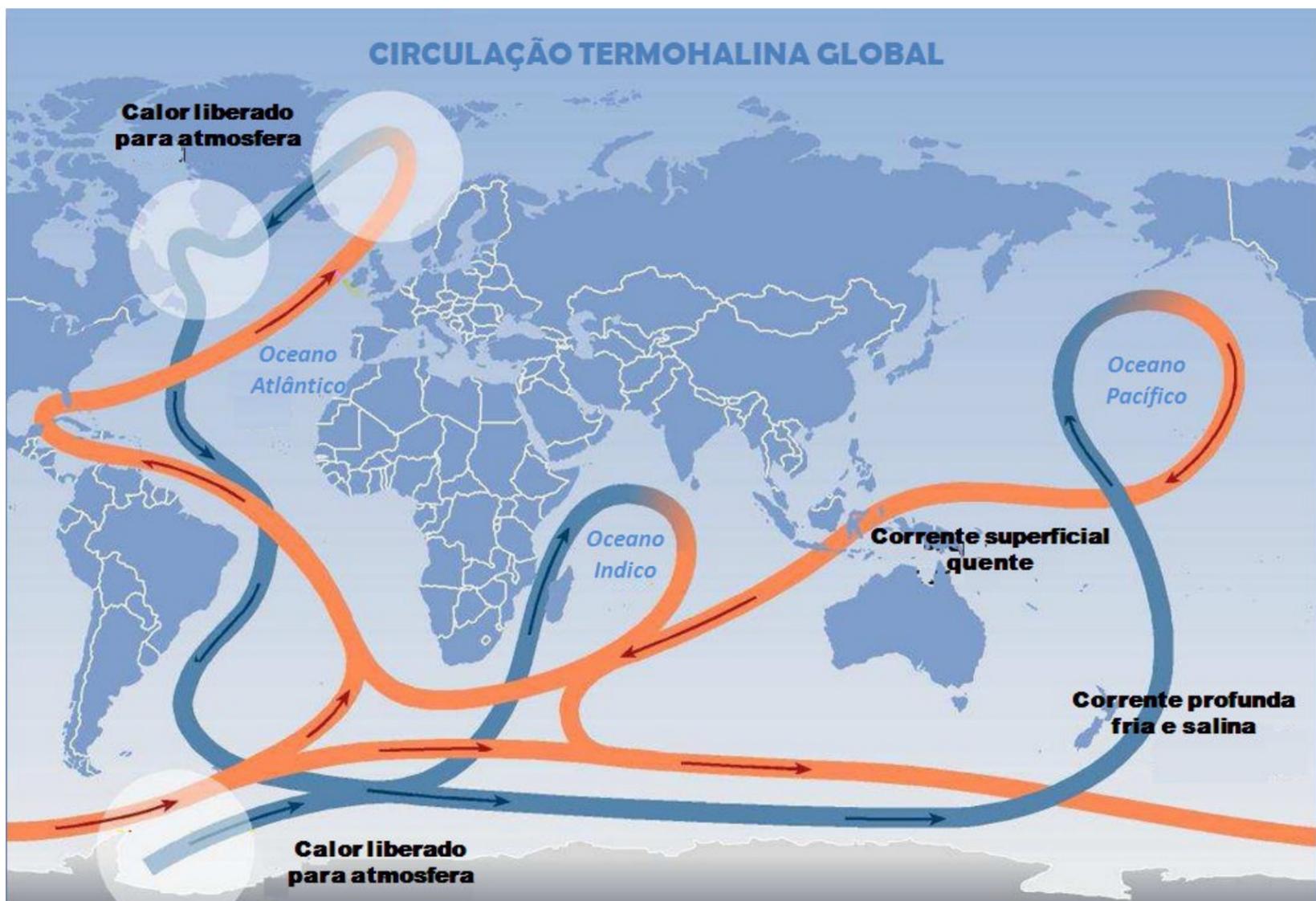
O aumento da densidade da água na superfície faz com que esta se afunde e desloque água profunda; assim, a origem da circulação termohalina é um fluxo vertical de água superficial, mergulhando a uma profundidade intermediária ou próxima ao fundo, dependendo da densidade dessa água. O prosseguimento é um fluxo horizontal, com as águas recém-afundadas

deslocando as antigas residentes no local. Como o processo de formação de águas densas está principalmente ligado à redução de temperatura ou aumento de salinidade devido à formação de gelo, geralmente as correntes termohalinas originam-se em altas [latitudes](#). Estas águas frias e densas afundam e lentamente fluem em direção ao [equador](#).

A circulação termohalina é, deste modo, importantíssima no estabelecimento das características dos [oceanos](#) profundos. O conteúdo relativamente alto de [oxigênio](#) das águas profundas em relação às águas mais superficiais reflecte a sua origem [polar](#). Sem a fonte superficial desse gás, as águas profundas dos oceanos poderiam esgotar o oxigênio pela [oxidação](#) do [material orgânico](#) que contêm.

A velocidade das correntes termohalinas é muito pequena, cerca de 1 cm/s. Usando-se o conceito de [tempo de residência](#), que é o tempo médio que uma dada substância (água profunda, neste caso) permanece no oceano antes de ser reciclada, podem ser necessários cerca de 500 a 1000 anos para repôr toda a água profunda do [Oceano Atlântico](#).

A Circulação Termohalina corresponde a 80-90% do volume de água dos oceanos.



As zonas de formação da APAN, água profunda do Atlântico Norte e AFA, água de fundo antártica são designadas pelos círculos.

As massas de água deslocam-se através das bacias oceânicas por gradientes de densidade e gravidade.

A diferença de densidade (“gradiente de densidade) é dada em função das diferenças de temperatura, salinidade e pressão;

Nas regiões de altas latitudes, as massas d’água perdem calor para a atmosfera e afundam devido ao aumento da densidade.

Há variações em escalas climáticas...

Escala global.

Densidade da água do mar:

fatores diretamente responsáveis: temperatura e salinidade

No caso da salinidade, influencia muito o derretimento do gelo e congelamento da água. Como consequência, haverá alteração na densidade da água.

Esses processos que alteram a densidade da água do mar influenciam muito nas correntes oceânicas, que poderão influenciar no tempo e clima de diversas regiões da Terra.

Uma consequência desse processo é a circulação termohalina global, também denominada de esteira transportadora. (conveyor belt).

Consiste no transporte de massas oceânicas envolvendo diferenças na densidade da água do mar, que está em função de variações na salinidade e na temperatura.

As águas quentes e com muito sal do Oceano Atlântico, que partem da região equatorial, fluem na direção norte, aquecendo a atmosfera.

Quando alcançam as regiões dos mares do Labrador, Groenlândia, Islândia e Noruega, perdem calor e submergem para regiões oceânicas de subsuperfície.

Essa massa de água se chama água profunda do Atlântico Norte (APAN), e em função de variações na continuidade e densidade, desloca-se para o sul. A partir de 30 graus ao sul ela se junta ao ramo norte da corrente circumpolar antártica.

Logo após a APAN é parcialmente misturada com outra corrente profunda, produzida na Antártica denominada água de fundo antártica (AFA).

Espalha-se então essa massa pelos Oceanos Índico e Pacífico, em relativa grande profundidade, havendo ao longo de sua trajetória um aquecimento paulatino, ressurgindo superficialmente em regiões norte dos Oceanos Índico e Pacífico, com o nome de CTG. Que é uma sigla para Circulação Termohalina Global.

A densidade da água do mar depende de dois fatores, salinidade e temperatura.

A Circulação Termohalina Global tem como origem o Oceano Atlântico Norte.

A Corrente do Golfo do México, ramo superior da CTG, leva uma quantidade de calor muito maior que o ramo inferior.

Transporte de calor do Oceano Atlântico Norte pode atingir valores de 1 petawatt. (PW) =  $10^{15}$  W.....

A CTG Norte é responsável pelo transporte de quantidades de calor em direção à Europa.

Disso resultam invernos não tão frios no oeste europeu.

Processo de formação circulação de circulação profunda é importante muito para o transporte de calor, salinidade, oxigênio e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)... Há então

1- Há obviamente as interações dinâmicas entre as águas mais profundas e frias mais e as águas mais quentes mais da superfície e superficiais...

2- O volume das águas profundas é muito maior ao volume das águas superficiais. Nas águas mais profundas a circulação é feita com menos velocidade, porém são transportadoras energéticas ativas e relativamente com um grau grande.

3- O fluxo de calor e de outras variáveis realizados pelas circulações profundas influenciam no clima do planeta. Há escalas que vão de décadas a milênios, etc, sobre esses fluxos e sobre esses balanços de calor no planeta.

Inferese que houve mudanças climáticas abruptas durante a última era glacial. A CTG contribuiu decisivamente nesse processo, com rápidas variações da mesma.

Tal foi determinado pelos eventos chamados de Dansgaard-Oeschger (fase quente) e Heinrich (fase fria), com mudanças de temperatura na Groenlândia de 15 graus Celsius.

Os efeitos de Dansgaard-Oeschger (DO) foram eventos climáticos de flutuações climáticas que teriam ocorrido durante e ao final da última era glacial.

Perto de 23 eventos foram dados como ocorridos em um período de 100 mil anos.

No Hemisfério Norte por exemplo, houve o fenômeno ligado ao DO, flutuações climáticas em que por algumas décadas houve um rápido aquecimento e resfriamento durante longo relativo tempo.

Rahmstorf disse que a fase quente ocorria em função de mudanças na convecção entre o Oceano Atlântico em médias latitudes e os Mares Nórdicos. O aquecimento ocorreria pela entrada das águas mais aquecidas do Oceano Atlântico para os Mares Nórdicos.

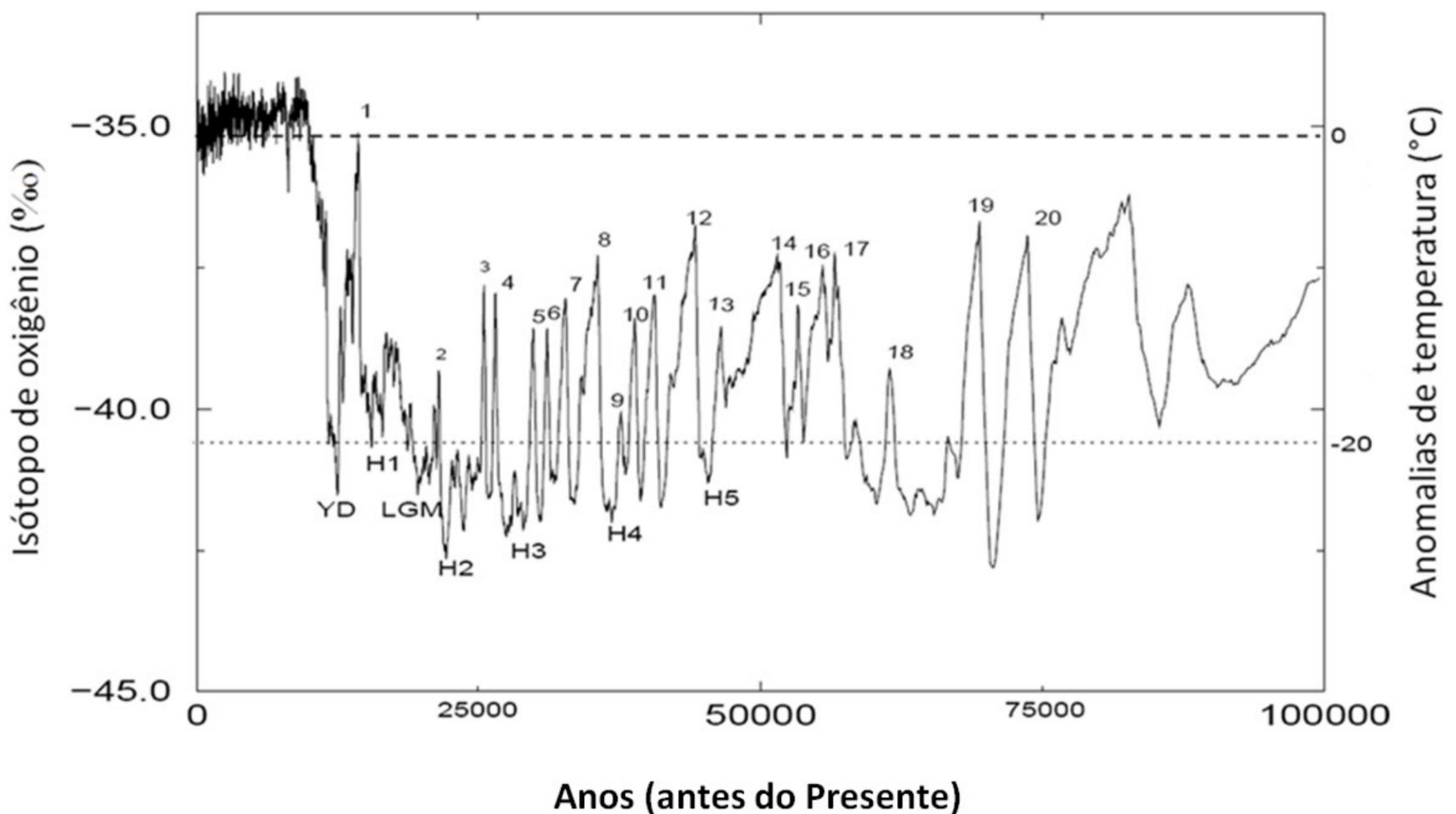
A fase fria ou de Heinrich ocorreria pelos grandes icebergs que se moviam no Oceano Atlântico Norte. Eles encontravam águas mais quentes e derretiam, gerando água doce e então havia parcial interrupção da CTG.

Oscilações no sistema climático essas tiveram impacto global, com áreas de atuação na América do Sul, Pacífico Norte, Pacífico Sul, Bacia de Santa Bárbara, Mar da Arábia, Mar da China Meridional.

A evaporação cumpre importante papel na estabilização do clima do planeta.

O aquecimento global tem derretido as geleiras.

Muitos gases poluentes são emitidos, como o CO<sub>2</sub>, metano, etc...



Eventos de Dansgaard-Oeschger e de Heinrich ocorridos no último período glacial.

Fonte: Adaptada de Justino (2004).

Tem-se os anos antes do presente.

O aquecimento global influencia diretamente a CTG

1-Mudanças no clima podem limitar a perda de calor nos oceanos em altas latitudes, onde há convecção profunda. Assim a temperatura da superfície do mar fica mais quente, com redução da densidade de águas superficiais.

2-Algo relacionado ao aquecimento global é o ciclo hidrológico global, que se intensifica. Há a relação entre precipitação (P) e evaporação (E). Há uma diferença entre (P) e entre o tema (E), sendo que em altas latitudes, essa diferença se torna mais positiva e mais negativa em baixas latitudes.

Isso dá aumento de água doce nos Oceanos Ártico e Atlântico Norte e aumenta o derretimento do gelo nos mares.

Escoamento superficial pelo derretimento do gelo continental e neve.

A formação de água chamada de profunda é muito sensível à salinidade

Um aumento de 0,1 Sverdrup (sv), sendo que 1 Sv= 1.000.000 m<sup>3</sup>/s no fluxo de água doce do Atlântico Norte pode em grande interromper o processo de formação das chamadas águas profundas.

Assim, 1 PW de calor deixariam de ser transportados.

O clima na Europa esfriaria.

Bryden relatou que a CTG enfraqueceu perto de 30% entre os anos de 1957 e 2004.

A maior parte das medições sobre CTG se concentra no Hemisfério Norte.

Dahl afirma que as condições muito frias do Atlântico Norte enfraquecem a CTG levam a um deslocamento para o sul da zona de convergência intertropical (ZCIT).

Ventos alísios de nordeste se modificam

Precipitação no Atlântico Tropical são alterados

Há alteração na precipitação no Nordeste do Brasil.

Justino coloca que o enfraquecimento da CTG provoca um aquecimento do Hemisfério Sul

Para Machado, usando dados de 0,4 Sv de água doce do Oceano Atlântico Norte, o enfraquecimento da CTG em latitudes médias e altas da

América do Sul faria haver uma variação de até 10 graus Celsius nessas regiões.

A adição de 1 Sverdrup de água doce no Atlântico Norte afeta muito significativamente a formação das chamadas águas profundas e a Corrente Termohalina Global (CTG).

A CTG além do calor é importante para o transporte de oxigênio, salinidade, dióxido de carbono. E há o abastecimento das profundezas com esses elementos, gerando então uma riqueza nesse ambiente.

## Referências

[https://static.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd\\_capitulo13.pdf](https://static.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd_capitulo13.pdf)

Resposta das Circulações Oceânica e Atmosférica Associada ao Enfraquecimento da Circulação Termohalina Global.

Jéferson Prietsch Machado

Wikipédia

