

FISB24

Oceano Índico

Mauro Cirano

ICE (°F) 40 50 60 70 80 90



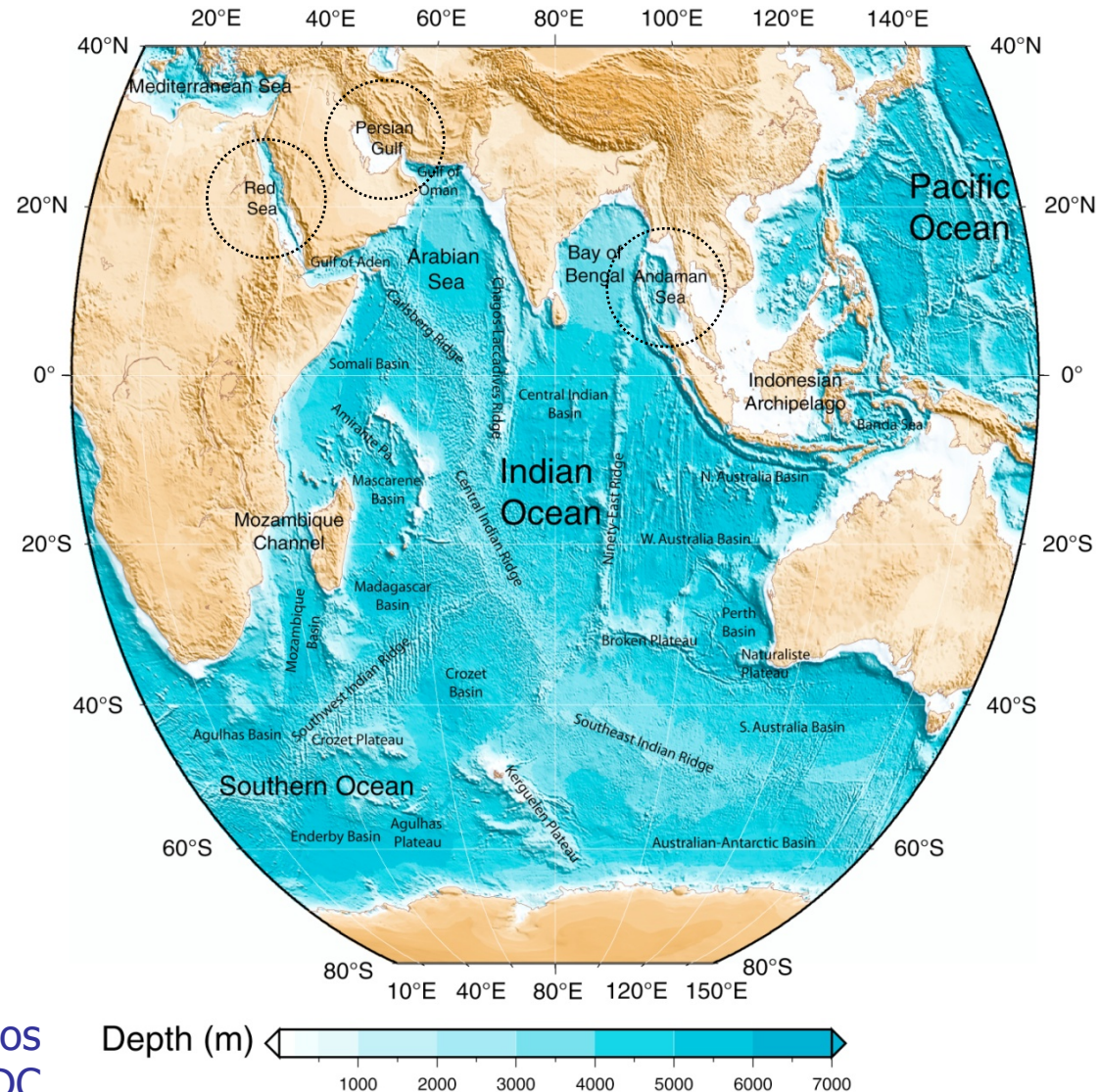
# Sumário

---

- Introdução
- Forçantes
- Circulação do Oceano Índico Tropical
- Circulação do Oceano Índico Sul
- Passagem da Indonésia
- Fluxos do Mar Vermelho e do Golfo Pérsico
- Circulação Intermediária e Profunda
- Massas de Água

# Introdução

- O Oceano Índico (OI) é o menor entre os 3 oceanos principais
- É fechado por continentes ao norte da região tropical
- A topografia do OI é muito variável
- A porção equatorial é conectada com o OP através da Passagem da Indonésia
- Os mares marginais incluem: o Mar de Andaman, o Mar Vermelho e o Golfo Pérsico

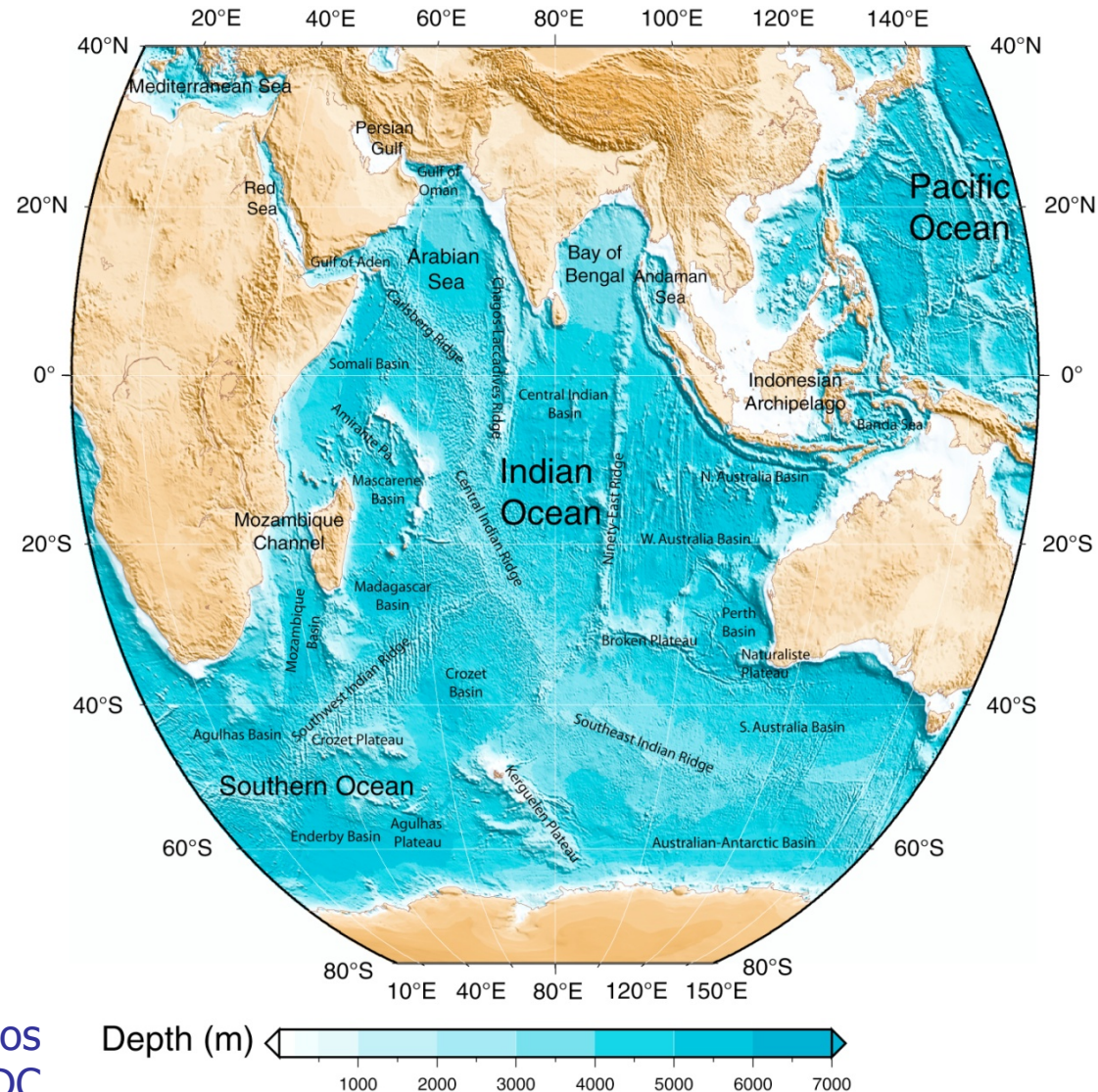


Batimetria do Oceano Índico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008)



# Introdução

- O aquecimento diferenciando entre oceano e continente na região tropical da origem ao **sistema de monções**
- Outubro – Maio: monções de NE, ventos secos continentais
- Junho – Setembro: monções de SW, calor, chuvas

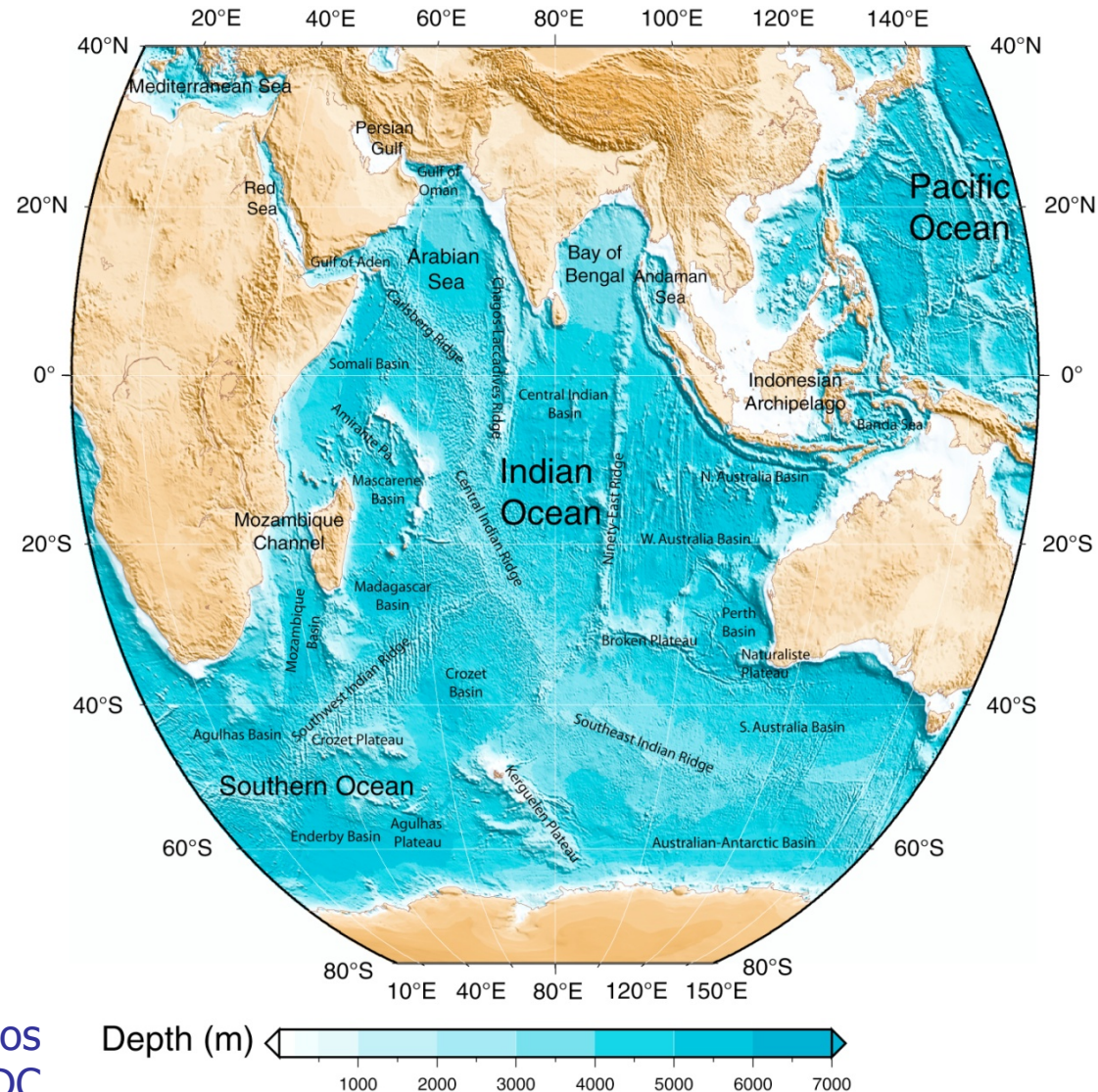


Batimetria do Oceano Índico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008)



# Introdução

- A maioria da drenagem dos rios ao sul dos Himalaias desagua na Baía de Bengala, que apresenta águas menos salinas
- As regiões a oeste da Índia, o Mar da Arábia, o Mar Vermelho e o Golfo Pérsico apresentam clima seco e alta evaporação, sendo caracterizados por águas mais salinas



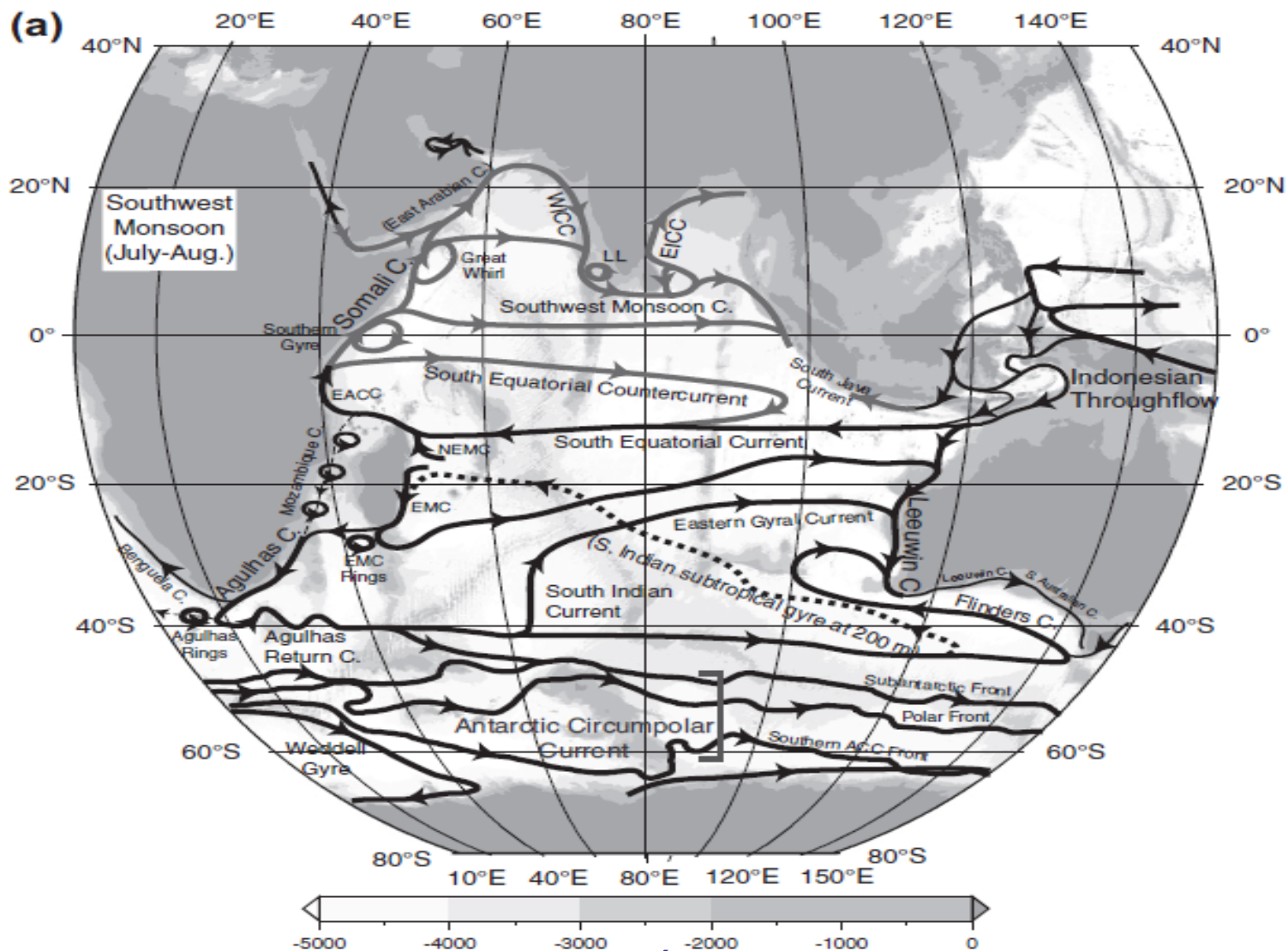
Batimetria do Oceano Índico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008)



# Introdução

---

- O OI foi explorado depois do OA e OP
- As primeiras observações extensivas ocorreram entre 1962 e 1965 dentro da Expedição internacional do OI, a qual foi sumarizada no **Atlas Oceanográfico da Expedição internacional do OI**
- Entre 1980 e 1990 o OI também foi explorado no contexto do WOCE
- Vários programas nacionais e internacionais também contribuíram para o aumento das informações sobre a circulação e massas de água no OI
- Atualmente o OI está totalmente integrado no sistema de observação global (e.g. RAMA, ARGO, etc)
- Os principais regimes no oceano superior no OI são o giro subtropical do OI Sul e a circulação forçada pelo sistema de monções no OI tropical e no HN



Esquema da circulação superficial do Oceano Índico. Preto representa os fluxos que não apresentam reversões sazonais. Cinza representa a circulação de monção de Sudoeste. A linha pontilhada representa a circulação a 200 m. Siglas: EACC - East African Coastal Current; EICC - East Indian Coastal Current; EMC - East Madagascar Current; LH e LL, Lakshadweep high and low; NEC - North Equatorial Current; NEMC - Northeast Madagascar Current e WICC - West Indian Coastal Current. Extraído de Talley et al (2011).





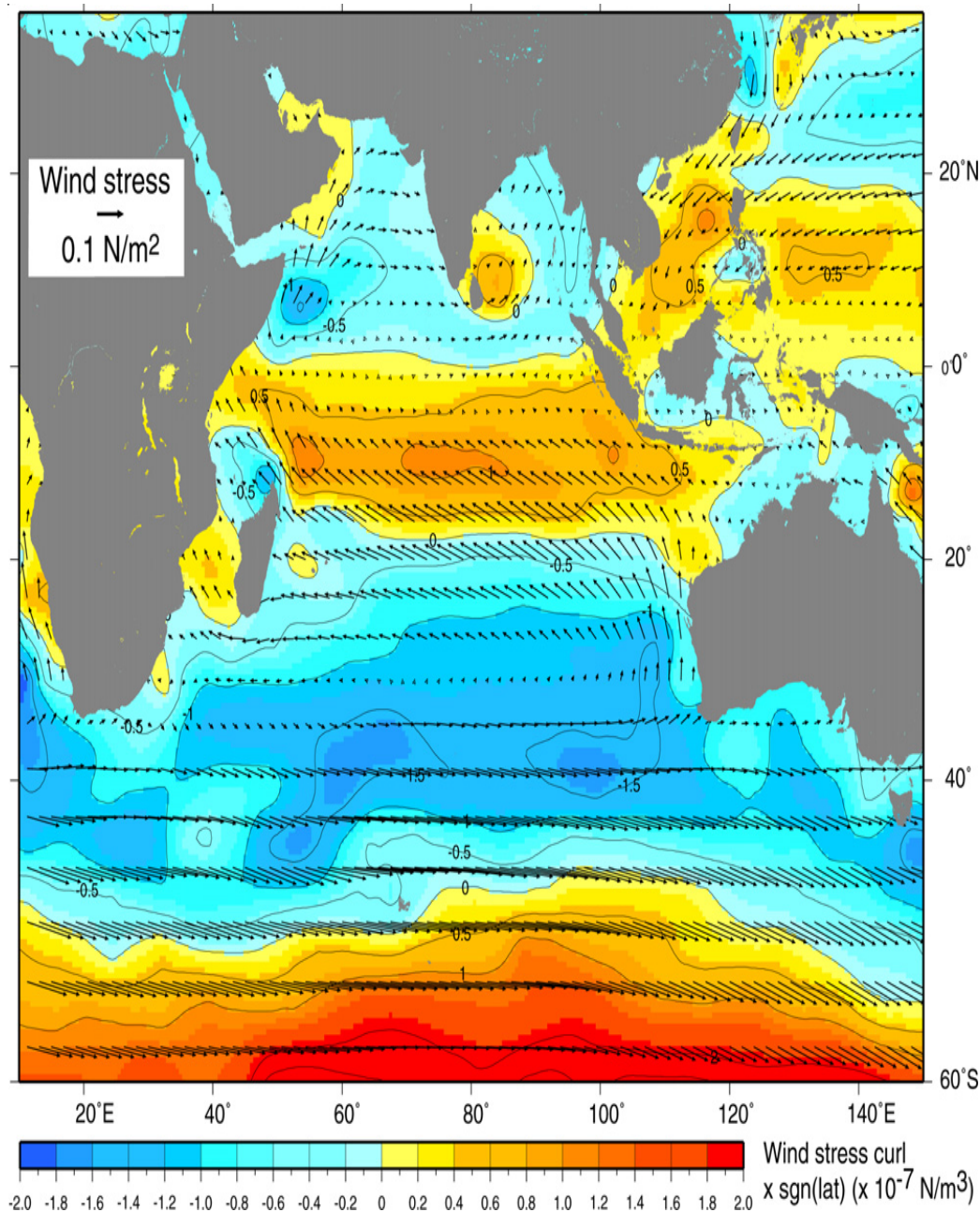
# Forçantes: Regime de ventos

---

- O padrão de ventos do OI é bastante particular
  - No OI Sul, o padrão de ventos é similar ao do OA e OP com ventos alísios em baixas latitudes e ventos de oeste nas altas latitudes
  - O OI Norte, no entanto, é dominado pelos ventos de monções, que mudam a circulação oceânica sazonalmente

- **Regime Médio de Ventos**

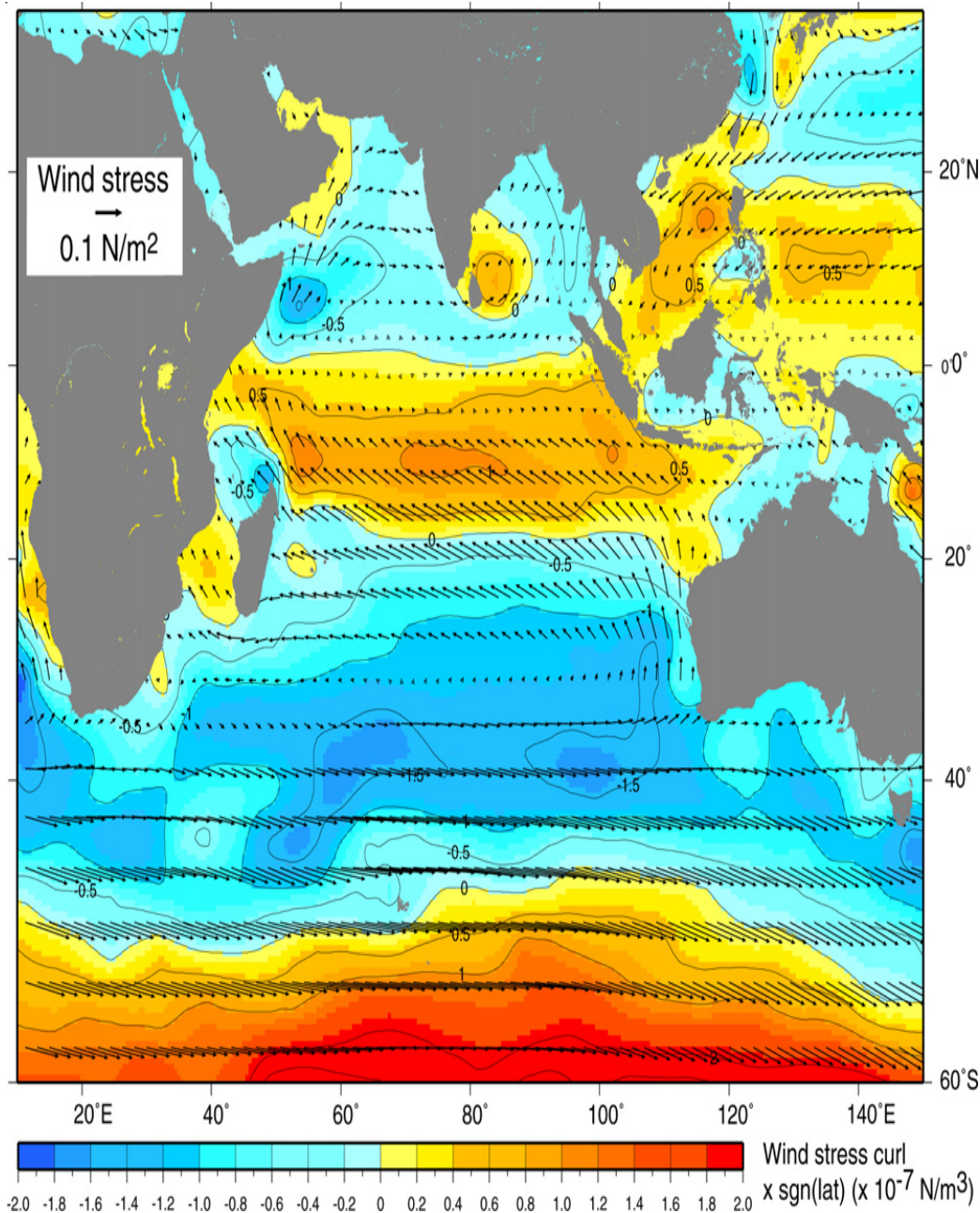
- Regime médio de ventos no HS resulta em um giro subtropical anticiclônico, havendo convergência e subsidência na região entre 10°S a 50°S
- O giro subtropical, além de ser forçado pelos ventos do OI, é influenciado pelos ventos do OA Sul. Assim o giro subtropical “escapa” do contorno oeste e continua bem mais a oeste na costa da América do Sul
- Portanto, o forçamento atmosférico garante que os giros subtropicais do OI e do OA Sul estejam conectados



Campo médio anual de ventos para o Oceano Índico. Tensão do vento ( $\text{N/m}^2$ ) (vetores) e rotacional da tensão do vento ( $\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$ ) (cores), multiplicado por -1 no HS. Dados de Reanálise do NCEP 1968-1996 (Kalnay et al., 1996). Extraído de Talley et al (2011).

## • Regime Médio de Ventos

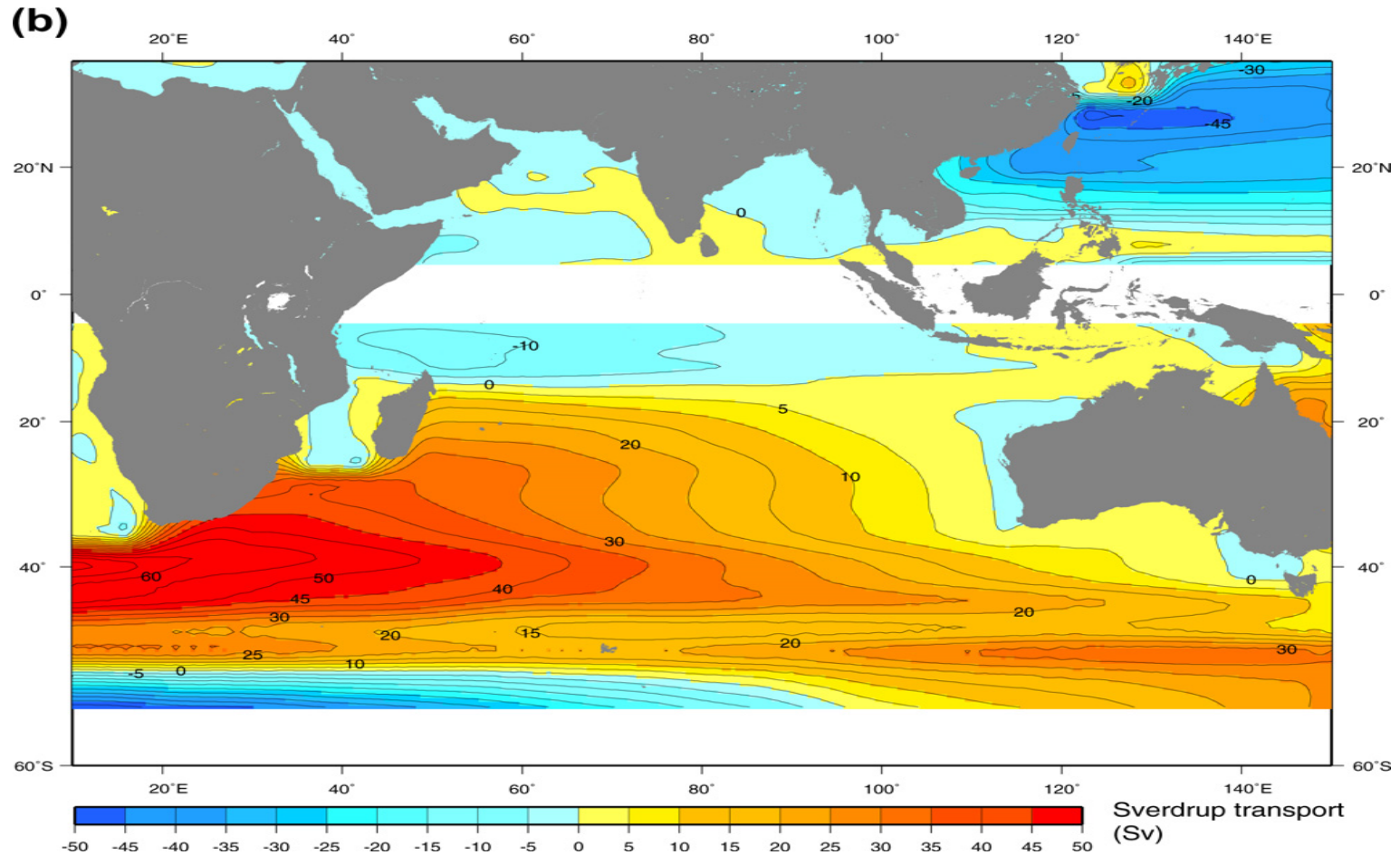
- No contorno leste, há certa conexão com o giro subtropical do OP Sul, pois parte da Corrente Leste Australiana (EAC) penetra na circulação do OI
- No OI Tropical e Norte, há uma região de ressurgência entre o equador e 15-20°S associada ao giro ciclônico formado pela Corrente Sul Equatorial (SEC) ao sul; Contracorrente Sul Equatorial (SECC) ao norte e pela CCO Corrente Costeira do Leste da África (EACC)



Campo médio anual de ventos para o Oceano Índico. Tensão do vento ( $\text{N/m}^2$ ) (vetores) e rotacional da tensão do vento ( $\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$ ) (cores), multiplicado por -1 no HS. Dados de Reanálise do NCEP 1968-1996 (Kalnay et al., 1996). Extraído de Talley et al (2011).



# Forçantes: Regime de ventos



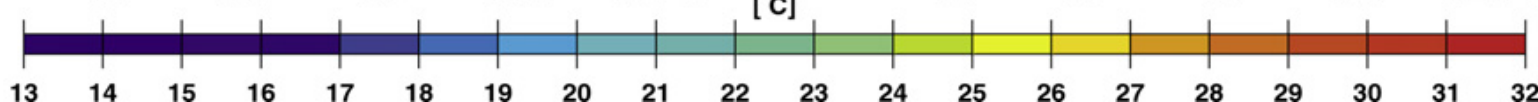
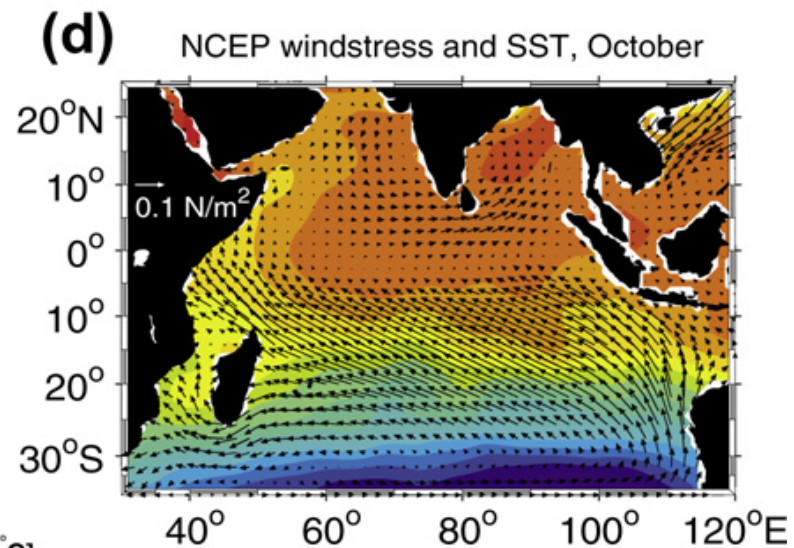
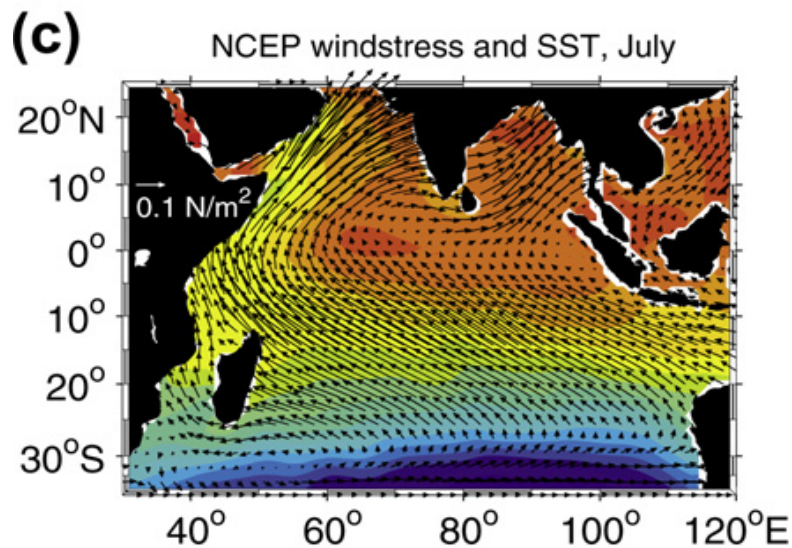
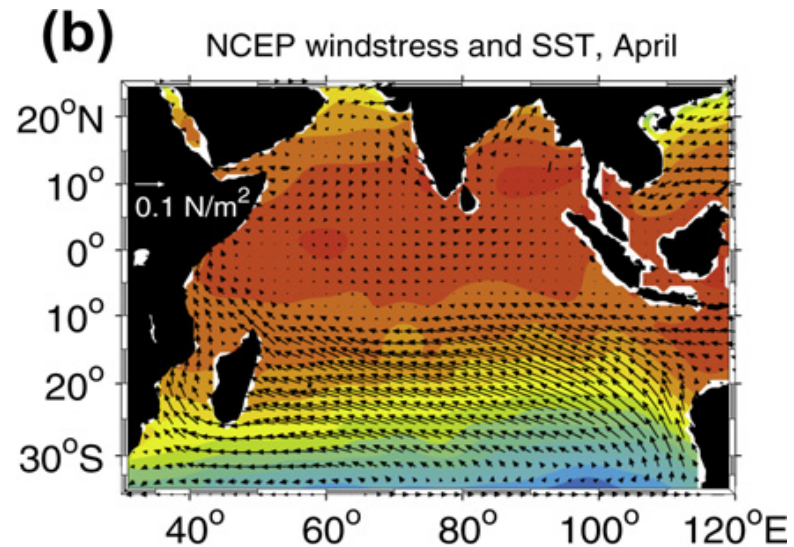
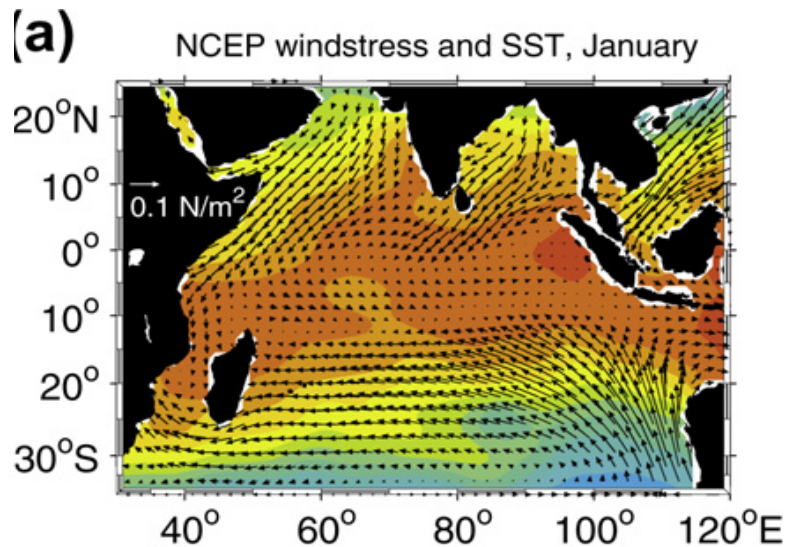
Transporte de Sverdrup (Sv), onde azul significa sentido horário e positivo significa sentido anti-horário. Os dados de tensão do vento são provenientes da reanálise do NCEP. Extraído de Talley et al (2011). Regiões onde ocorrem convergências (divergência), tem transporte direcionado para o equador (polos)



# Forçantes: Regime de ventos

---

- **Regime de Ventos de Monções**
- O OI Tropical e Norte são forçados pelo ventos de monções
  - A palavra **monção** deriva do árabe “mausim” que significa estações
  - Monções são mudanças sazonais nos ventos de larga-escala. Isso acontece devido à mudança, em larga-escala, do sinal da diferença de temperatura entre o continente e o oceano
  - No verão, a massa de terra é quente e no inverno é fria. A temperatura da superfície do oceano também varia entre estas estações, mas muito menos que nos continentes. Logo, durante o **verão** e nos trópicos, os ventos de larga escala sopram em direção ao continente quente (**monção de SW, estação chuvosa**), enquanto que durante o **inverno** eles sopram em direção ao oceano (**monção de NE, estação seca**)



Média mensal da tensão do vento ( $N/m^2$ ) a partir da climatologia do NCEP. (a) Janeiro: Monção de Nordeste. (b) Abril: transição. (c) Julho: Monção de Sudoeste. (d) Outubro: transição. Média mensal da TSM (Levitus and Boyer, 1994) é mostrada em cores (Schott, Dengler, and Schoenefeldt, 2002). Extraído de Talley et al (2011).





# Forçantes: Regime de ventos

---

- **Regime de Ventos de Monções**
- Os ventos da monção de sudoeste são mais intensos que durante a monção de nordeste, tal que o padrão de ventos anual remete a uma versão amena da monção de sudoeste
- As transições entre as monções são relativamente rápidas (4 a 6 semanas em abril-junho e outubro-novembro). Nesses períodos os ventos são de oeste no equador

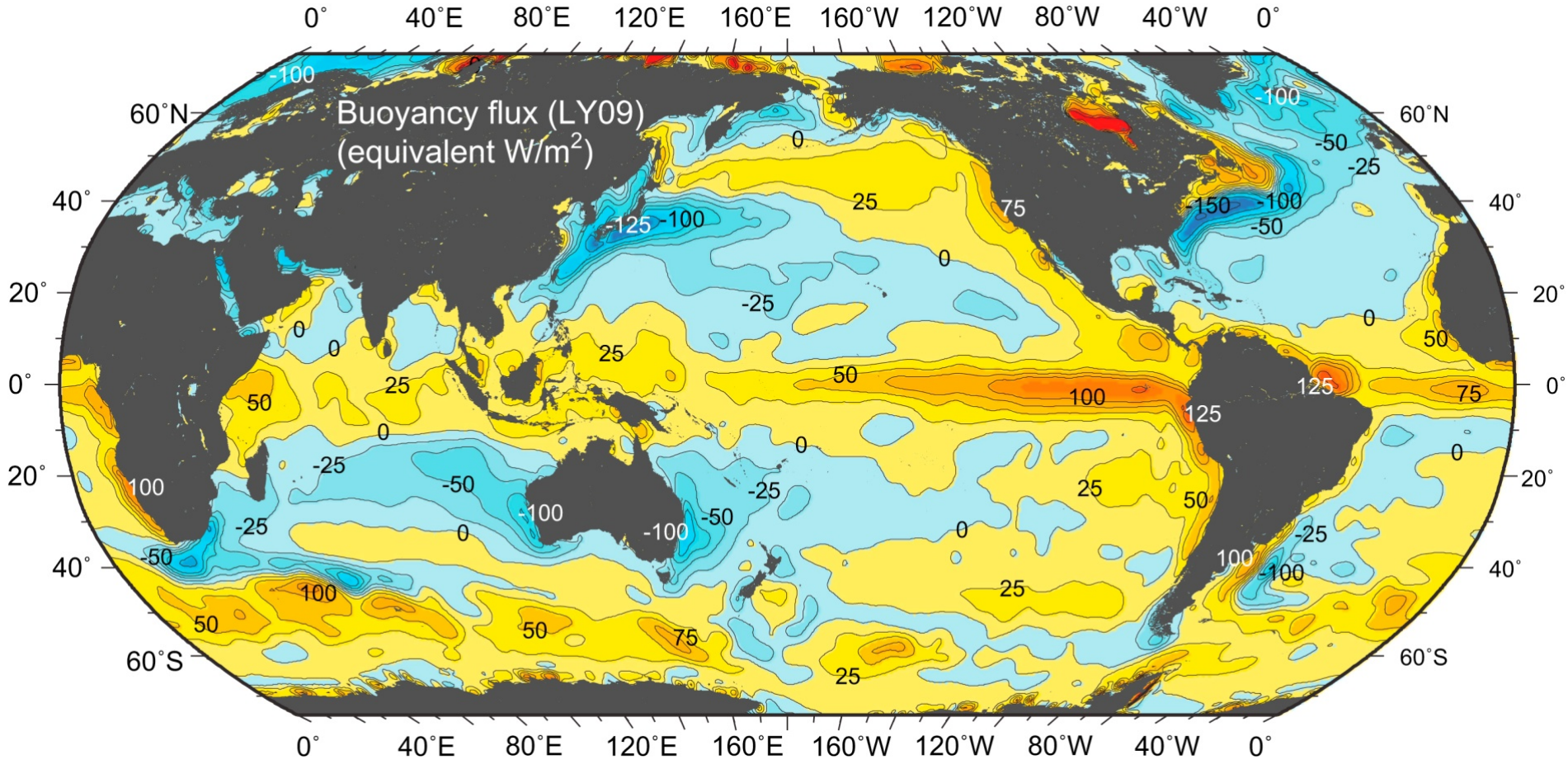


# Forçantes: Fluxos de fluabilidade

---

- O Oceano Índico não possui altas latitudes ao norte que impliquem uma perda de calor substancial
- No Mar Vermelho e no Golfo Pérsico, dominam o resfriamento e a evaporação, havendo formação de águas densas
- No OI Tropical, predomina o ganho de calor, com intenso aquecimento ao longo da costa da África, na Corrente da Somália, associada com ressurgência e grandes vórtices permanentes
- A precipitação domina no leste, devido à ascensão do ar sobre a piscina quente na superfície do OI. Ao contrário do OA e OP, no OI não existe língua fria no leste
- No contorno leste, a Corrente de Leeuwin flui para o polo, ao contrário das outras CCLs que fluem para o equador
- A Corrente das Agulhas e a Corrente de Leeuwin sofrem perda de calor

# Forçantes: Fluxos de flutuabilidade



Fluxos anuais de flutuabilidade oceano-atmosfera convertidos para o equivalente de fluxo de calor ( $\text{W/m}^2$ ) Valores positivos indicam que o oceano está ficando menos denso. O intervalo de contorno é de  $25 \text{ W/m}^2$ . Extraído de Talley et al (2011).





# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

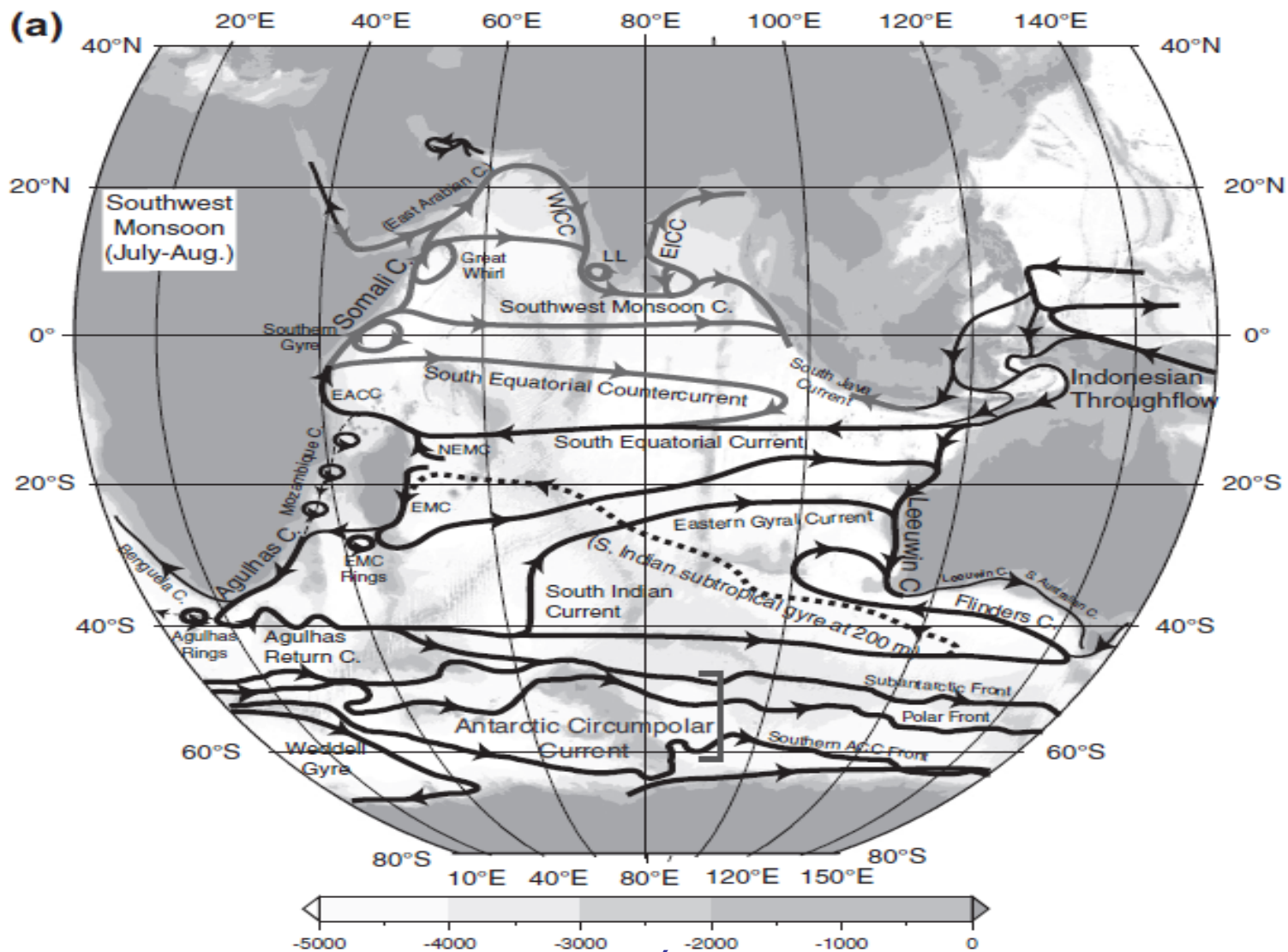
- A circulação do Índico Tropical é dominada pelo regime de monções
  - O ajustes à forte reversão no padrão de ventos inclui a geração de ondas de Kelvin e Rossby
  - Para compreender a dinâmica da reversão de correntes, formação de subcorrentes e vórtices deve-se considerar essas ondas



# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

- A circulação forçada pelas monções é limitada ao sul pela frente da SEC
- A SEC, independente da estação, flui para oeste até se bifurcar na costa de Madagascar na Corrente Nordeste de Madagascar (NEMC) e Corrente Leste de Madagascar (EMC)
- A NEMC flui para noroeste e bifurca-se na costa africana em Corrente de Moçambique (para sul) e em EACC (para norte)
- O comportamento da EACC ao alcançar o equador depende do regime de monções



Esquema da circulação superficial do Oceano Índico. Preto representa os fluxos que não apresentam reversões sazonais. Cinza representa a circulação de monção de Sudoeste. A linha pontilhada representa a circulação a 200 m. Siglas: EACC - East African Coastal Current; EICC - East Indian Coastal Current; EMC - East Madagascar Current; LH e LL, Lakshadweep high and low; NEC - North Equatorial Current; NEMC - Northeast Madagascar Current e WICC - West Indian Coastal Current. Extraído de Talley et al (2011).





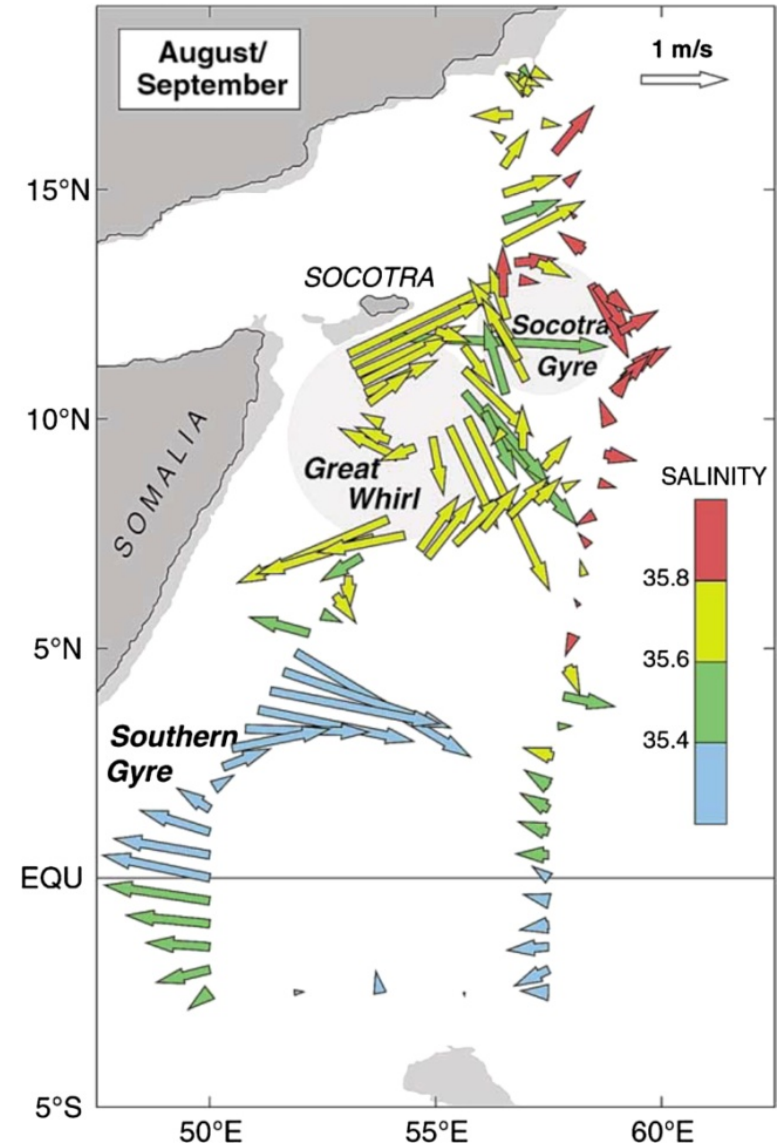
# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

- **Circulação – Monção de Sudoeste**
- A EACC alimenta a Corrente da Somália (360 cm/s, 65 Sv) que atravessa o equador
- A continuação deste corrente ao longo da Península Arábica é geralmente chamada de Corrente Leste da Arábia
- Da região ao sul do equador até o limite norte, a circulação no meio do oceano é para leste
- Entre 7°S e o sul da Índia/Sri Lanka o fluxo é chamado de Corrente de Monção de Sudoeste
- No Mar da Arábia e Baía de Bengala existe uma tendência a um giro anticlônico, sendo que tanto a Corrente Oeste da Índia e a Corrente Leste da Índia fluem para leste

# Circulação do Oceano Índico Tropical

- As CCOs desenvolvem intensa atividade de meso-escala
- Ao atravessar o equador, na Corrente da Somália, há a formação dos grandes vórtices Southern Gyre em 4°N e Great Whirl em 10°N



Regime da Corrente da Somália durante a monção de Sudoeste (agosto/setembro 1995). Extraído de Talley et al (2011).



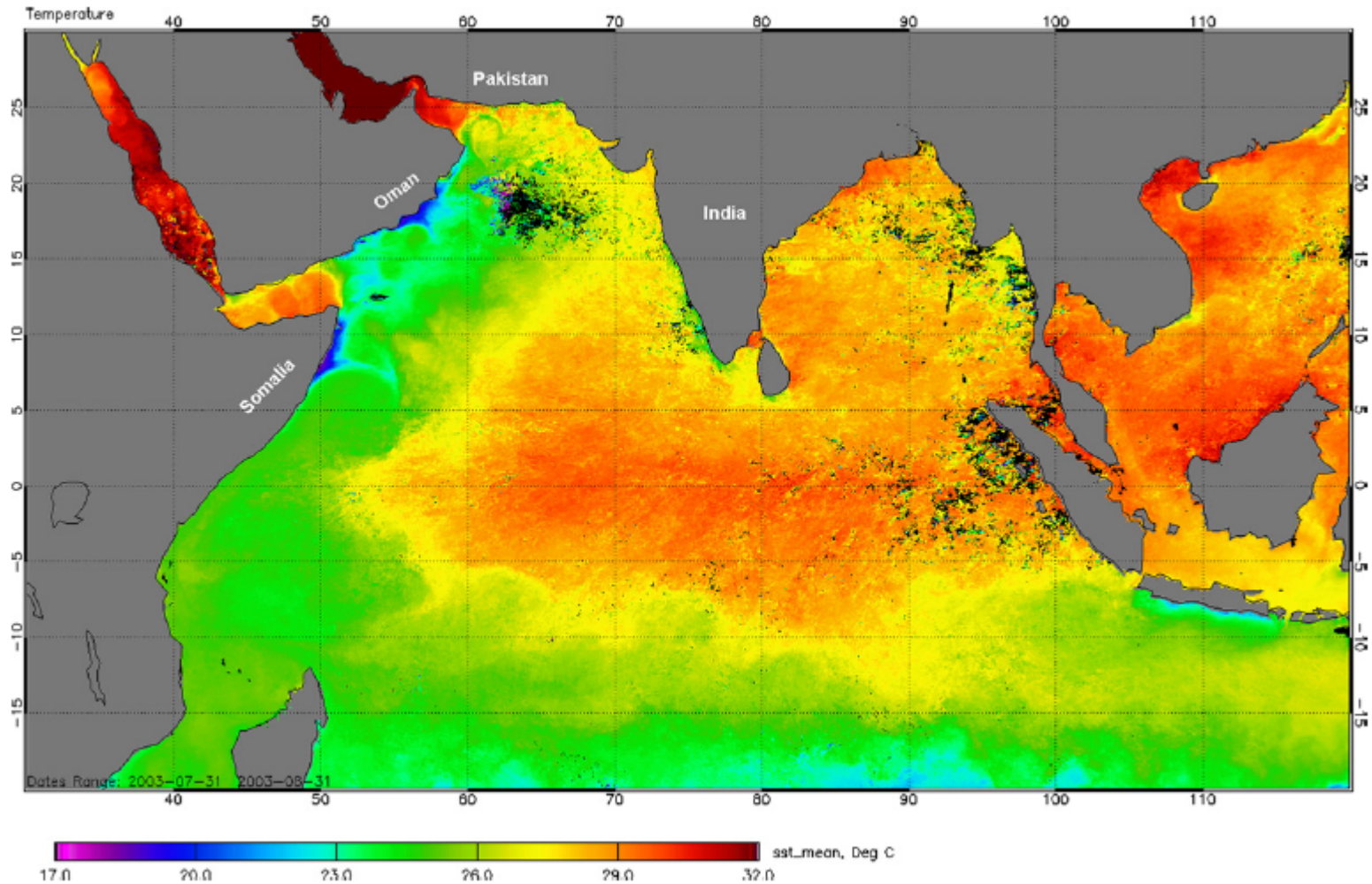
# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

- **Circulação – Monção de Sudoeste**
- Ocorre ressurgência devido ao transporte de Ekman em direção ao oceano na costa da Somália reduzindo as temperaturas que são  $> 27^{\circ}\text{C}$  para 20 a  $24^{\circ}\text{C}$
- Uma ressurgência de maior escala ocorre causada pelo rotacional da tensão do vento entre a costa e o eixo da Corrente da Somália
- Mais a leste do eixo dessa corrente, o rotacional da tensão do vento provoca subsidência
- A água ressurgida é rica em nutrientes. Assim a produtividade varia drasticamente nessa área dependendo do regime de monção

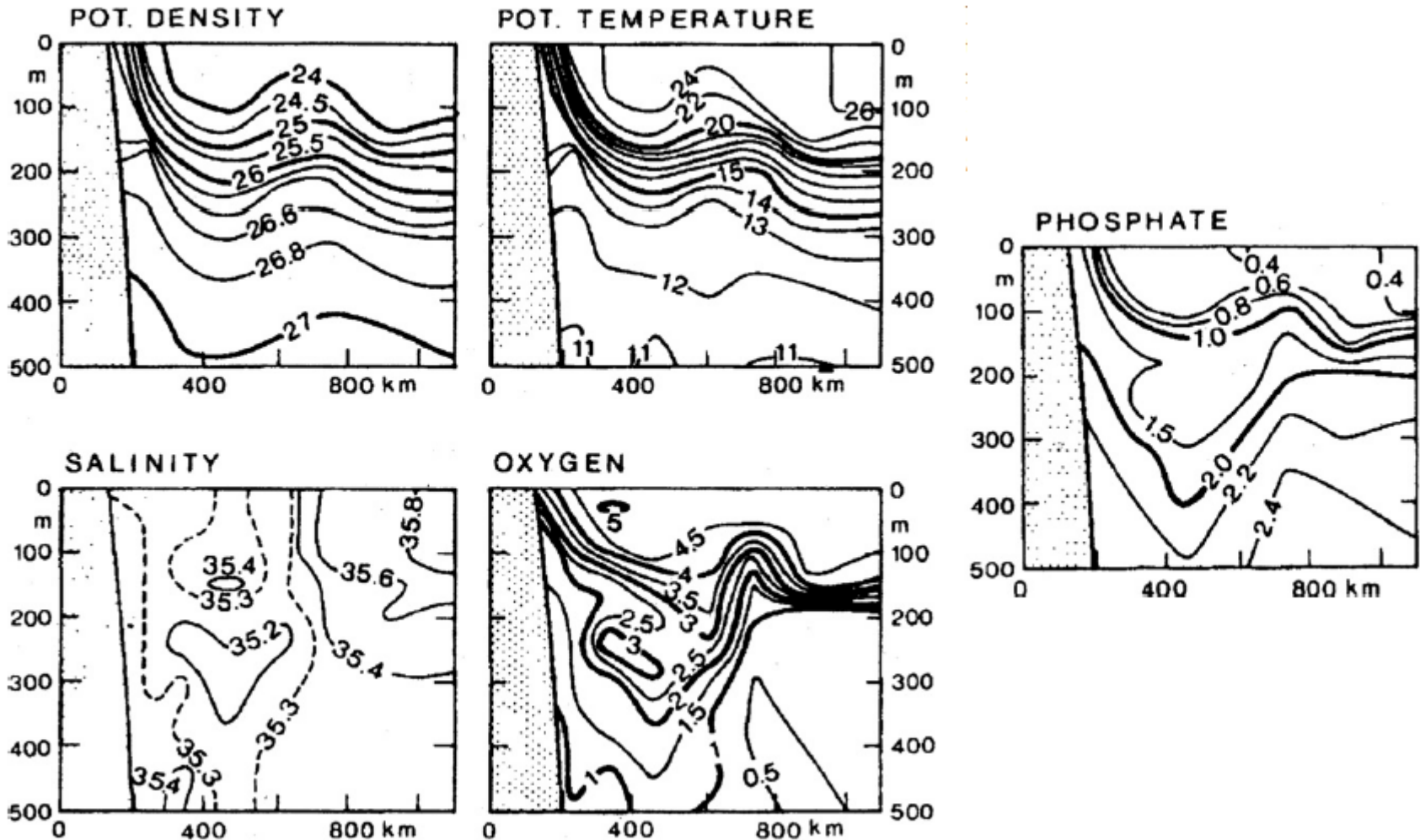


# Circulação do Oceano Índico Tropical



TSM do satélite MODIS para julho de 2003 (Monção de Sudoeste). Extraído de Talley et al (2011).

# Circulação do Oceano Índico Tropical



Seções da Corrente da Somália durante ressurgência em 12°N de 29 de agosto a 1 de setembro de 1964 (Schott e McCreedy, 2001). Extraído de Talley et al (2011).



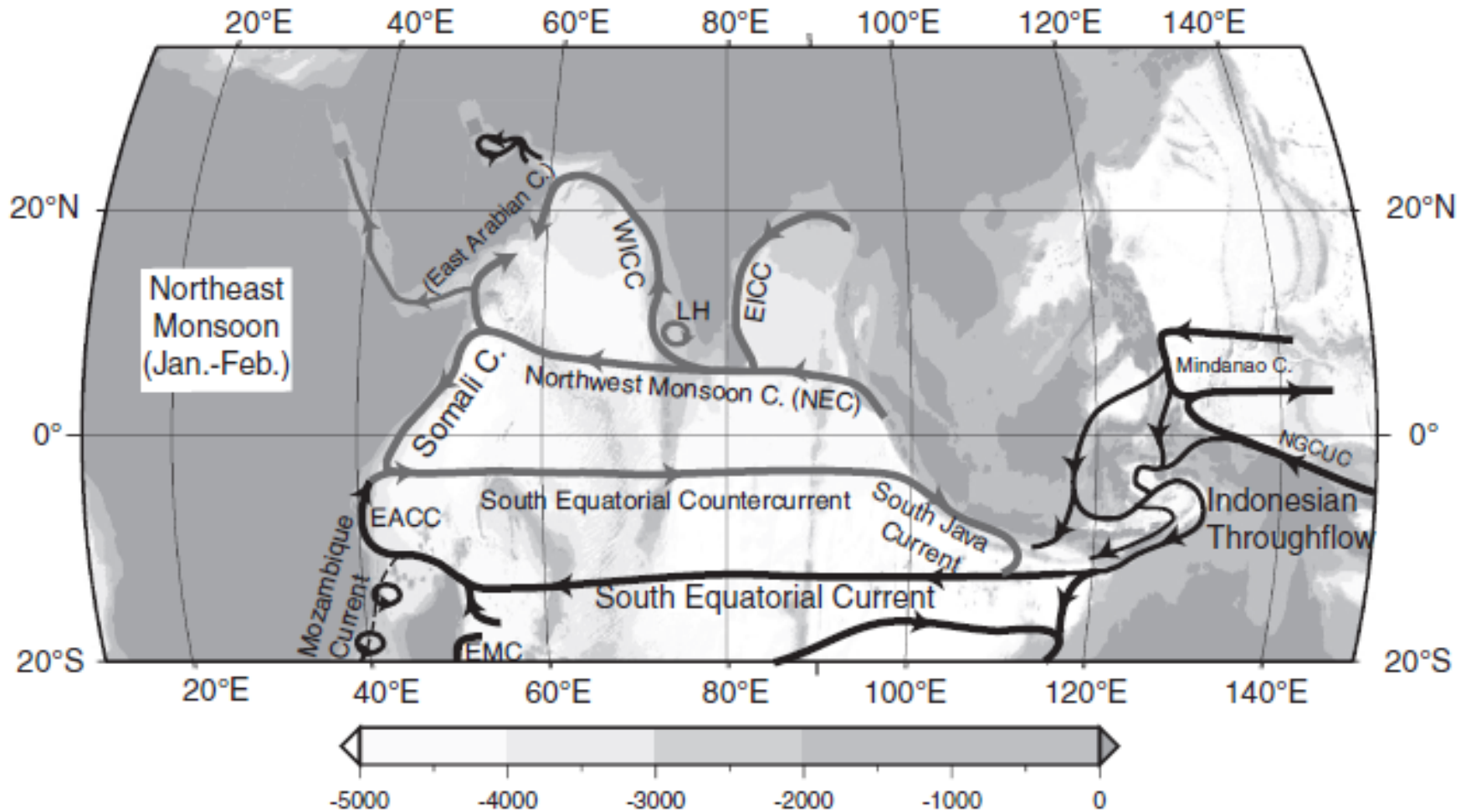
# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

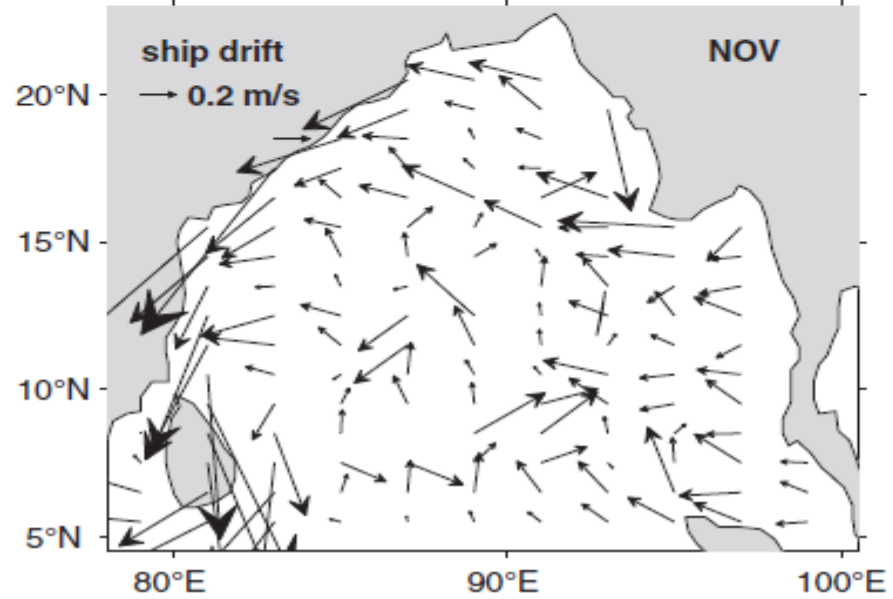
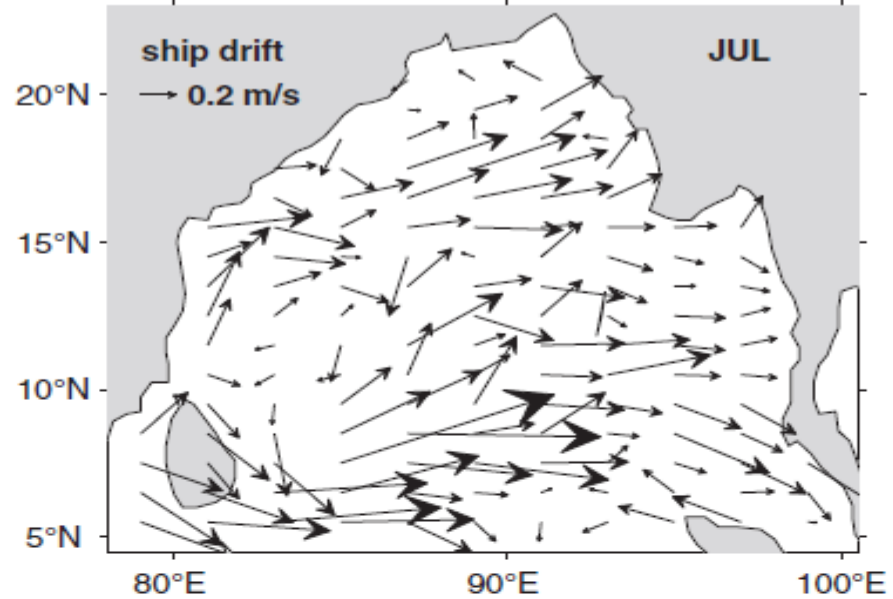
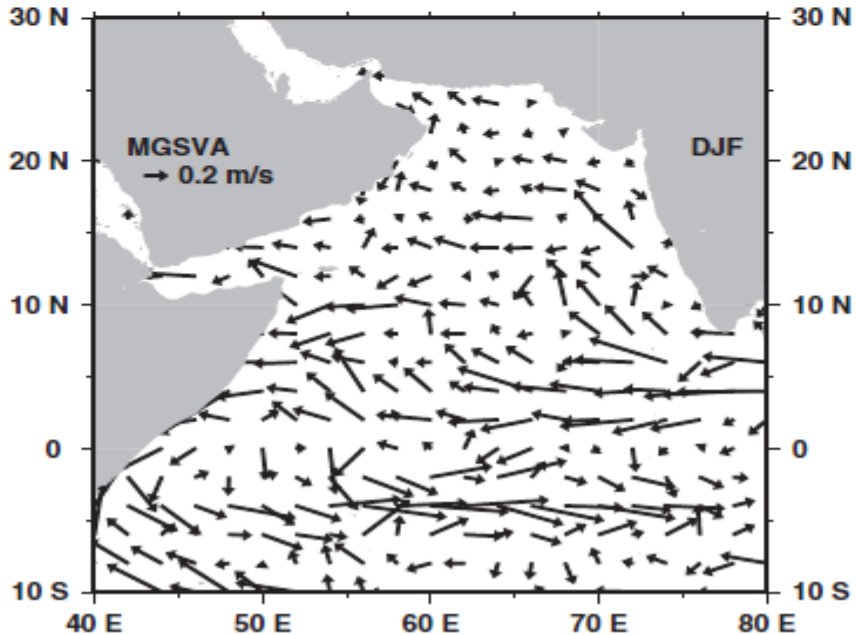
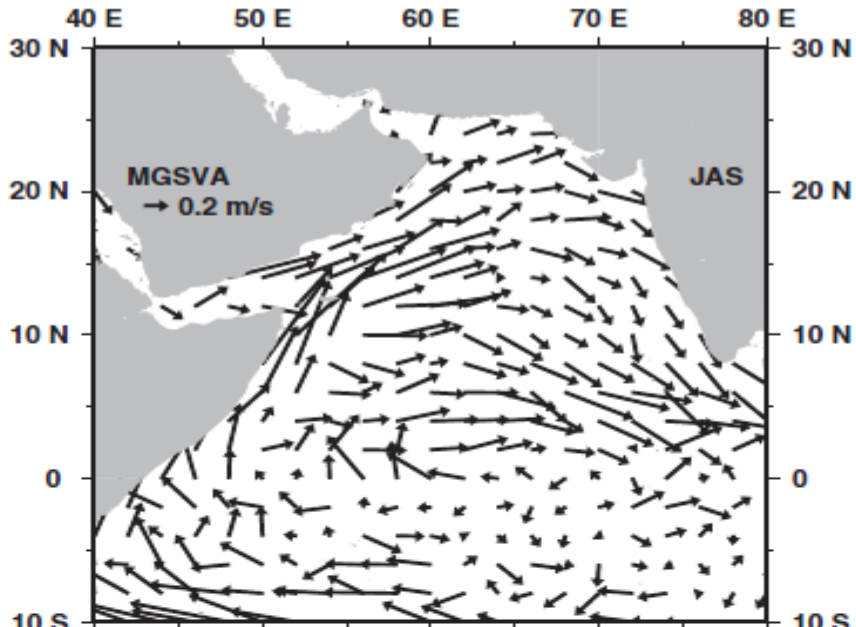
- **Circulação – Monção de Nordeste**
- A SECC continua a fluir para leste (entre 8°S e o equador), mas aparece a Corrente da Monção de Nordeste (entre o equador e 8°N) fluindo para oeste
- A circulação superficial do Mar Arábico e da Baía de Bengala revertem
  - A Corrente Leste da Índia e a Corrente Oeste da Índia passam a fluir para oeste
- A Corrente da Somália passa a fluir para sul
- A circulação, em geral, é mais fraca e desorganizada em comparação à monção de sudoeste



# Circulação do Oceano Índico Tropical



Esquema da circulação superficial do Oceano Índico durante a Monção de Nordeste. Extraído de Talley et al (2011).



Circulação superficial do Oceano Índico durante a Monção de Sudoeste (acima) e Nordeste (abaixo) no Mar Árábico (esquerda) e Baía de Bengala (direita). Extraído de Talley et al. (2011).

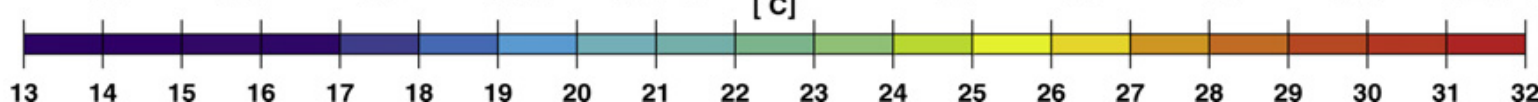
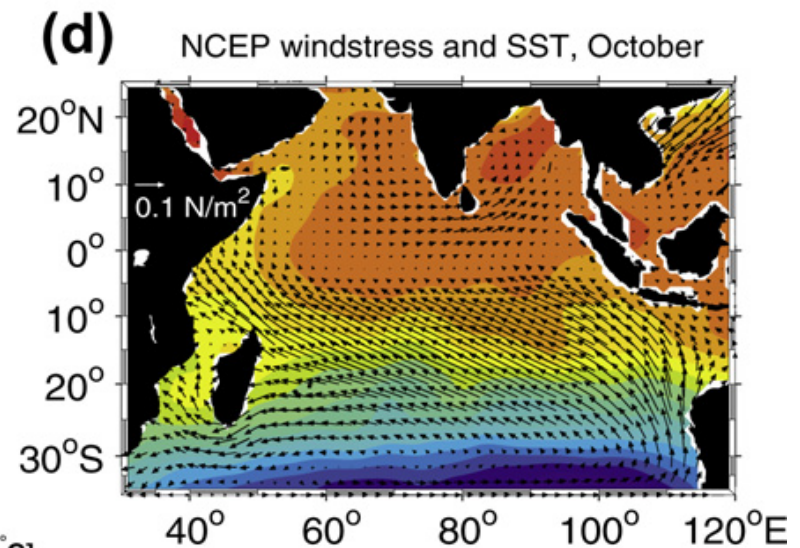
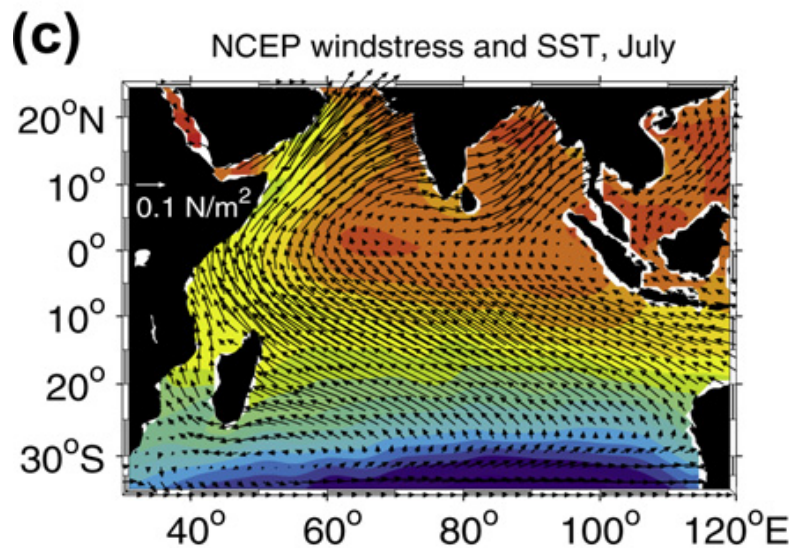
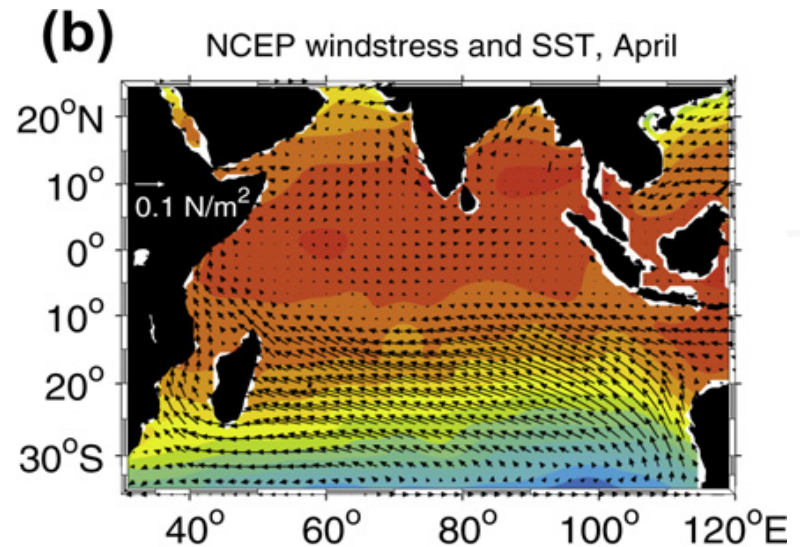
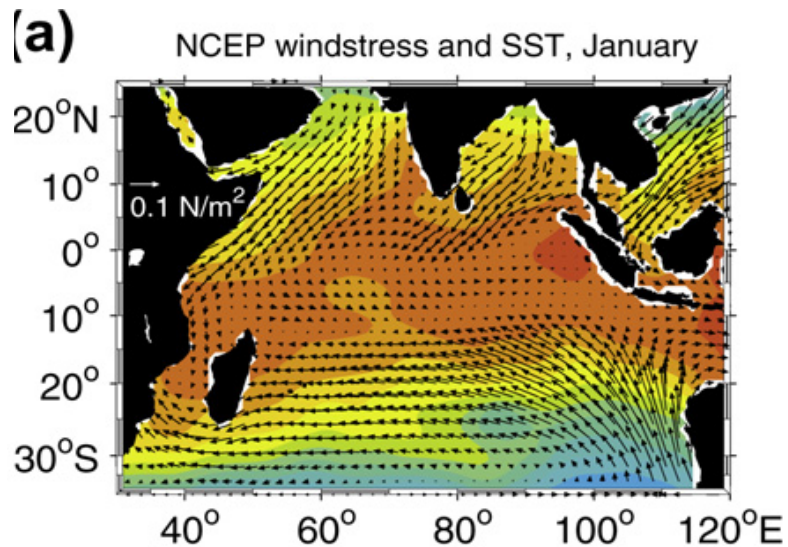


# Circulação do Oceano Índico Tropical

---

- **Circulação – Transição entre as monções**
- Os ventos equatoriais são de oeste, ao invés dos ventos alísios
- Isto dá origem a correntes para leste, que são chamadas de **Wyrcki Jets** e são muito intensas (velocidades superficiais podem ser superiores a 100 cm/s)
- Como os ventos equatoriais revertem e os ventos alísios são fracos, a Sub-corrente Equatorial é fraca e só ocorre em parte do ano

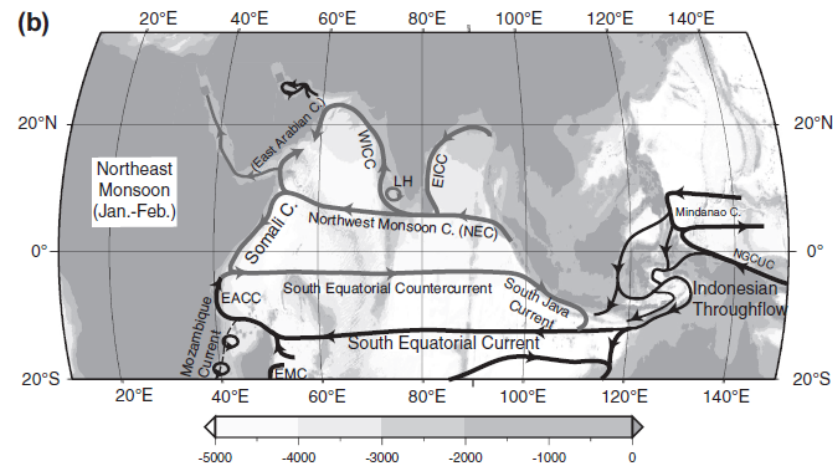
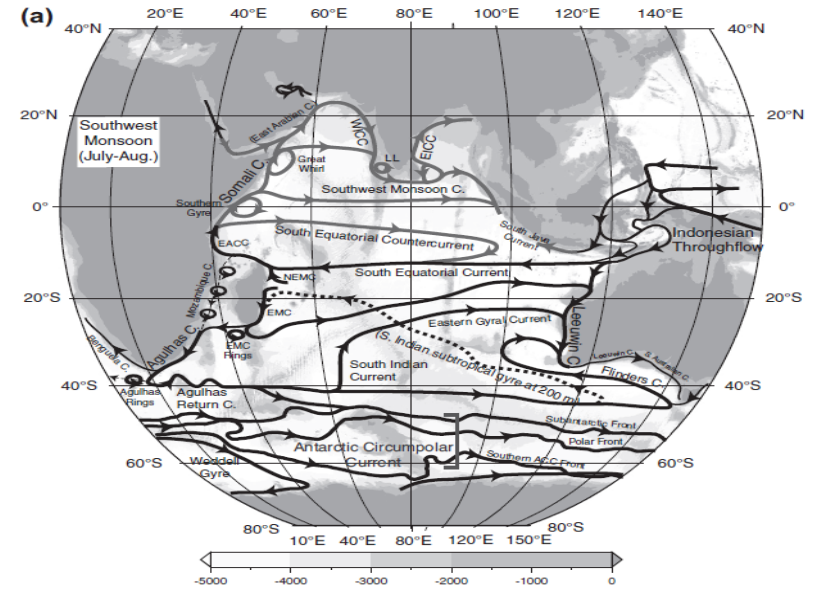
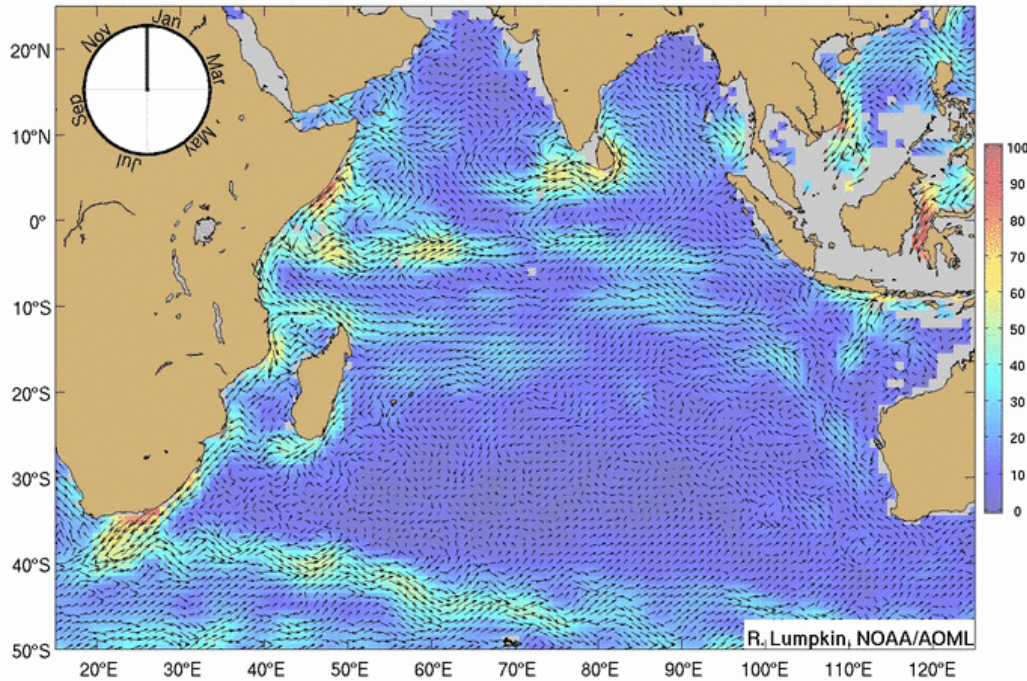




Média mensal da tensão do vento ( $N/m^2$ ) a partir da climatologia do NCEP. (a) Janeiro: Monção de Nordeste. (b) Abril: transição. (c) Julho: Monção de Sudoeste. (d) Outubro: transição. Média mensal da TSM (Levitus and Boyer, 1994) é mostrada em cores (Schott, Dengler, and Schoenefeldt, 2002). Extraído de Talley et al (2011).

# Circulação do Oceano Índico Tropical

Climatological currents (cm/s): 1 Jan



Animação das correntes climatológicas com base em derivadores no Oceano Índico.





# Circulação do Oceano Índico Sul

---

- O giro subtropical do OI difere dos giros subtropicais dos outros oceanos em relação à:
  - Conexão com as circulações do OA Sul e OP Sul
  - Localização relativa dos continentes:
    - ❖ Austrália, Tasmânia e Nova Zelândia formam o contorno leste para o giro subtropical
    - ❖ A costa da África, no entanto, forma um contorno oeste parcial. Assim o padrão de ventos força que o giro subtropical continue para oeste em direção ao contorno oeste do Atlântico Sul
- Há uma ligação com o OP Sul via um ramo da EAC que flui pelo sul da Austrália
- O oceano Austral conecta os 3 giros subtropicais do HS

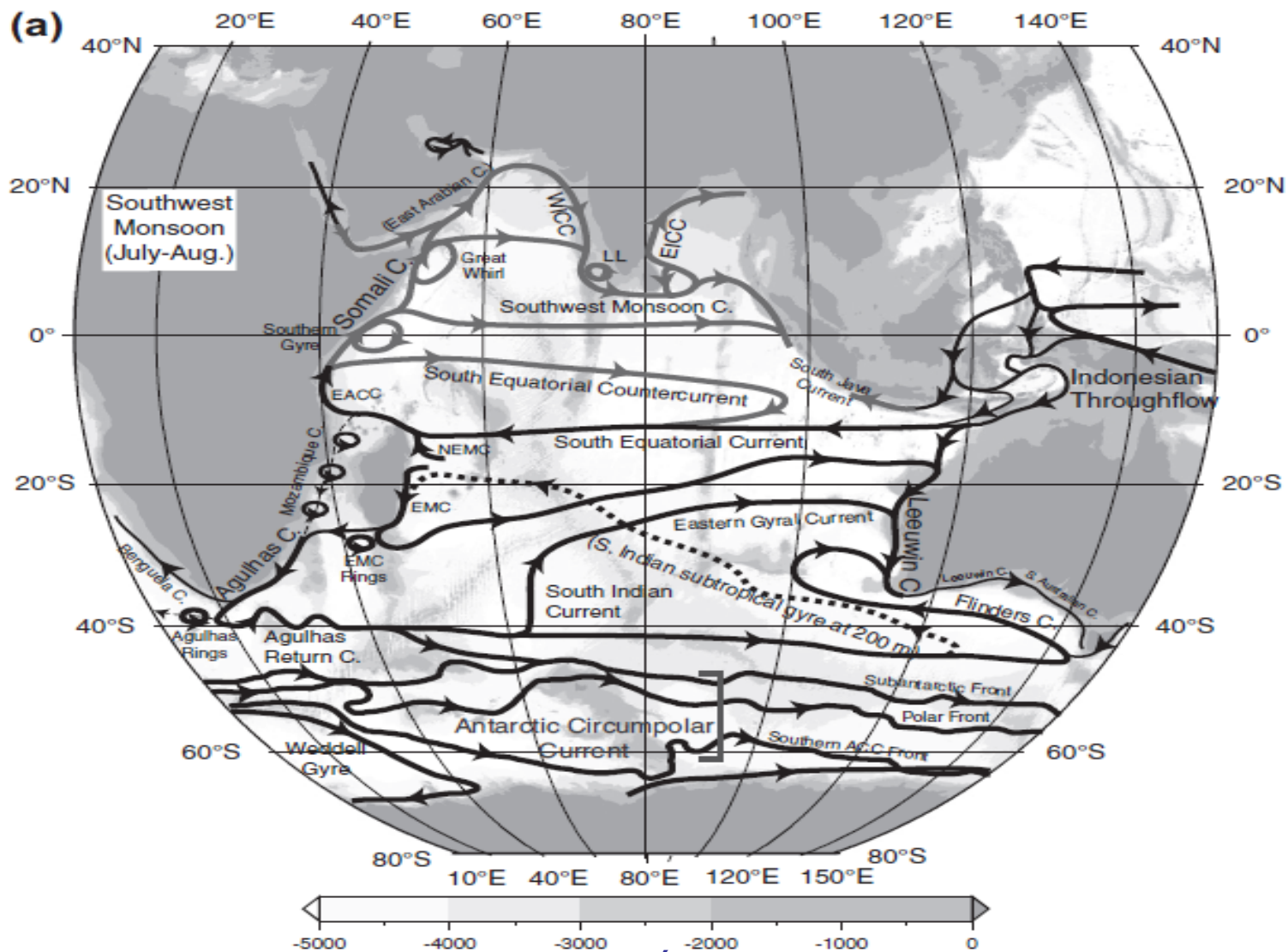


# Circulação do Oceano Índico Sul

---

- **Giro Subtropical**
- SEC ao norte, que transporta para oeste água menos salinas que fluem pela passagem da Indonésia, criando uma frente
- **Corrente Sul do Índico** ao sul, fluindo para leste
- **EMC** e **Corrente das Agulhas** no contorno oeste
- O fluxo para norte no contorno leste do giro é amplo em longitude e é chamado de **Corrente Oeste Australiana**
- O Índico Sul não possui uma CCL fluindo para norte, como nos outros oceanos; a **Corrente de Leeuwin** flui para sul





Esquema da circulação superficial do Oceano Índico. Preto representa os fluxos que não apresentam reversões sazonais. Cinza representa a circulação de monção de Sudoeste. A linha pontilhada representa a circulação a 200 m. Siglas: EACC - East African Coastal Current; EICC - East Indian Coastal Current; EMC - East Madagascar Current; LH e LL, Lakshadweep high and low; NEC - North Equatorial Current; NEMC - Northeast Madagascar Current e WICC - West Indian Coastal Current. Extraído de Talley et al (2011).



# Circulação do Oceano Índico Sul

---

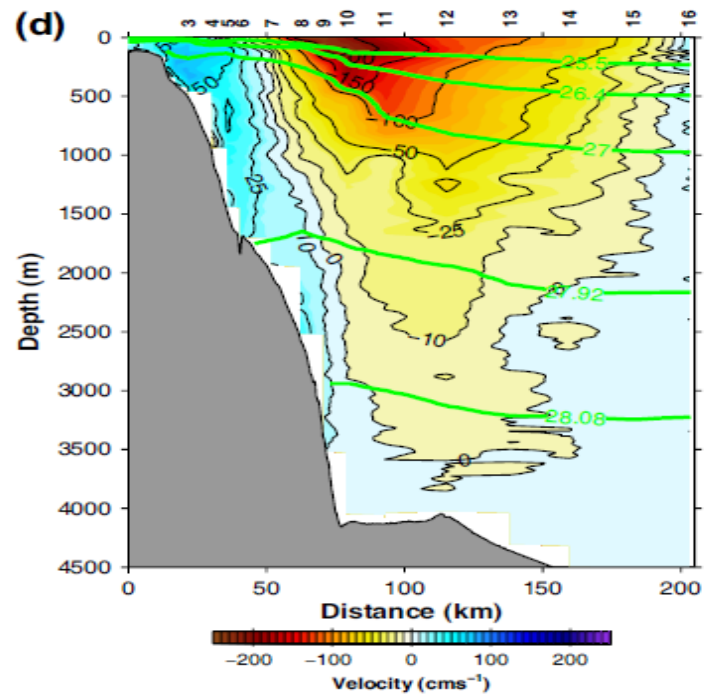
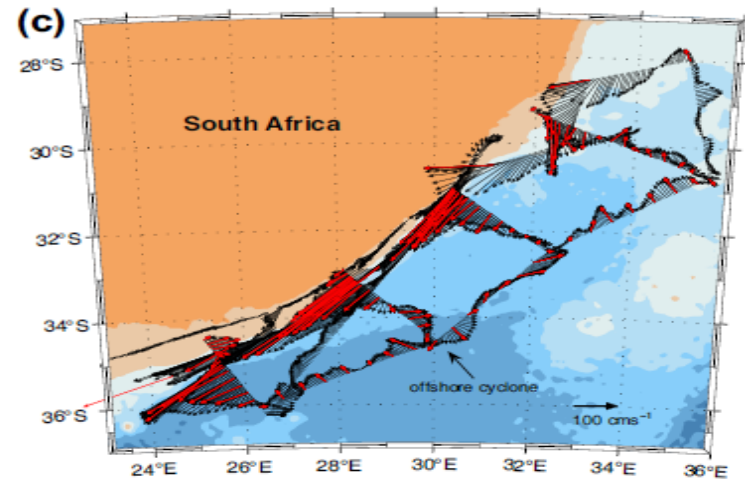
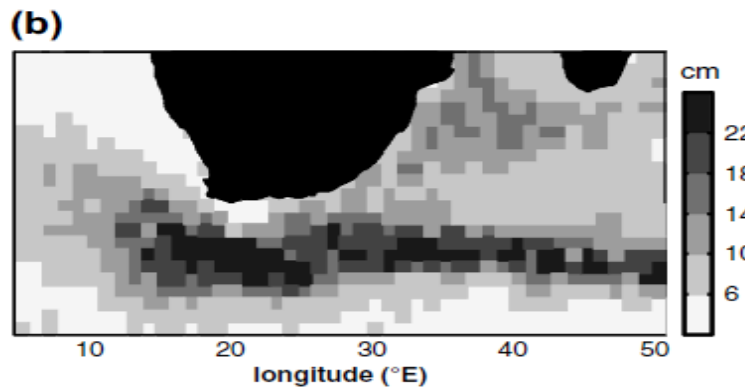
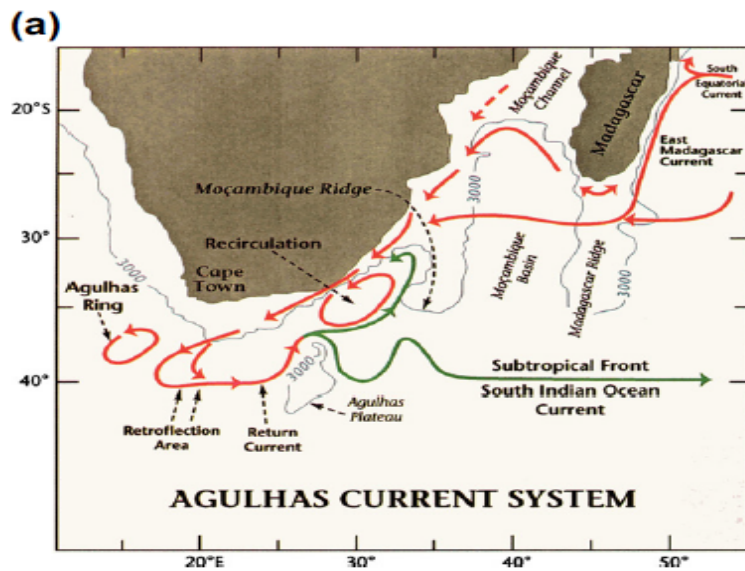
- **Giro Subtropical**
- Uma porção do giro subtropical reaparece ao sul da Austrália, na forma da **Corrente de Flinders**, que flui para oeste
- Em 200 m, o giro anticiclônico possui um formato mais definido
- O giro subtropical afunda em direção ao polo e para oeste com o aumento da profundidade, tal como é típico dos giros subtropicais



# Circulação do Oceano Índico Sul

---

- **Giro Subtropical – Corrente das Agulhas**
- É uma das correntes mais intensas do globo ( $>250$  cm/s, 70 Sv) e se estende até o fundo oceânico
- Se forma a partir da EMC e da advecção para sul, através do Canal de Moçambique, de grandes vórtices anticiclônicos
- Entre a costa e o eixo da corrente, existe uma contra-corrente (50 cm/s, 15 Sv) bem definida que também atinge o fundo oceânico
- A Corrente das Agulhas flui próximo à costa, se separando do contorno em  $36^{\circ}\text{S}$ , fluindo em direção ao OA Sul, onde retroflete, voltando para o OI
- A retroflexão está associada à formação de vórtices



(a) Esquema do sistema da Corrente das Agulhas e topografia local. (b) Variabilidade da altura da superfície do mar para 8 anos do altímetro Topex/Poseidon. (c) Velocidade média para a profundidade entre 0 – 75 m. (d) Seção de velocidade média em 36°S com contornos isopicnais para medições de ADCP em fevereiro-março de 2003. Extraído de Talley et al. (2011).

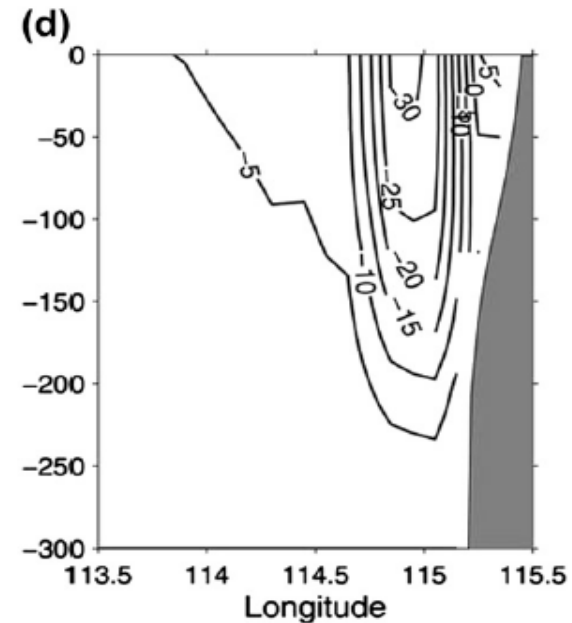
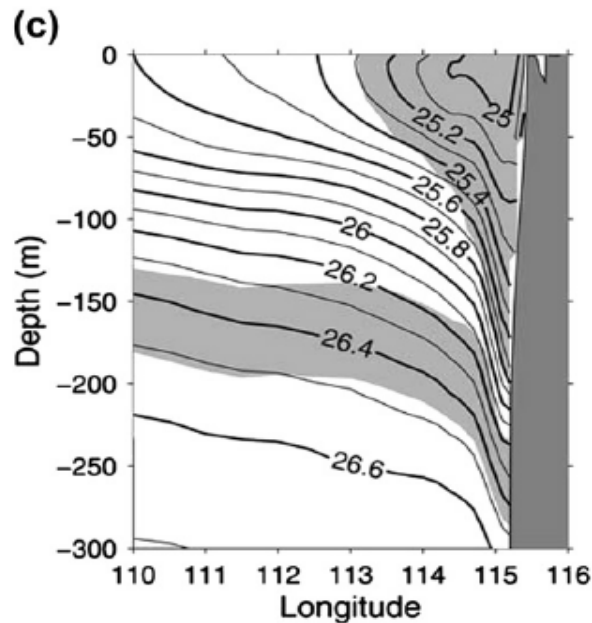
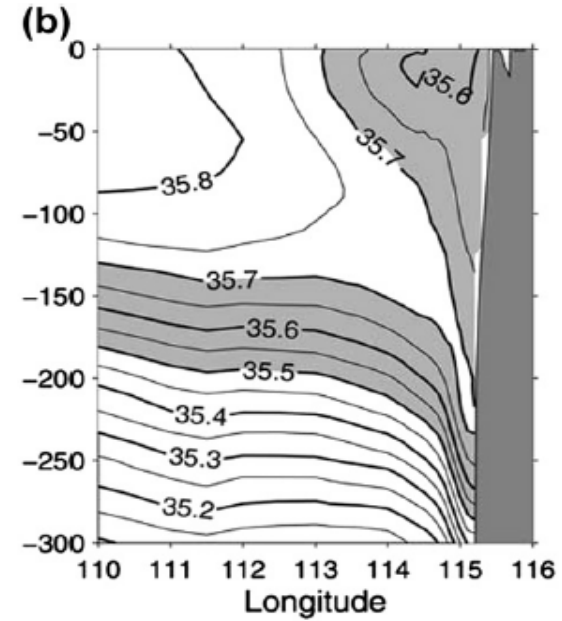
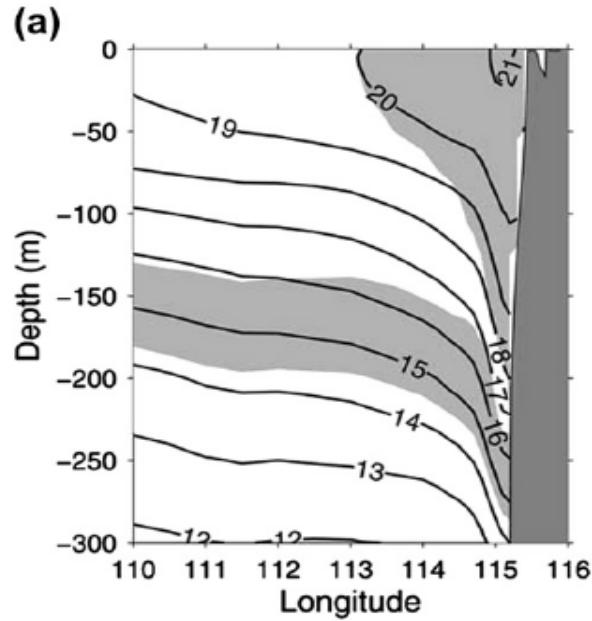
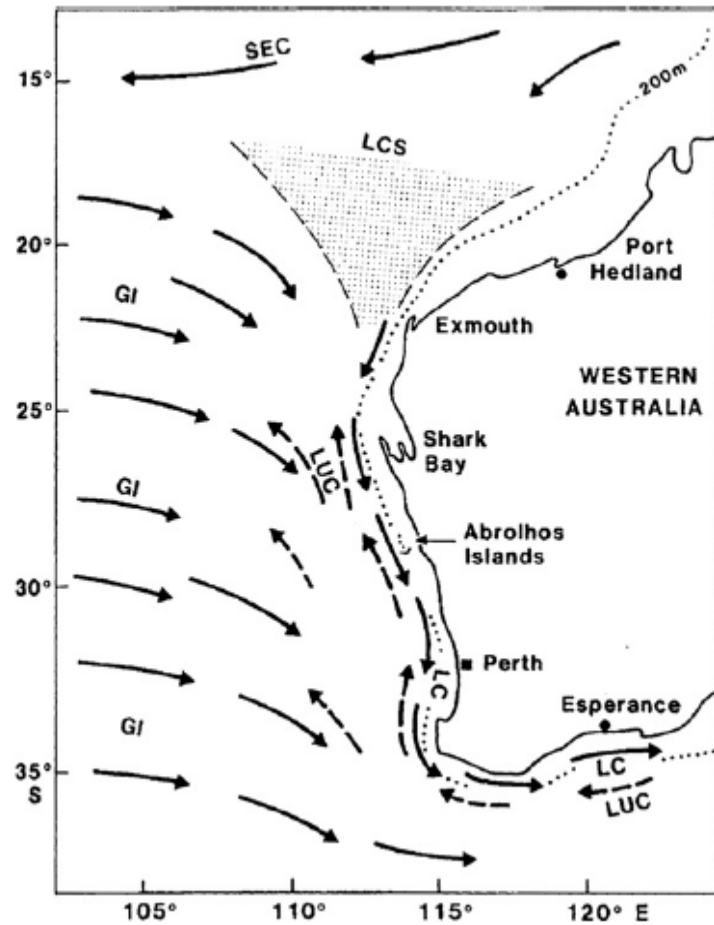




# Circulação do Oceano Índico Sul

---

- **Giro Subtropical – Corrente de Leeuwin**
- É a CCL do OI Sul e flui ao longo da costa oeste da Austrália. Tem cerca de 50 – 100 km de extensão
- Flui ao longo da quebra de plataforma, indo de 22°S até 35°S (Cape Leeuwin), onde então flui para leste para a Great Australian Bight, transportando águas quentes e salinas para a região. Em seu caminho para leste, compõe a Corrente Sul Australiana e finalmente a Corrente de Zeehan
- Apresenta velocidades médias superficiais de 25 cm/s, chegando a valores superiores a 50 cm/s e se opõe aos ventos superficiais para norte. O seu transporte máximo é de 5 Sv
- Abaixo da corrente existe a Contra-Corrente de Leeuwin, com velocidade de até 40 cm/s e transporte entre 1-2 Sv
- Possui marcada variação sazonal (maior velocidade ocorre com ventos mais fracos) e altos níveis de atividade de meso-escala



(Esquerda) Corrente Leeuwin (LC) e a Contra-corrente de Leeuwin (LUC). Direita: Média da (a) Temperatura potencial, (b) salinidade, (c) densidade potencial e (d) velocidade (cm/s) em 32°S. Hachurado indica a faixa de salinidade de 35.5 – 35.7 psu. Extraído de Talley et al (2011).



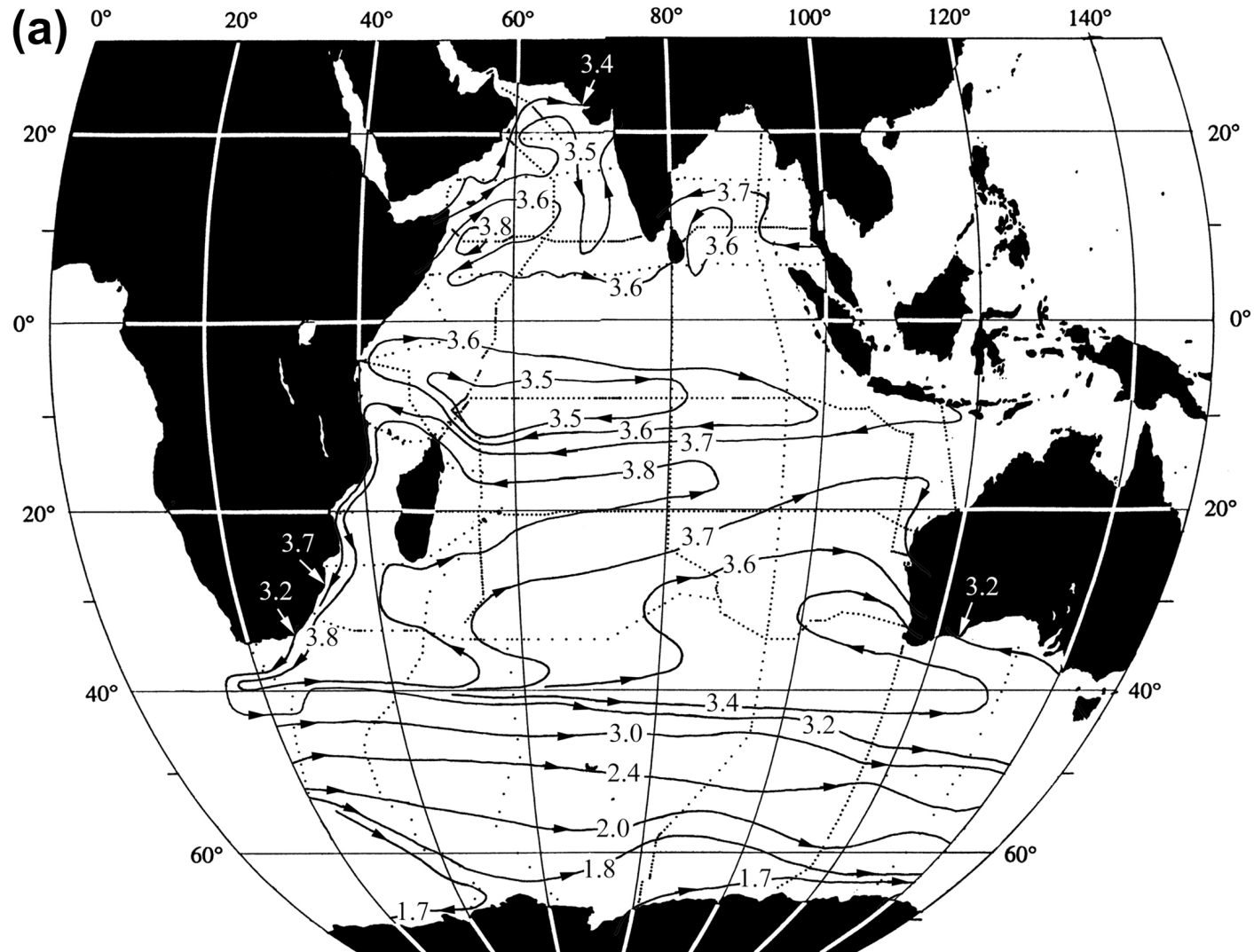
# Circulação do Oceano Índico Sul

---

- **Giro Subtropical – Corrente de Leeuwin**

- Não ocorre ressurgência, como é característico dos contornos leste dos outros oceanos
- O fluxo em direção ao polos da Corrente de Leeuwin é guiado pela força gradiente de pressão associada ao fluxo que flui pela Passagem da Indonésia. Este gradiente é suficiente para compensar o gradiente associado aos ventos em direção ao equador
- Enquanto a variabilidade sazonal é marcada pelos ventos, a variabilidade interanual está principalmente associada ao ENSO

# Circulação do Oceano Índico Sul



Altura estérica ajustada ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) . Fonte: Reid (2003). Extraído de Talley et al (2011).

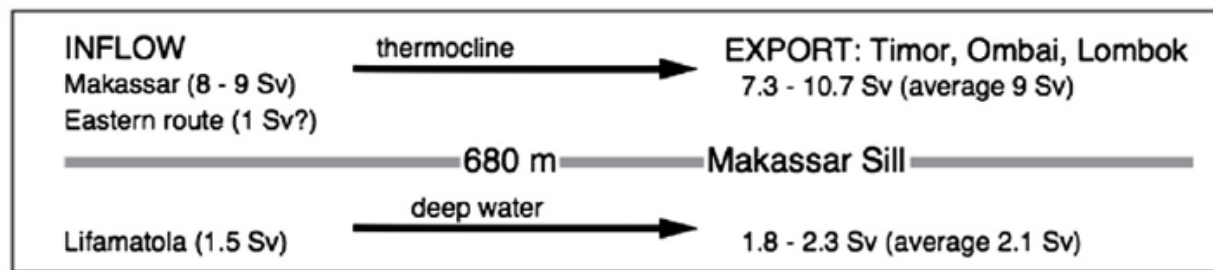
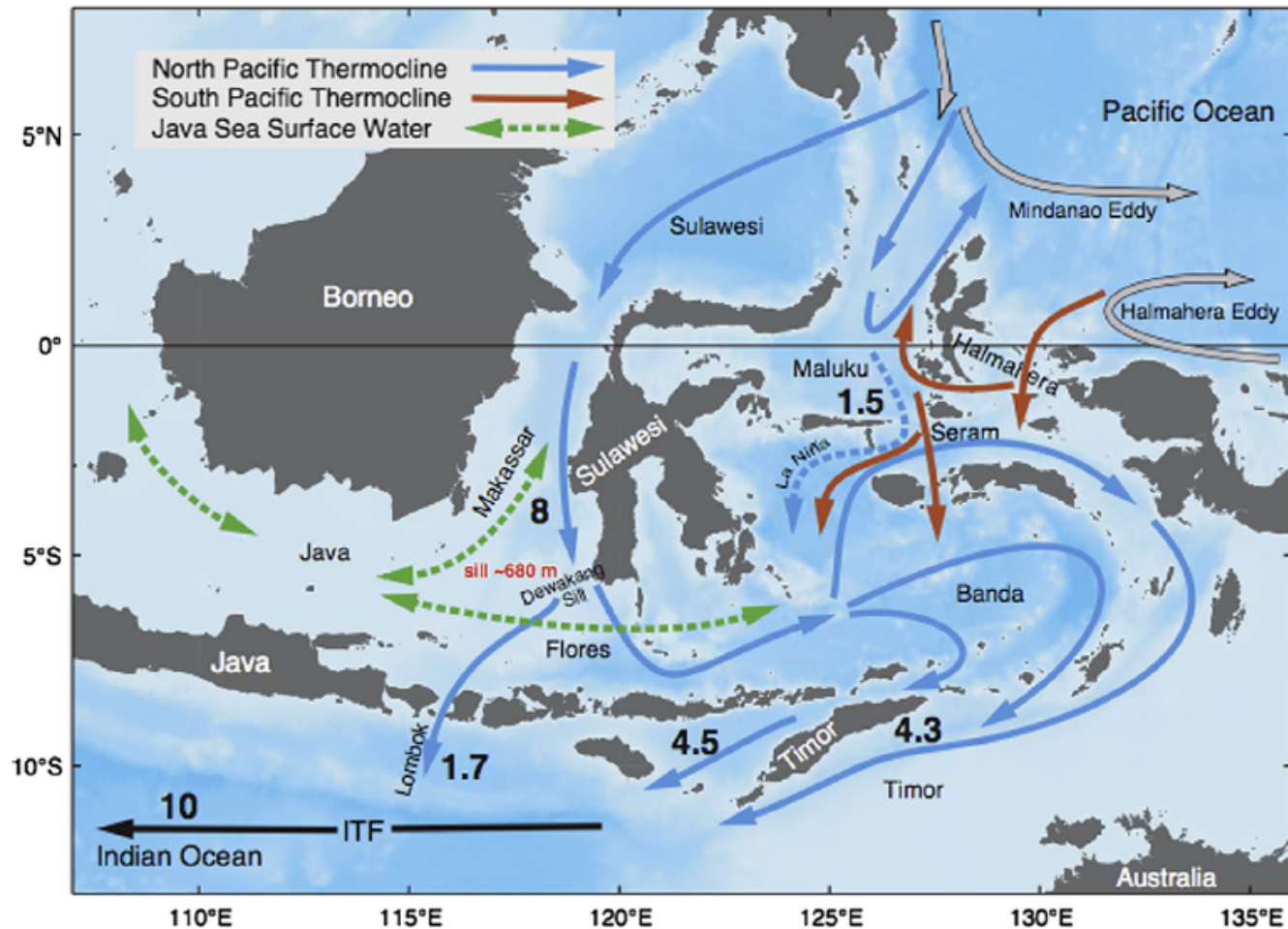




# Passagem da Indonésia

---

- O arquipélago da Indonésia é a conexão, em baixa latitude, entre o OP e o OI. O fluxo através do arquipélago é chamado de Passagem da Indonésia (ITF)
- O ITF é unidirecional, indo do OP para o OI
- Transporta cerca de 10-15 Sv de água menos salina e rica em nutrientes, sendo um dos principais elementos na Circulação Termohalina Global em superfície
- As águas do OP passam para o OI principalmente pelos estreitos de **Makassar** (680 m de profundidade) e **Lifamatola** (1940 m de profundidade) e saem do arquipélago por 3 caminhos: os estreitos de **Lombok**, **Ombai** e **Leti**
- Após deixarem o arquipélago, as águas se incorporam à SEC



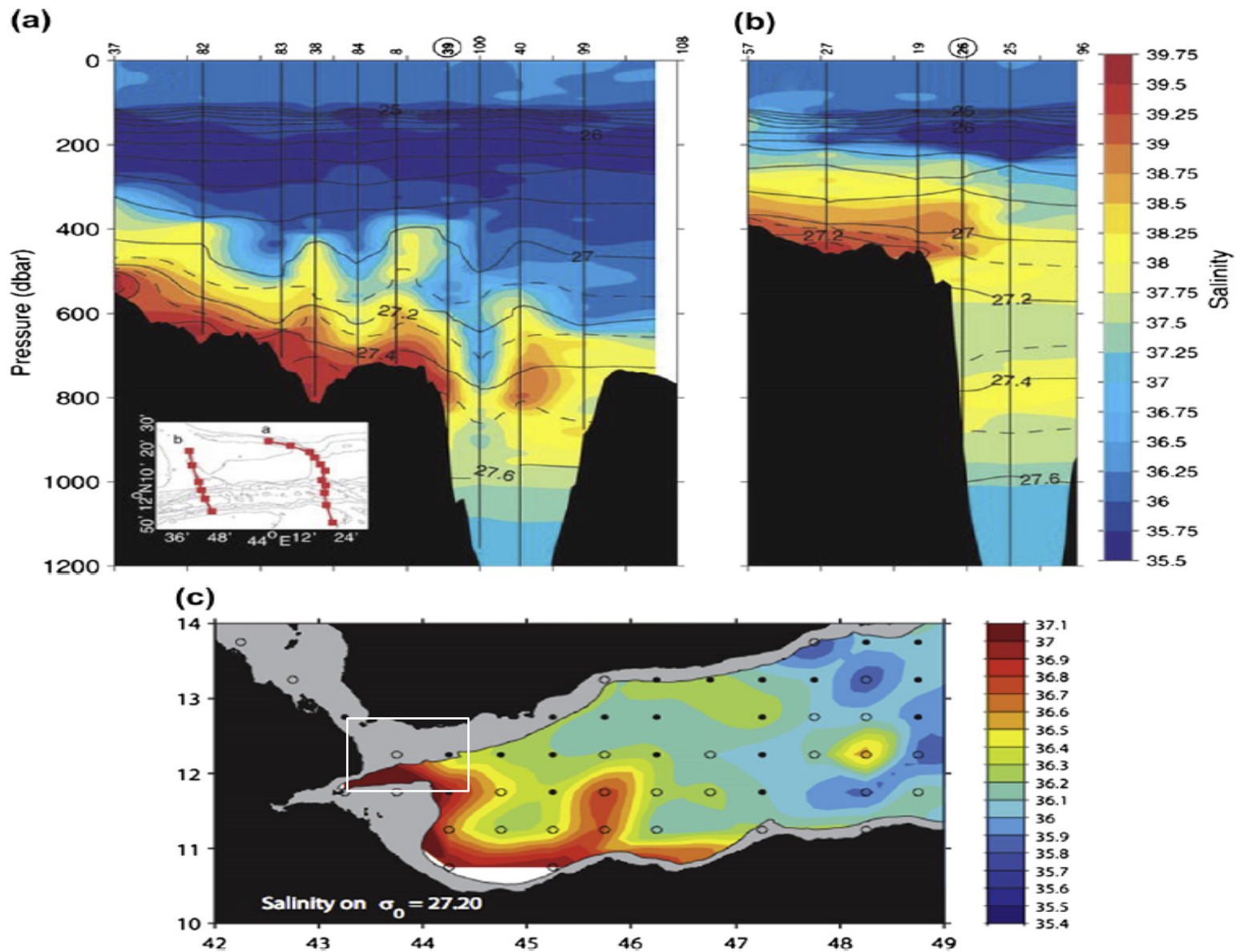
Arquipélago da Indonésia e Fluxo de Passagem com transportes (Sv). O painel de baixo sumariza os transportes acima e abaixo de 680 m (profundidade do Estreito de Makassar). Fonte: Gordon (2005). Extraído de Talley et al. (2011).



# Fluxos do Mar Vermelho e Golfo Pérsico

---

- **Água do Mar Vermelho (RSW)**
- O Mar Vermelho é uma das 2 fontes de água intermediária salina do globo. A outra é o Mar Mediterrâneo
- Após sua formação (39,7 psu) entra no Golfo de Aden onde começa a se diluir (38,8-39,2 psu)
- Transporta cerca de 0,4 Sv e ocupa a região de 400-1400 m na coluna d'água
- O seu núcleo de máxima salinidade ocorre em  $\sigma_\theta = 27,3$
- Se dilui bastante em seu caminho para sul, mas pode ser detectada no Canal de Moçambique e na Corrente das Agulhas



(a, b) Água da saída do Mar Vermelho: salinidade com contornos de densidade potencial no Golfo de Aden em fevereiro – março de 2001. (c) Saída do Mar Vermelho no Golfo de Aden: salinidade climatológica para a isopical de 27,2. Extraído de Talley et al (2011).





# Fluxos do Mar Vermelho e Golfo Pérsico

---

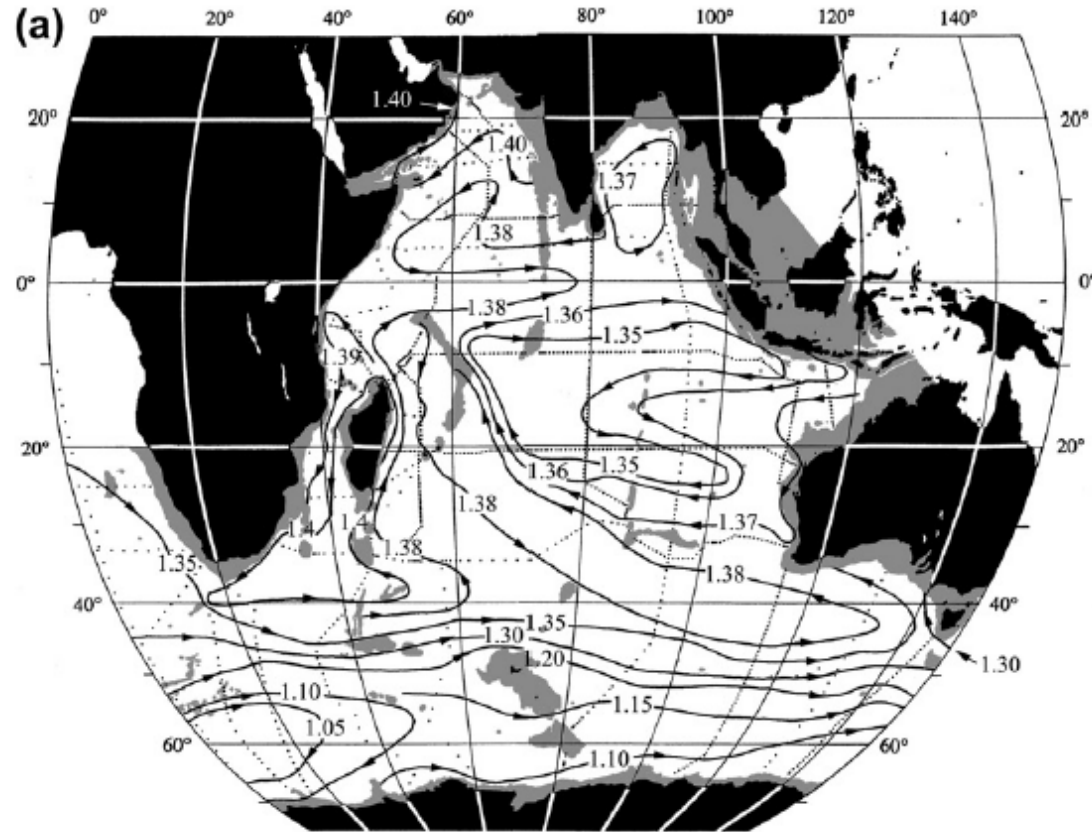
- **Água do Golfo Pérsico**

- Ao contrário do Mar Vermelho, o Golfo Pérsico (bem mais raso) contribui com água salina para o Mar da Arábia com menores densidades e, portanto, em profundidades menores
  - A formação de água densa ocorre durante final do inverno quando a temperatura está baixa e salinidade alta (19°C; 41 psu)
  - Como o transporte é de apenas 0,15 Sv, a diluição é muito grande, contribuindo somente para os primeiros 200-350 m da coluna d'água no Mar da Arabia ( $\sigma_\theta \approx 26,4 - 26,8$ )

# Circulação Intermediária e Profunda

- A circulação intermediária em 1000 m é dominada por fluxos zonais nos trópicos e por um giro subtropical anticiclônico no OI Sul

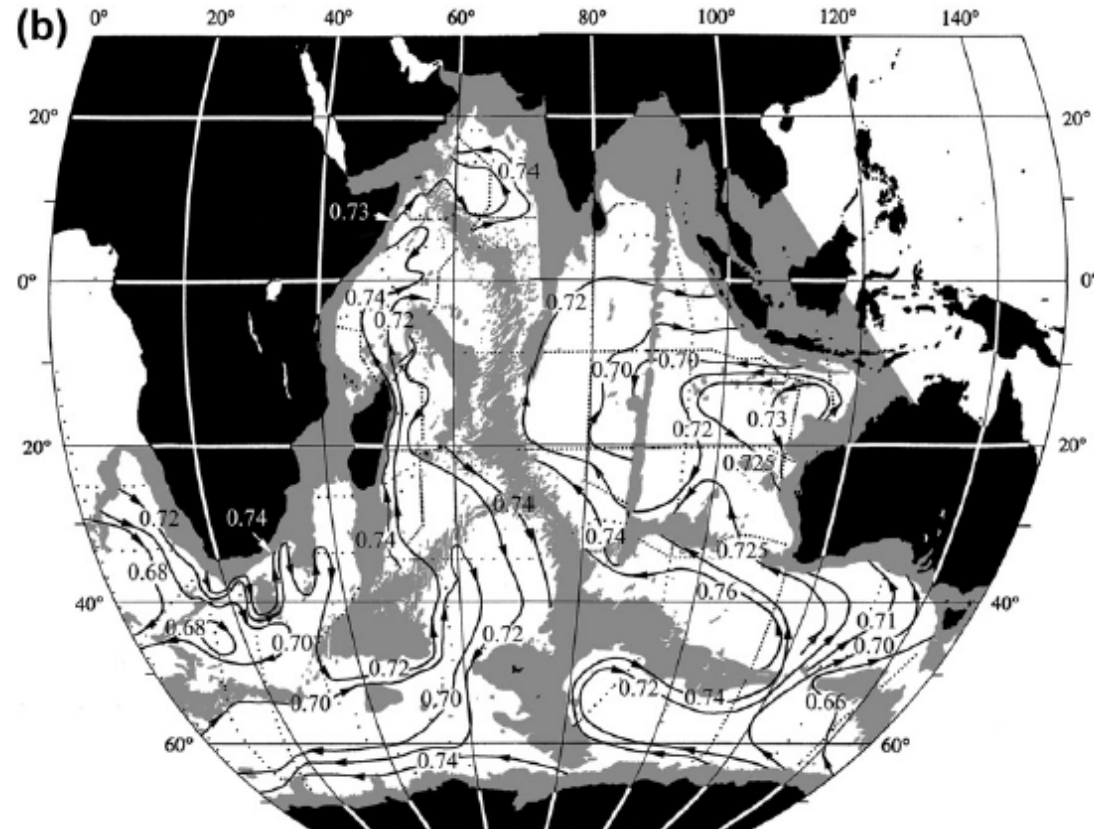
- Em 2000 m, o giro subtropical está restrito ao oeste do OI



Altura estérica ajustada (10 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>) em (a) 2000 dbar e (b) 3500 dbar. Fonte: Reid (2003). Extraído de Talley et al. (2011).

# Circulação Intermediária e Profunda

- A circulação intermediária em 1000 m é dominada por fluxos zonais nos trópicos e por um giro subtropical anticiclônico no OI Sul
- Em 2000 m, o giro subtropical está restrito ao oeste do OI
- Em 3500 m, a circulação é fortemente influenciada pela topografia



Altura estérica ajustada ( $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ) em (a) 2000 dbar e (b) 3500 dbar. Fonte: Reid (2003). Extraído de Talley et al. (2011).



# Circulação Intermediária e Profunda

---

- As Correntes de Contorno Oeste Profundas (DWBC) transportam a Água Circumpolar Profunda (CDW) e NADW (mais salinas) e a Água Circumpolar Profunda Inferior – LCDW (fria e mais doce) para norte
- O OI não apresenta fonte de águas profundas no HN e tem uma pequena entrada de água intermediária. Sendo assim, o transporte líquido nas camadas profundas é para norte, sendo compensado nas camadas superiores





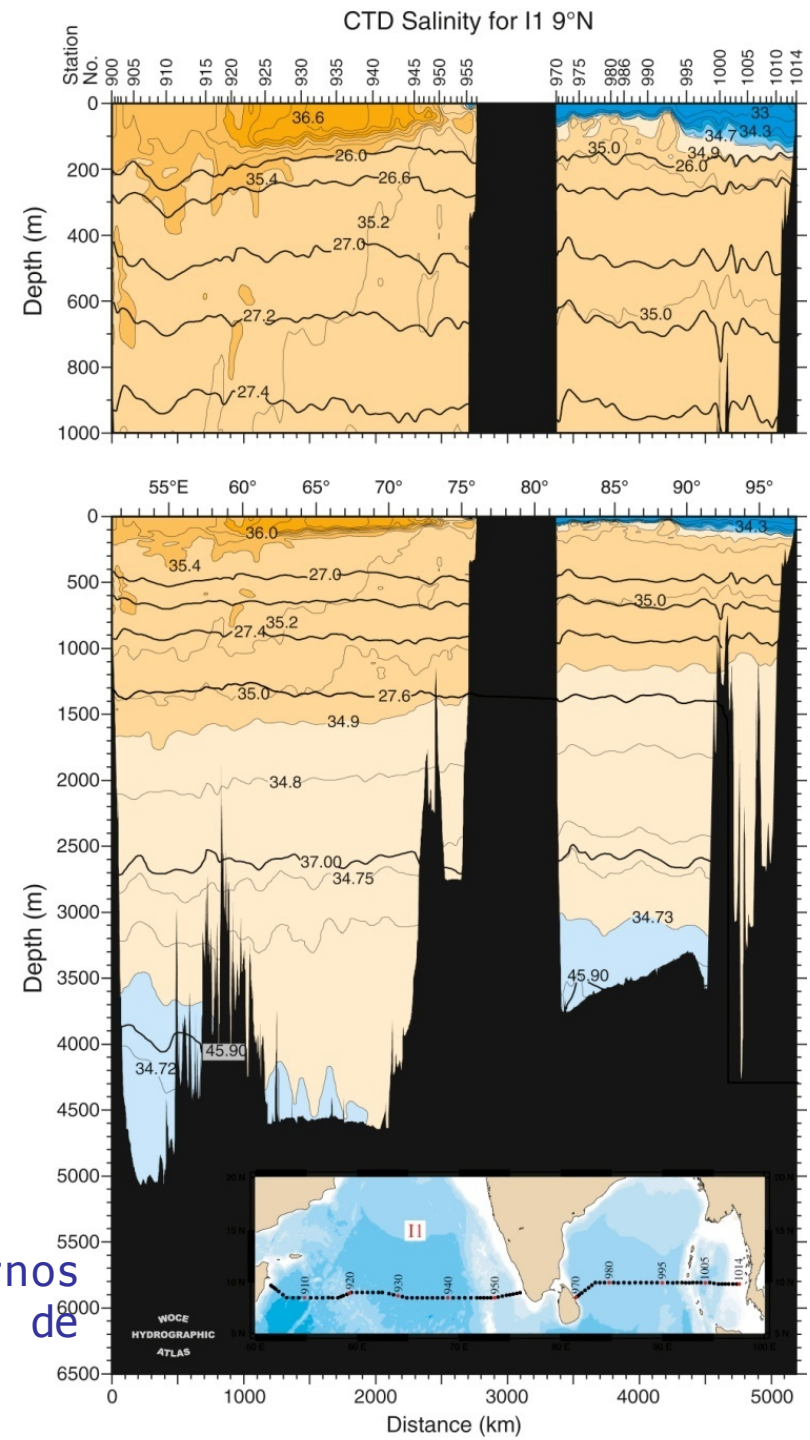
# Massas de Água

---

- **Águas Superficiais**

- O OI Tropical é praticamente uma extensão da piscina de água quente do Pacífico
  - Menores temperatura são encontradas para oeste
  - O OP Tropical oeste e o OI Tropical possuem as maiores temperaturas do globo, compondo juntamente a piscina mais quente do oceano tropical (26 – 30°C)
  - Ao contrário do OP, o OI Tropical é livre de cobertura de nuvens
  - A salinidade de superfície no HS é marcada pelo característico máximo de salinidade subtropical devido à predominância da evaporação. No entanto, esse máximo de salinidade é inferior e mais ao sul em relação aos outros oceanos no HS

- No HN, o Mar da Arábia (36,5 psu, maior evaporação) e a Baía de Bengala (31 – 34 psu, maior aporte fluvial) tem características salinas opostas em superfície



Seção de salinidade em 9N com contornos selecionados de densidade potencial. Extraído de Talley et al. (2011).



# Massas de Água

---

- A massa de água que marca a divisão entre o trópico e o subtropical é a Água da ITF na frente da SEC em  $\sim 10^\circ\text{S}$  representando um mínimo de salinidade na direção N-S. Em nível intermediário, a extensão desta se chama de Água Intermediária da ITF (IIW)
- Os giros subtropicais são ventilados por subdução, formando duas massas de água: Água Central (picnoclina) e a Água Subtropical de Sub-superfície (STUW) (máximo de salinidade logo acima da Água Central)



# Massas de Água

---

- **Águas Modais**

- As principais águas modais do Índico são a **Água Modal Subtropical (STMW)**, que compõe uma espessa camada ao norte da Corrente de Retorno das Agulhas e a **Água Modal Subantártica (SAMW)**, formada na SAF

- A SAMW (14°C, 35,4 psu) é muito mais intensa do que a STMW (17°C, 35,6 psu)
- No sudeste do OI, a SAMW é ainda mais intensa compondo uma camada de 700 m no inverno, sendo denominada de Água Modal Subantártica do Sudoeste do Índico – SEISAMW (8-9°C, 34,55 psu)
- Todas as SAMW do OI sofrem subducção para norte no giro subtropical

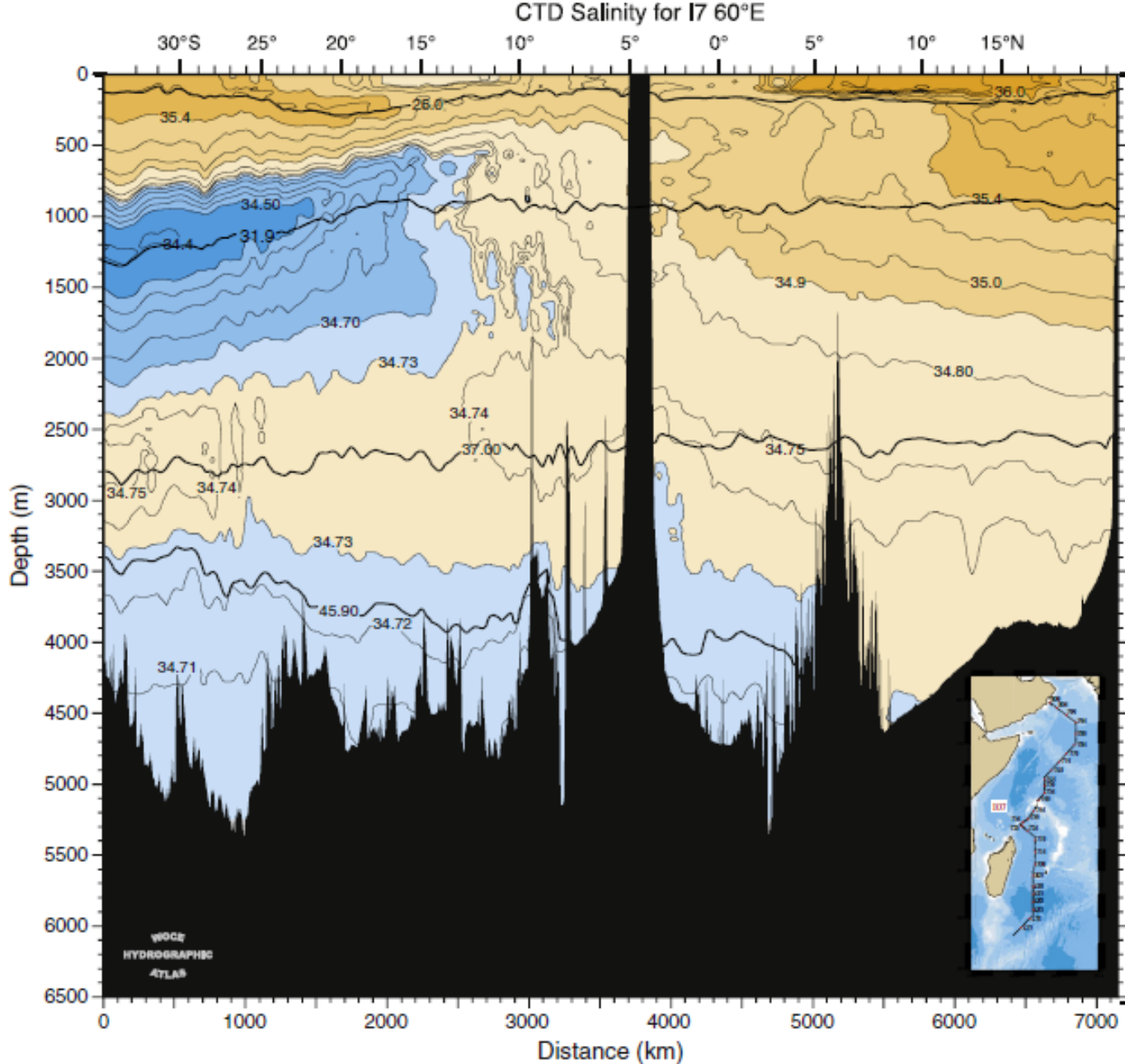




# Massas de Água

---

- **Águas Intermediárias**
- Águas de baixa salinidade (AIWW e IIW) e alta salinidade (RSW)
  - A AAIW é uma massa de água global do HS caracterizada por um mínimo de salinidade vertical na base da pycnoclina e ocupa a região entre 500 e 1000 m. Chega ao OI através do OA
  - A IIW, formada na ITF, também representa um mínimo de salinidade vertical, mas diferente da AAIW que ocupa o giro subtropical mais a sul
  - A RSW se forma no Mar Vermelho e é representada por um máximo de salinidade ( $\sigma_\theta \approx 27,2 - 27,4$ ) na região do Mar da Arábia e oeste do OI



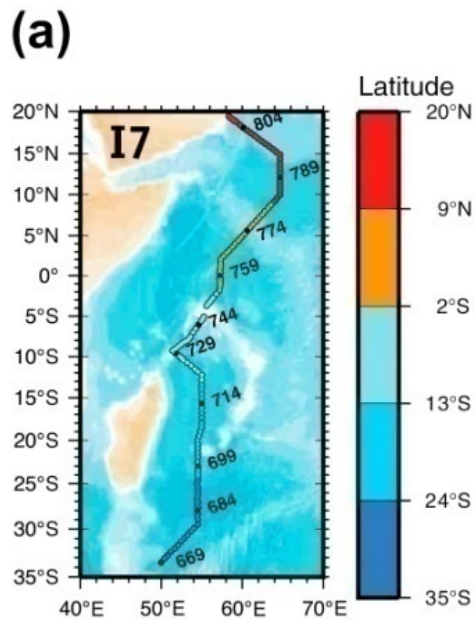
Salinidade ao longo de 60°E, com contornos de densidade potencial. No canto direito inferior são indicadas as estações do transecto. Extraído de Talley et al. (2011).



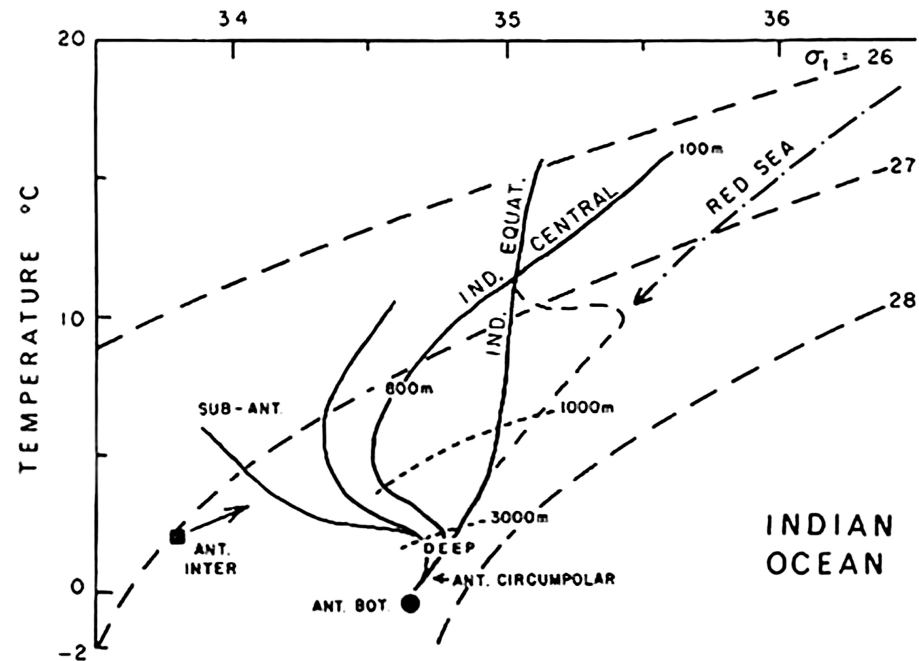
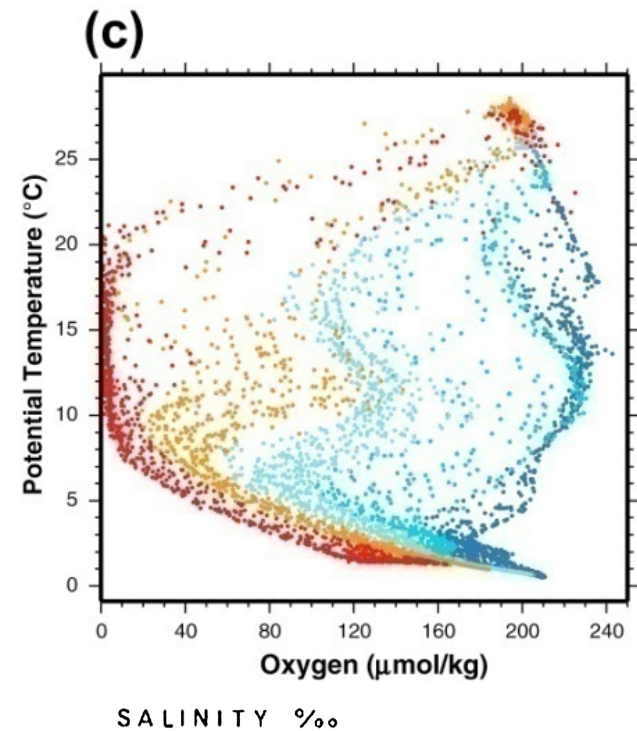
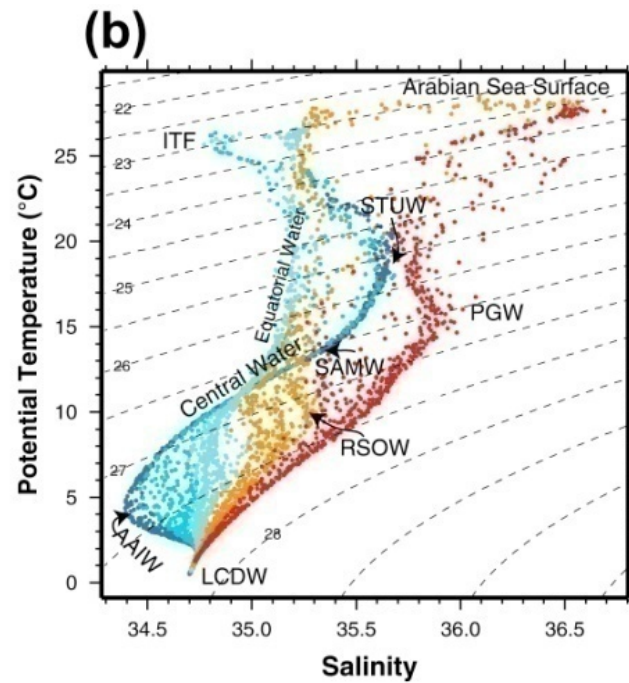
# Massas de Água

---

- **Águas Profundas e de Fundo**
- Não há locais de formação em superfície das águas profundas e de fundo no OI
- As densidades das Águas do Mar Vermelho e do Golfo Pérsico são suficientes para que estas atinjam o fundo, no entanto, devido aos seus pequenos volumes, atingem somente profundidades intermediárias e rasas, respectivamente
- As águas profundas do OI são oriundas da superfície do OA Norte (NADW) e do Oceano Austral (CDW)
- Considera-se, no entanto, uma água profunda “formada” (por difusão e ressurgência) no OI: a Água Profunda do Índico (IDW)
- A principal água de fundo é a LCDW ( $<1^{\circ}\text{C}$ , 34,71 psu)



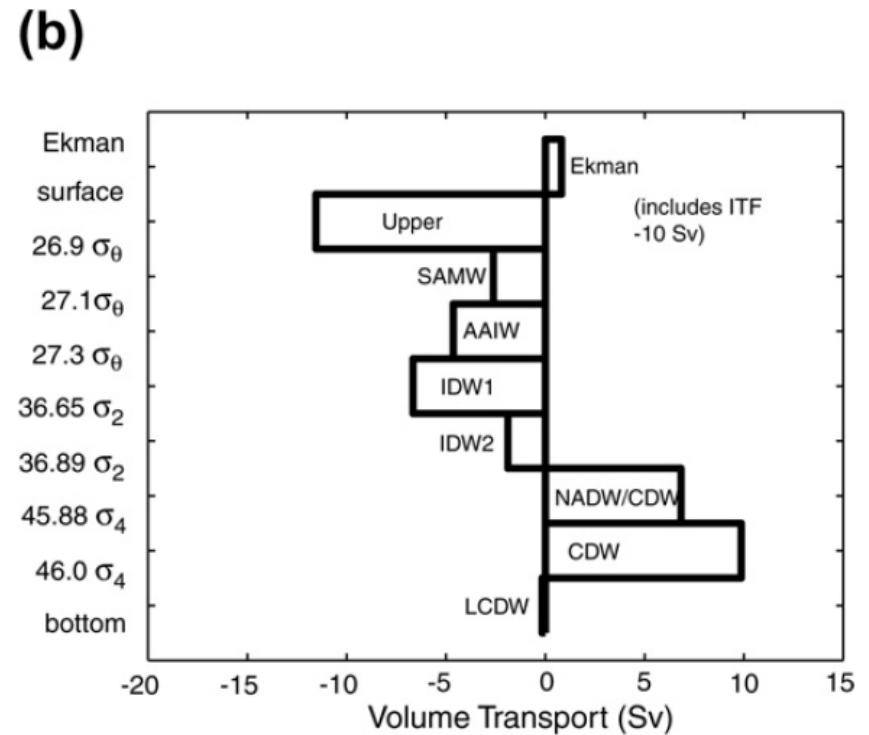
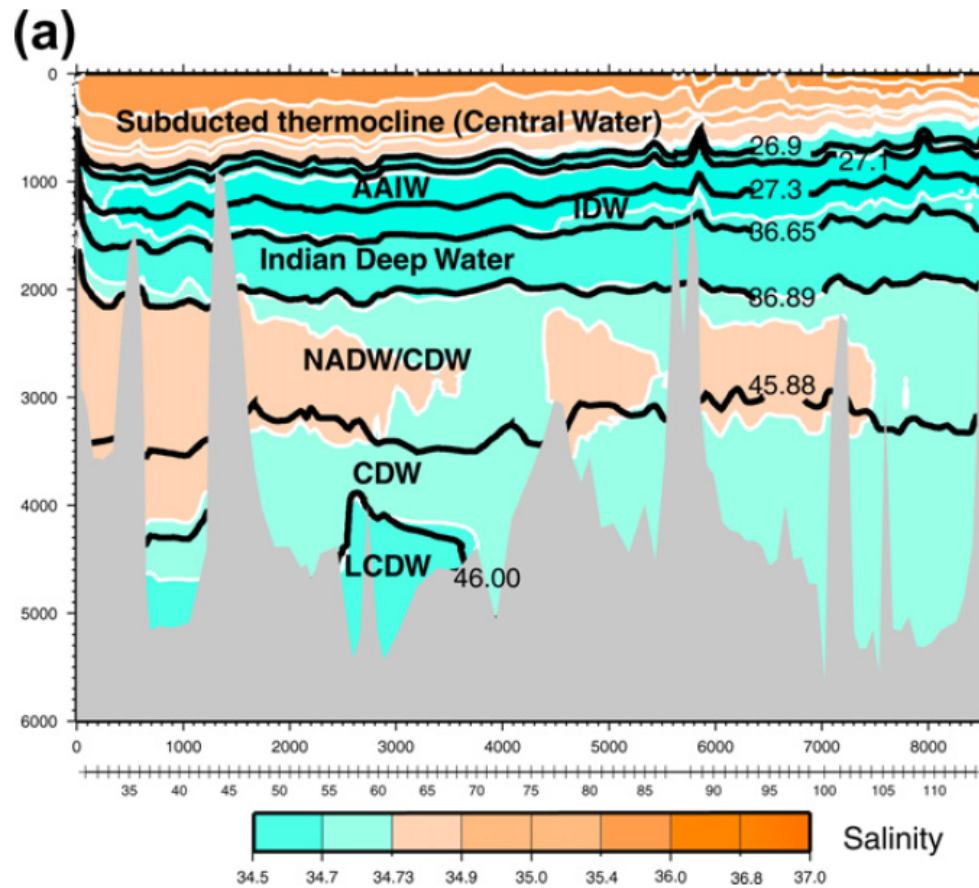
WOCCE  
HYDROGRAPHIC  
ATLAS



(a) Localização das estações, (b) Diagrama TS para Oceano Índico ao longo de 60°E. (c) Diagrama temperatura potencial x oxigênio. (abaixo) Curvas TS para o OI. Extraído de Talley et al. (2011).



# Massas de Água



(a) Salinidade em 32°S com camadas isopicnais e o nome das massas de água. (b) Transporte meridional nas camadas isopicnais. Fonte: Talley (2008). Extraído de Talley et al. (2011).



# Referências Bibliográficas

---

Talley et al (2011). *Indian Ocean*. In Descriptive Physical Oceanography: an introduction, pp. 363 - 399.

Talley et al (2011). *Indian Ocean*. In Supplementary Materials, pp. 1-14.