

FISB24

Oceano Ártico e os Mares Nórdicos

Mauro Cirano

ICE (°F)

40

50

60

70

80

90



# Sumário

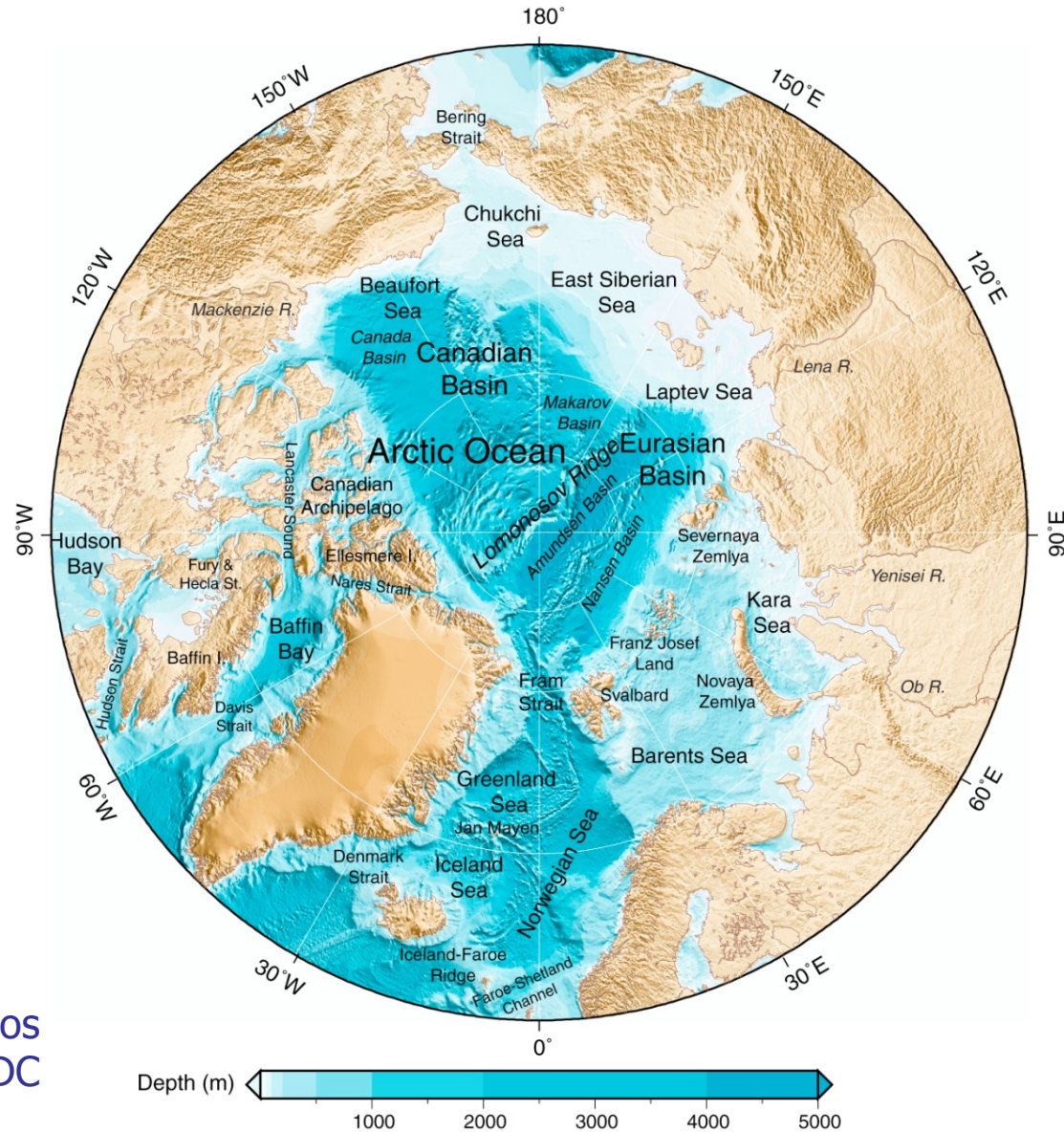
---

- Introdução
- Os mares Nórdicos
- As Baías de Baffin e Hudson
- Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo
- Massas de Água do Oceano Ártico
- Transporte e fluxos no Oceano Ártico
- Gelo Marinho no Oceano Ártico

# Introdução

- O **Oceano Ártico (OAr)** é um mar mediterrâneo cercado pela América do Norte, Europa e Ásia

- Ele se conecta com o OA pelos dois lados da Groenlândia e com o OP através do Estreito de Bering

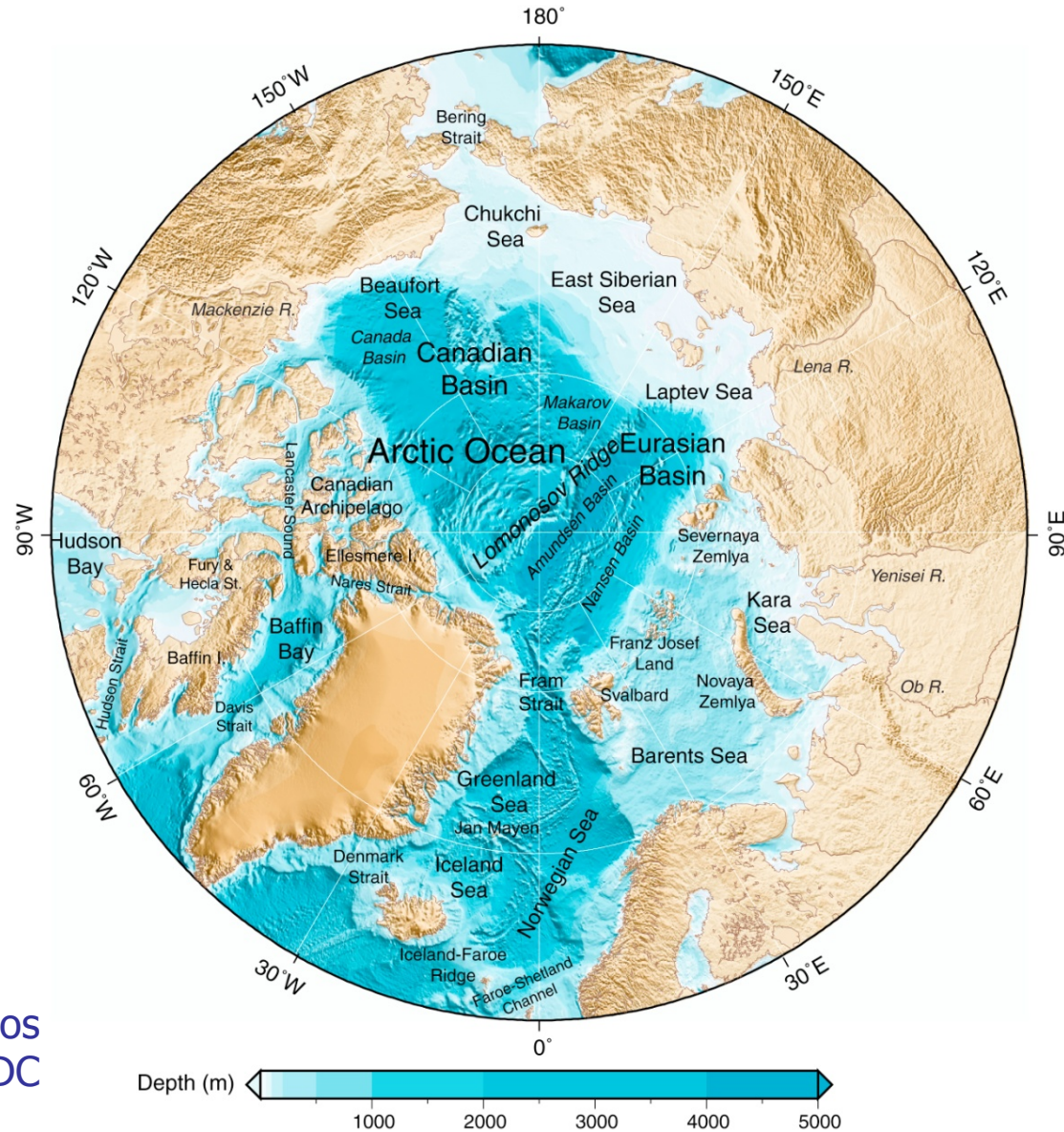


Batimetria do Oceano Ártico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008)



# Introdução

- Os **Mares Nórdicos** representam uma região central para a criação da NADW
  - São ainda uma conexão de alta latitude entre as águas menos salgadas do OP e as águas mais salgadas do OA
- A cobertura de gelo marinho do OAr é uma componente vital no clima global



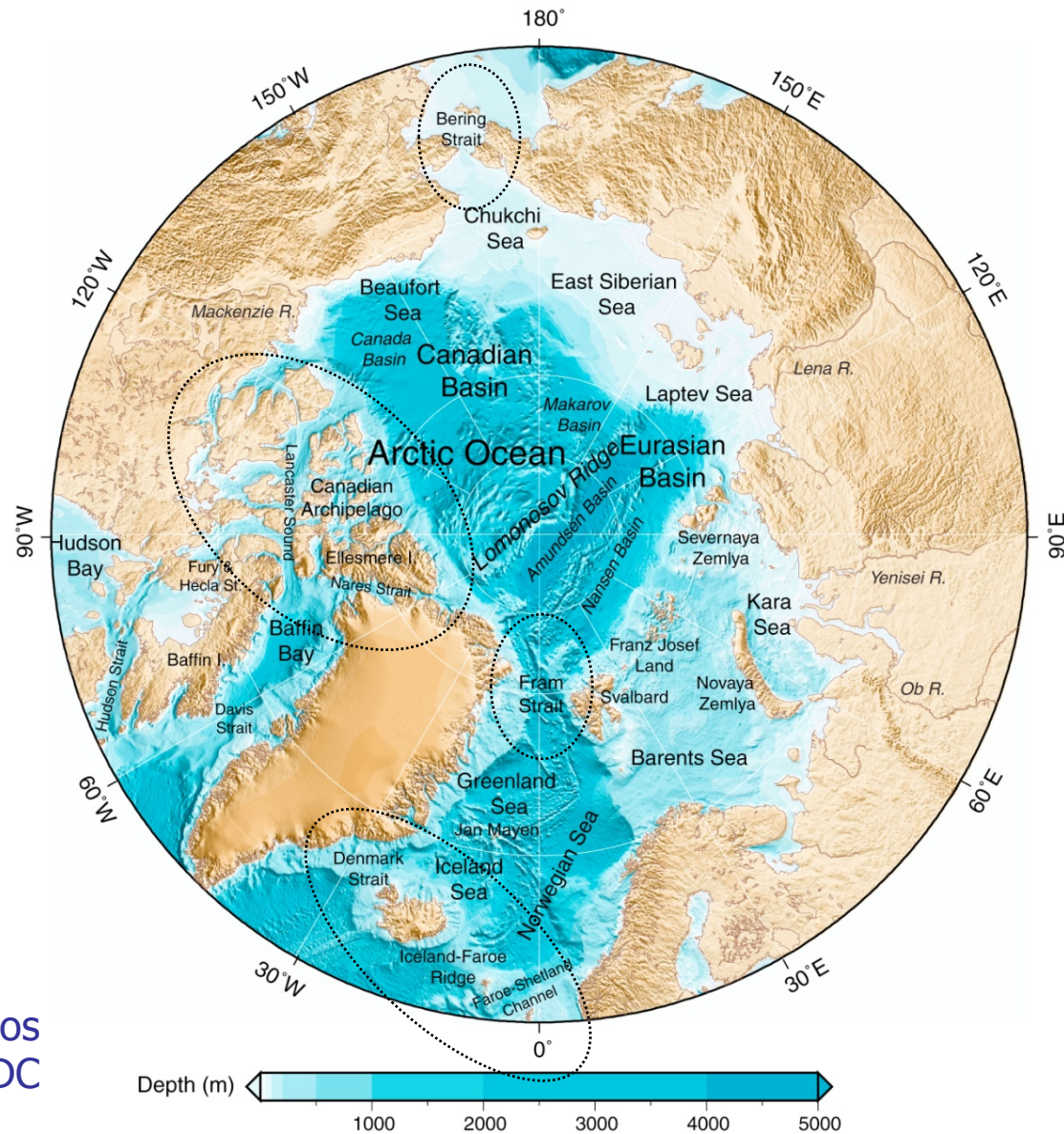
Batimetria do Oceano Ártico, baseado nos dados do ETOPO2 obtidos da NOAA NGDC (2008)





# Introdução

- Conexões e barreiras:
  - Estreito de Fram (2600 m)
  - Estreito de Bering (45 m)
  - Arquipélago Canadense (Estreito de Nares – 250 m e Lancaster Sound – 130 m)
  - Elevação da Groenlândia e Escócia (Estreito da Dinamarca – 620 m, Elevação da Islândia – Faroer – 480 m e elevação Faroer – Shetland – 840 m)



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



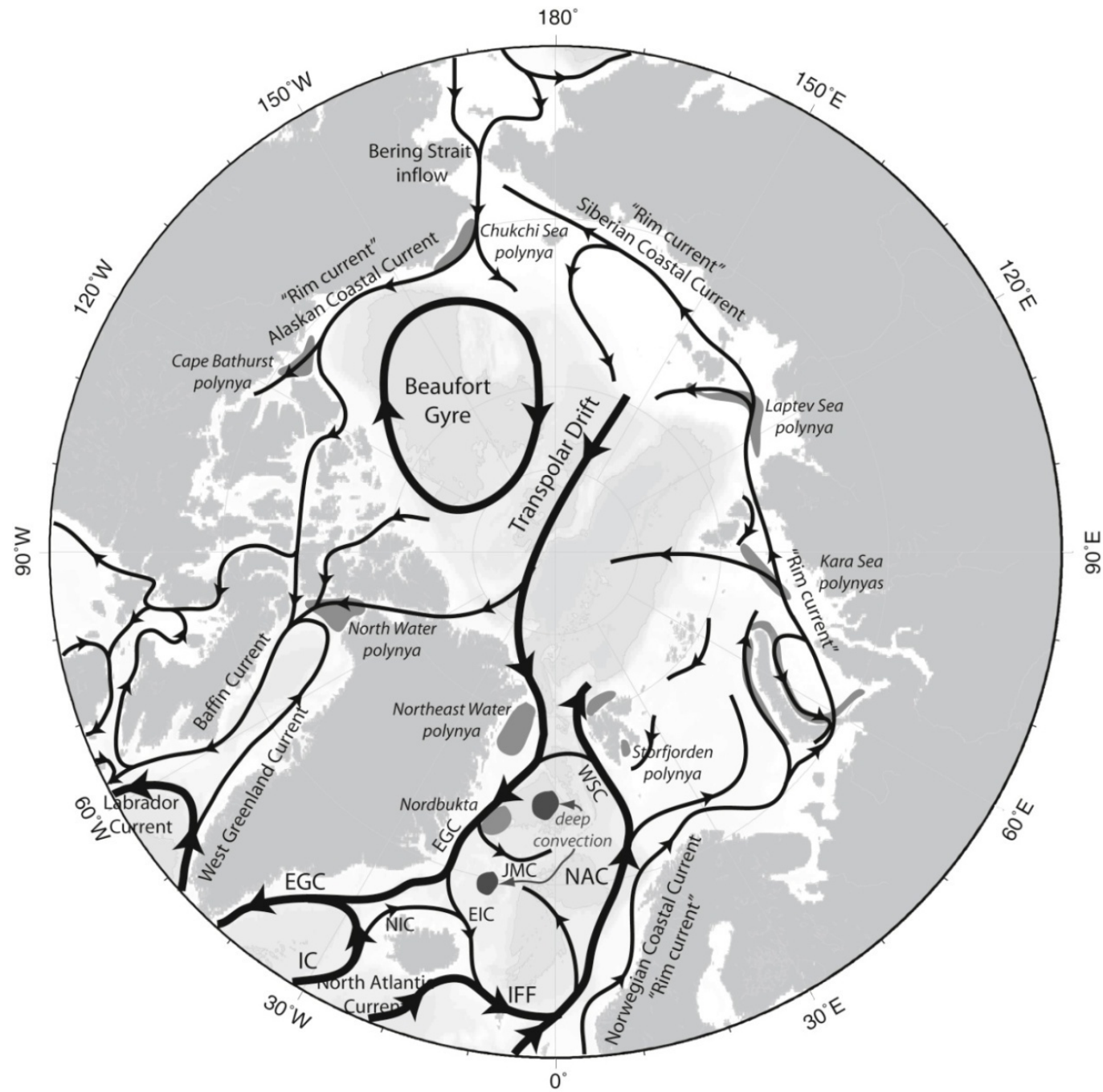
# Introdução

---

- A circulação superficial é dividida principalmente em:
  - Circulação ciclônica nos Mares Nórdicos e na Bacia da Eurásia
  - Circulação anticiclônica na Bacia Canadense – **Giro de Beaufort**
  - A **Deriva Transpolar (TPD)**, que é a principal circulação que cruza o polo conectando os dois sistemas



Esquema da circulação superficial do Oceano Ártico e dos Mares Nordicos, incluindo o nome das principais polínias e as regiões de convecção profunda. As linhas em destaque indicam as principais componentes da circulação, geralmente com transportes maiores do que as linhas mais finas. Siglas: EGC - East Greenland Current, EIC - East Iceland Current, IC - Irminger Current, IFF - Iceland-Faroe Front, JMC - Jan Mayen Current, NAC - Norwegian Atlantic Current e NIC - North Irminger Current. Extraído de Talley et al. (2011).





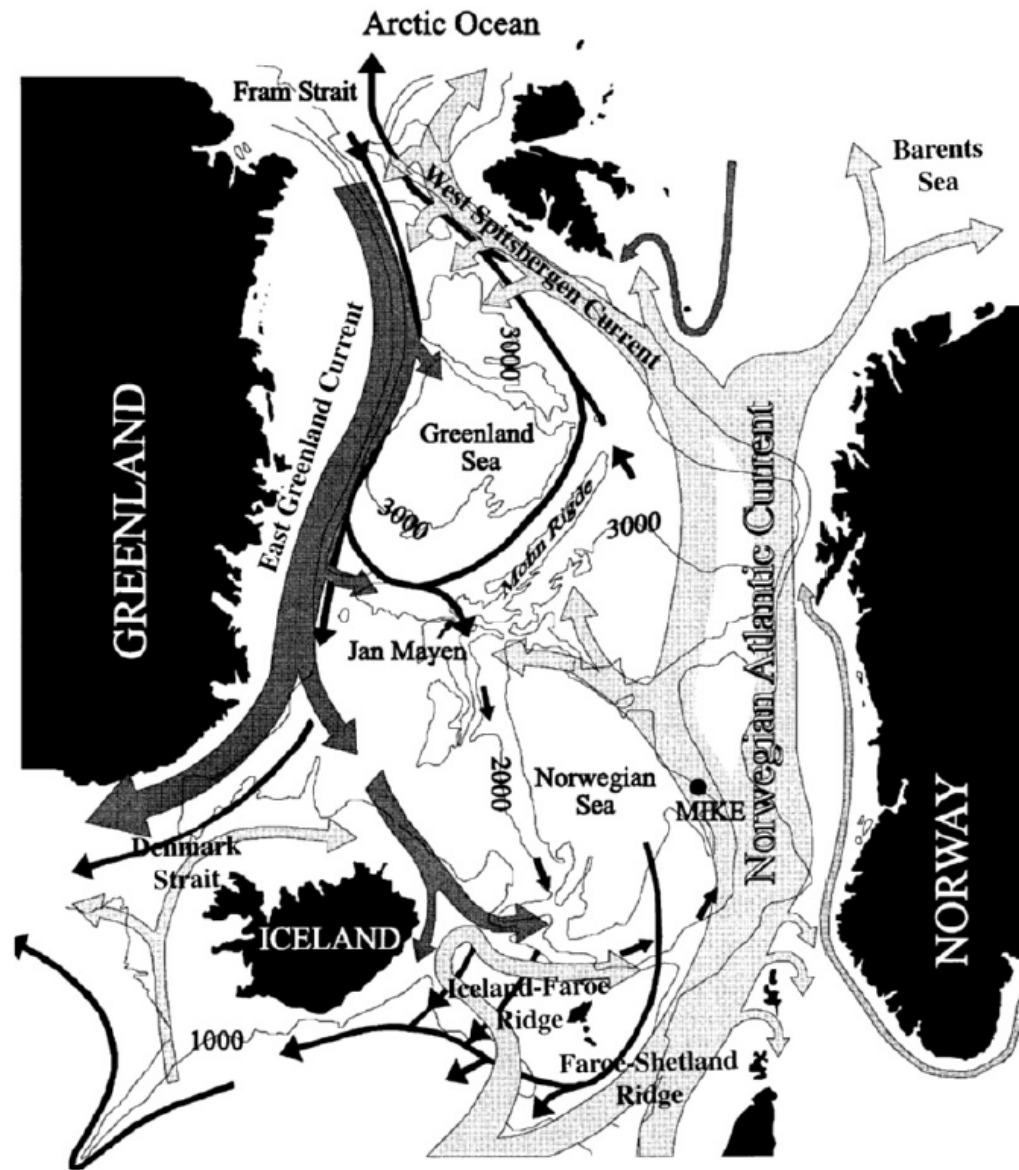
# Mares Nórdicos

---

- Os Mares Nórdicos incluem: o Mar da Groenlândia, o Mar da Noruega, e o Mar da Islândia
- A renovação das águas mais densas no HN ocorre no Mar da Groenlândia
- Águas densas do OAr também fluem para o Mar da Groenlândia e são uma parte importante na mistura das águas que finalmente sairão pela barreira para o OA, para formar o núcleo da NADW

- Em linhas gerais a circulação nos Mares Nórdicos é ciclônica:

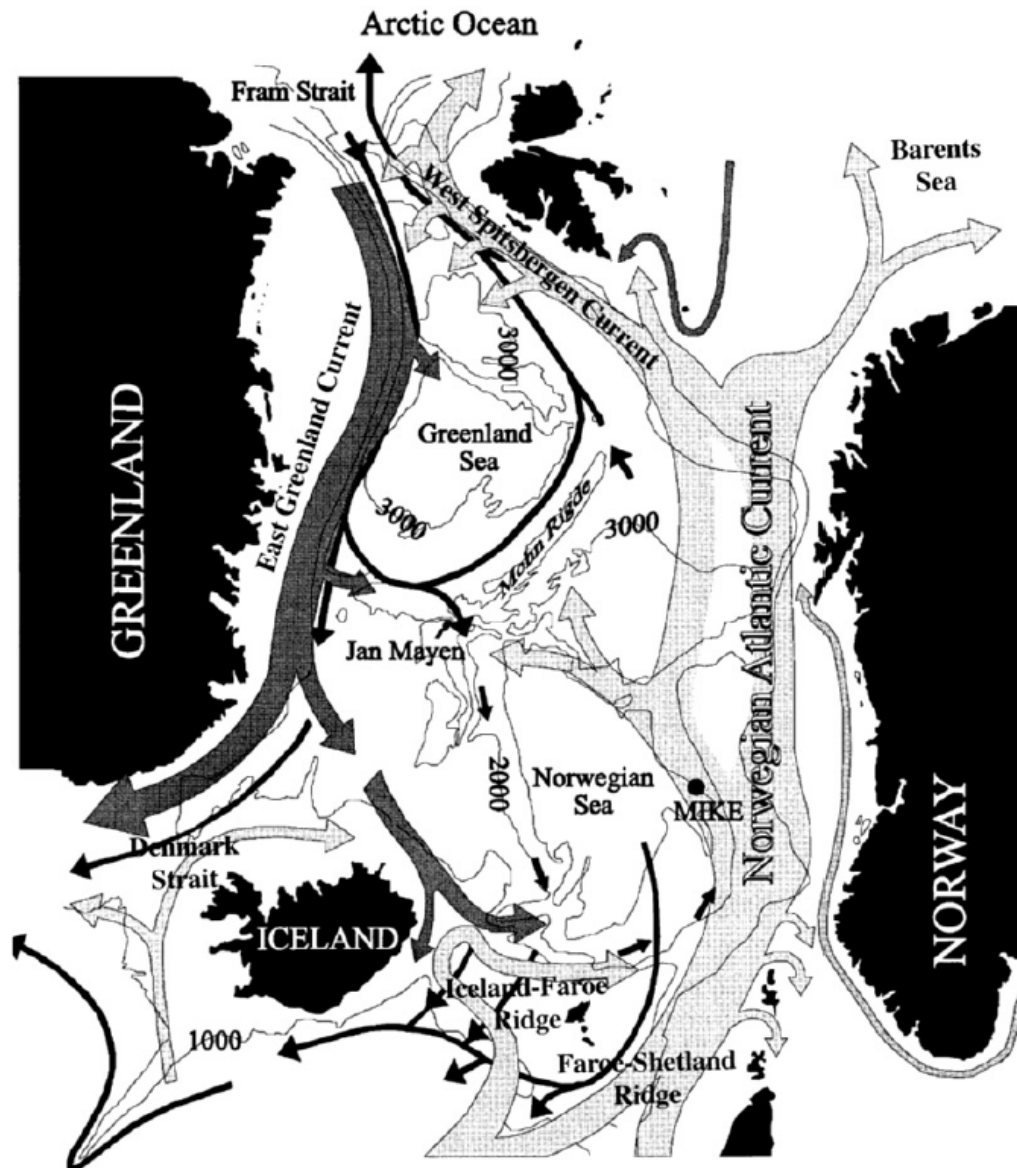
- A troca com o OA Norte ocorre na camada superior, acima das elevações que ocorrem entre a Groenlândia e a Escócia
- A **Corrente Atlântica da Noruega** (águas quentes e salinas) entra pelo leste, como uma continuação da NAC
- A CCO associada é a **Corrente Leste da Groenlândia (EGC)**, que flui para sul, com uma conexão do OAr através do Estreito de Fram



Principais correntes nos Mares Nórdicos. As setas mais grossas indicam a circulação na camada superior enquanto que as setas finas indicam a circulação profunda. Extraído de Talley et al. (2011).



- As águas de sub-superfície deixam os Mares Nórdicos como um fluxo para sul que ocorre acima das 3 principais barreiras
- Estas águas geralmente tem características intermediárias
- As águas mais profundas entram nos Mares Nórdicos pelo OAr através do Estreito de Fram



Principais correntes nos Mares Nórdicos. As setas mais grossas indicam a circulação na camada superior enquanto que as setas finas indicam a circulação profunda. Extraído de Talley et al. (2011).



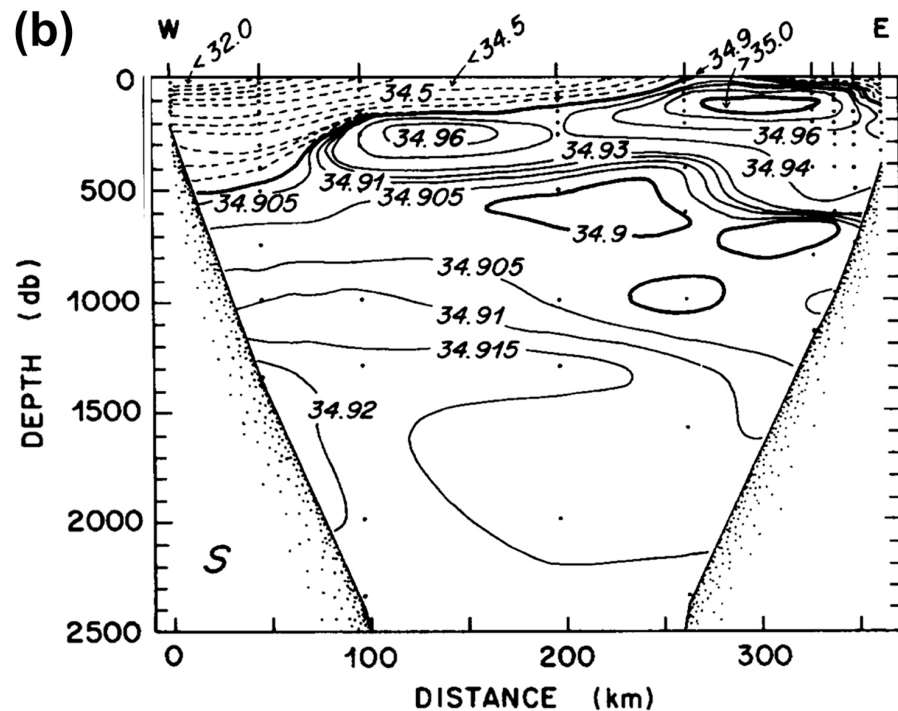
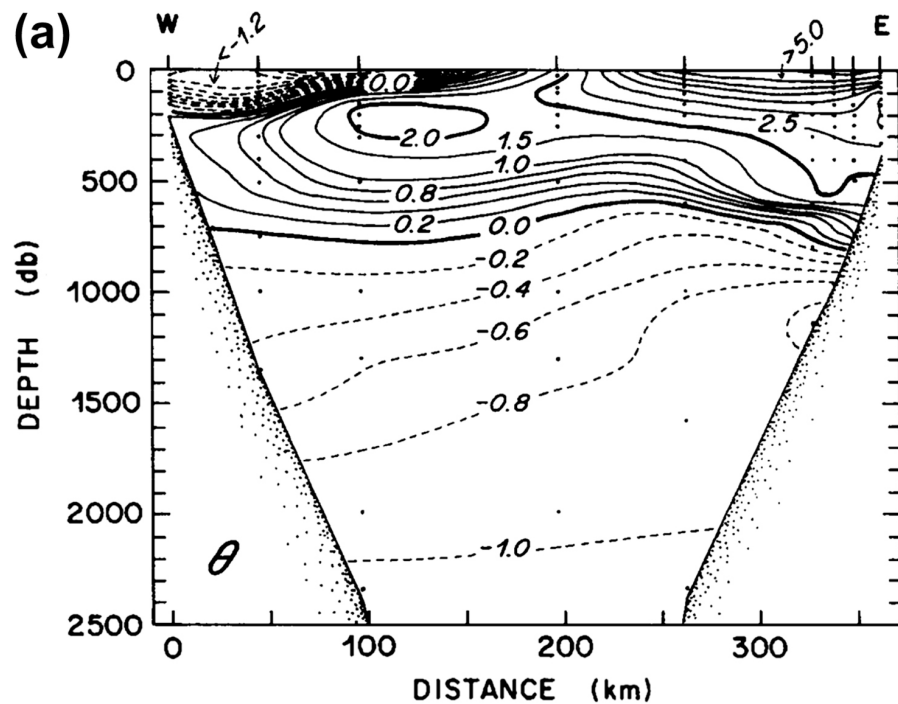
# Mares Nórdicos

---

- **Massas de água nos Mares Nórdicos**
- As massas de água são complicadas e mudam com o tempo, mas podemos destacar 2 águas superficiais, 3 águas intermediárias e 3 águas profundas
- As 2 águas superficiais são a quente e salina **Água do Atlântico (AW)** e a fria e menos salina **Água Polar de Superfície**

➤ A AW entra pela Corrente Atlântica da Noruega (7-9°C e 35,2 psu) e esfria e fica menos salina a medida que flui para norte, chegando a 1-3°C e 35 psu em Spitsbergen. O calor transportado através desta massa de água é fundamental para o clima mais ameno da Escandinávia

➤ A Água Polar de Superfície é menos salina (< 34 psu) e tem temperaturas próximas do ponto de congelamento (< -1,5°C). A presença desta água resulta em água superficiais muito mais frias no Mar da Groenlândia do que no Mar da Noruega



(a) Temperatura Potencial e (b) salinidade no Estreito de Fram em 1980 . Extraído de Talley et al. (2011).

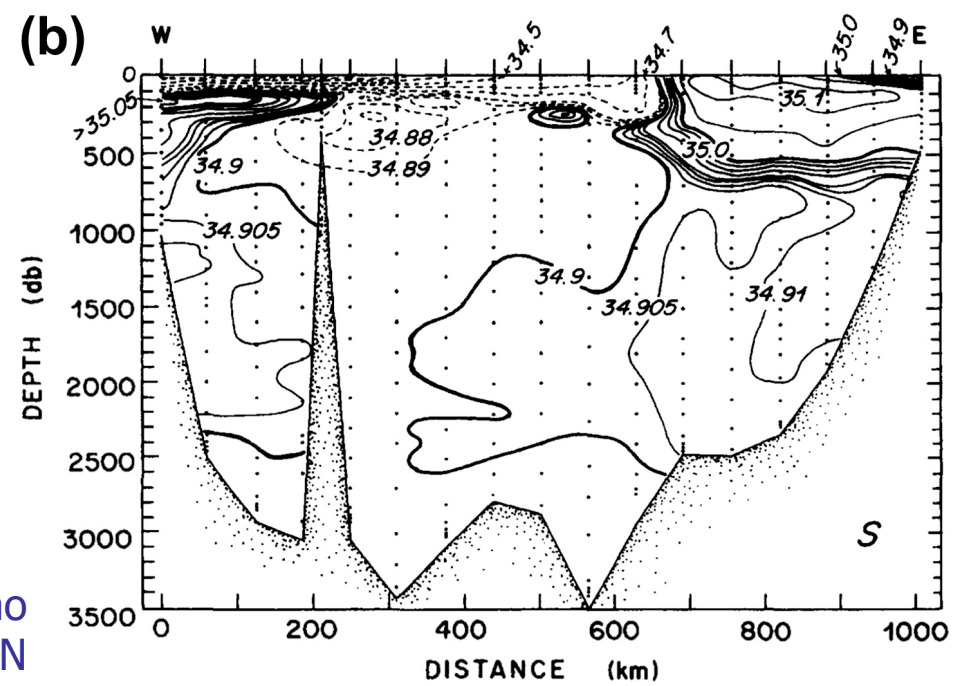
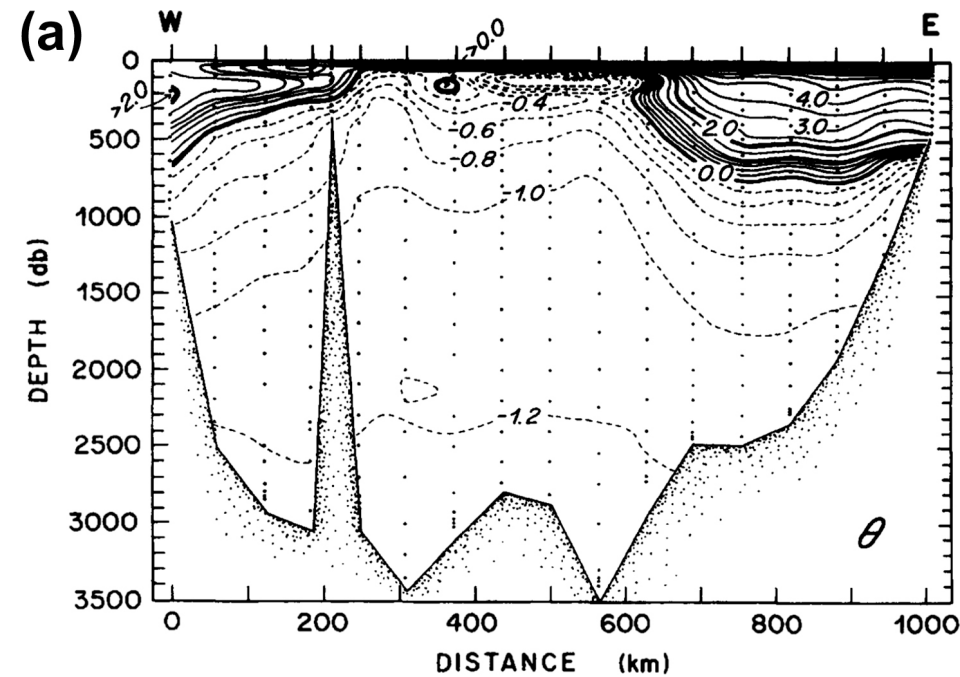


- As águas intermediárias incluem:

- Uma água rasa e de sub-superfície que forma uma camada quente e salina ( $\sim 150$  m,  $> 2^\circ\text{C}$ , 35 psu) na EGC, denominada de **recirculação da AW**

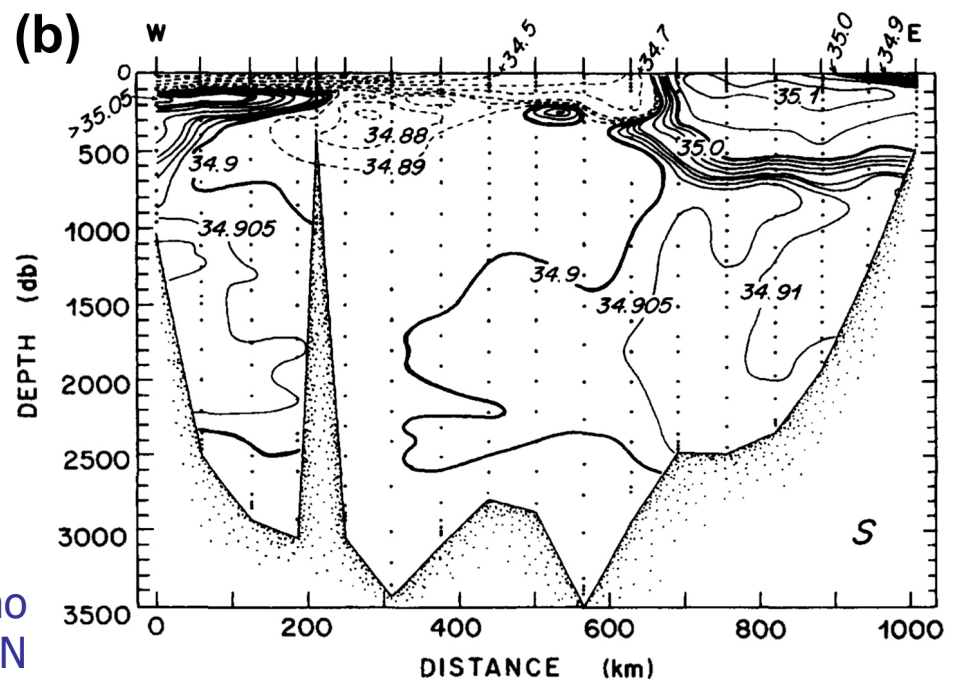
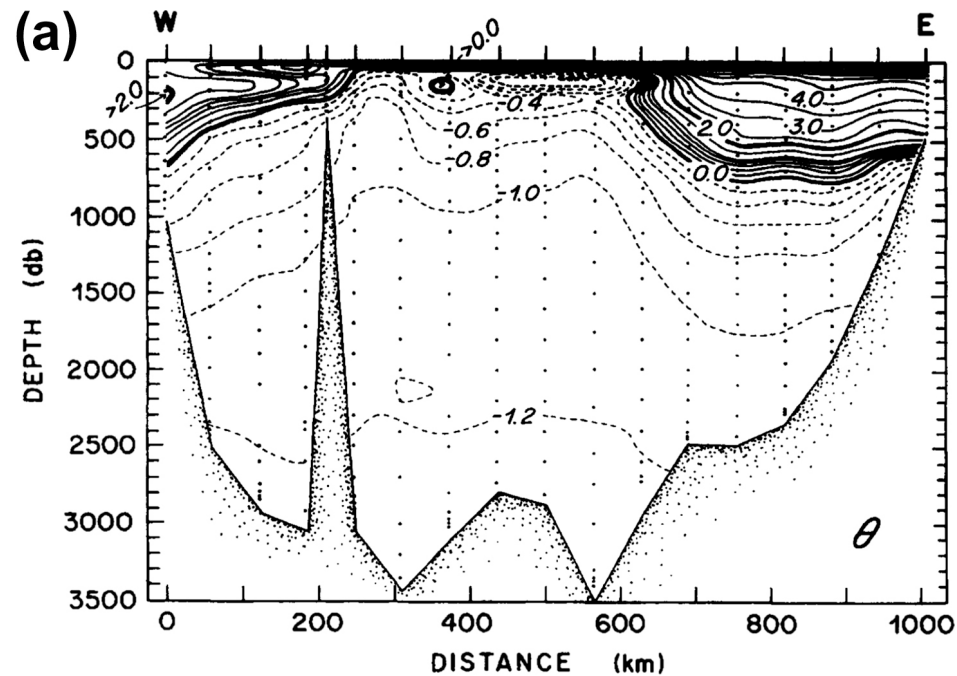
- A **Água Ártica Intermediária (AIW)**, fria e menos salina ( $-1,2^\circ\text{C}$ , 34,88 psu) centrada em profundidades intermediárias ( $\sim 800$  m)

- A **Água Profunda Polar Superior (uPDW)** com temperaturas frias ( $0 - 0,5^\circ\text{C}$ ) e salinidades entre 34,85 e 34,9 psu. Vide seção do Estreito de Fram



(a) Temperatura Potencial e (b) salinidade ao longo do sul do Mar da Groenlândia em  $73,5^\circ\text{N}$  em 1985. Extraído de Talley et al. (2011).

- As águas profundas incluem:
  - **Água Profunda do Mar da Groenlândia**, que é a camada de fundo mais fria que  $-1,2^{\circ}\text{C}$  e menos salgada que 34,896
  - **Água Profunda do Oceano Ártico**, que representa a água salina profunda que entra através de uma DWBC
  - **Água Profunda do Mar da Noruega**, que é uma mistura das duas massas de água acima



(a) Temperatura Potencial e (b) salinidade ao longo do sul do Mar da Groenlândia em  $73,5^{\circ}\text{N}$  em 1985. Extraído de Talley et al. (2011).

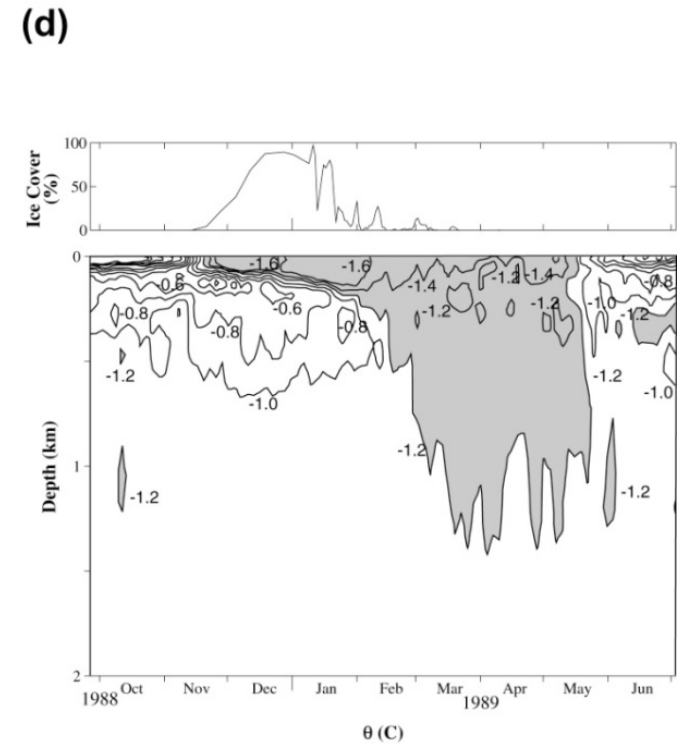
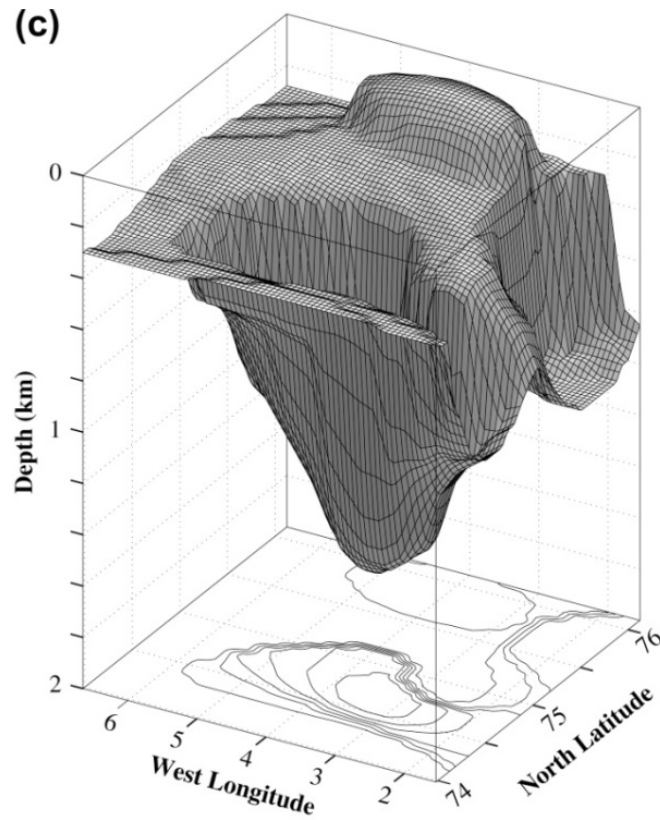
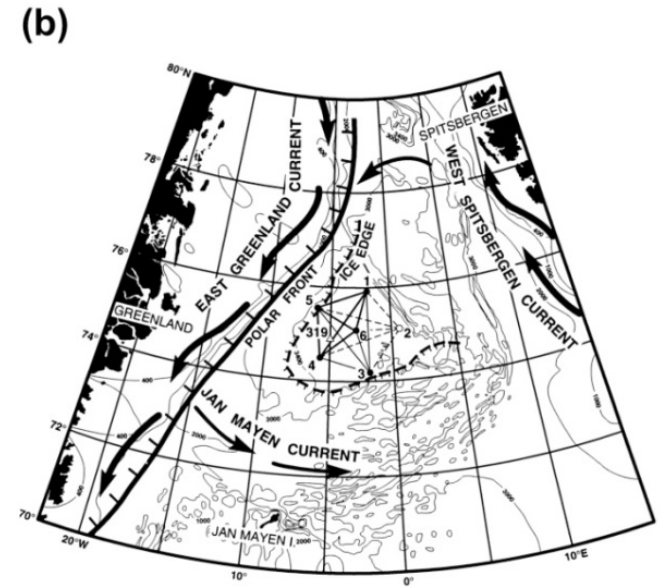


# Mares Nórdicos

---

- **Convecção vertical e formação de Água Densa**
- Historicamente, a renovação das águas profundas com a maior densidade no HN tem sido no Mar da Groenlândia
  - Estas águas e as águas intermediárias do Mar Nórdico contribuem para a parte mais densa da NADW depois que elas passam pela barreira
  - A formação das águas profundas nos Mares Nórdicos ocorrem através de convecção profunda, processo que pode ocorrer: (i) através do aprofundamento da camada de mistura durante o inverno ou (ii) pela convecção através de plumas que passam através de uma estratificação de meia-profundidade

(b) Região onde ocorre convecção profunda no Mar da Groenlândia. (c) Profundidade da camada de mistura. (d) Série temporal da temperatura potencial. Extraído de Talley et al. (2011).

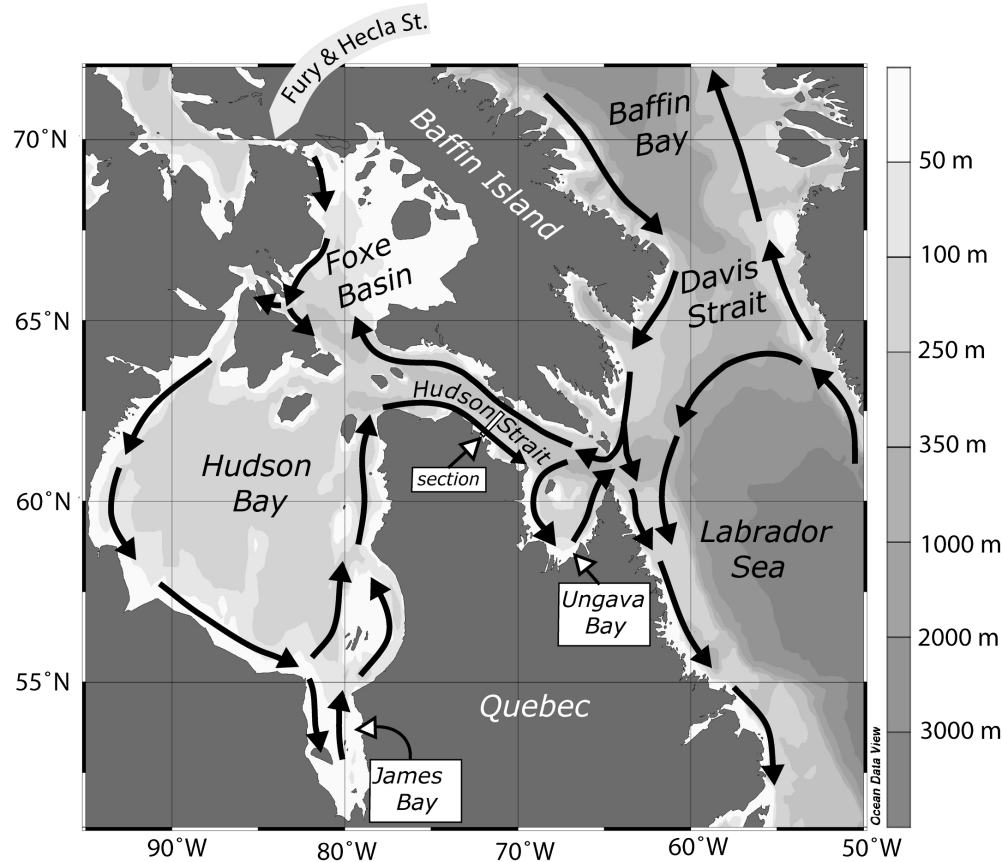




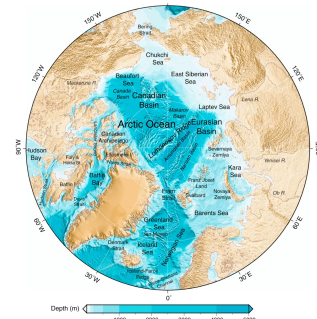


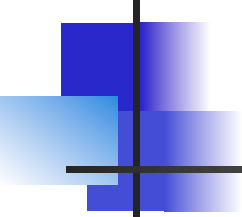
# As Baías de Baffin e Hudson

- A Baía de Hudson contribui com 50% do transporte de água doce que chega na Corrente do Labrador, sendo que existe um marcado ciclo sazonal na entrada de água doce dos rios
- A Baía de Baffin já é bem mais profunda (profundidade máxima de 2400 m) e fica separada do Mar do Labrador por uma barreira (640 m de profundidade)
- Com relação a circulação profunda, a Baía de Baffin é considerada um buraco profundo, onde as águas tem alto tempo de residência



Esquema da circulação na Baía de Hudson e periferia da Baía de Baffin. Extraído de Talley et al. (2011).





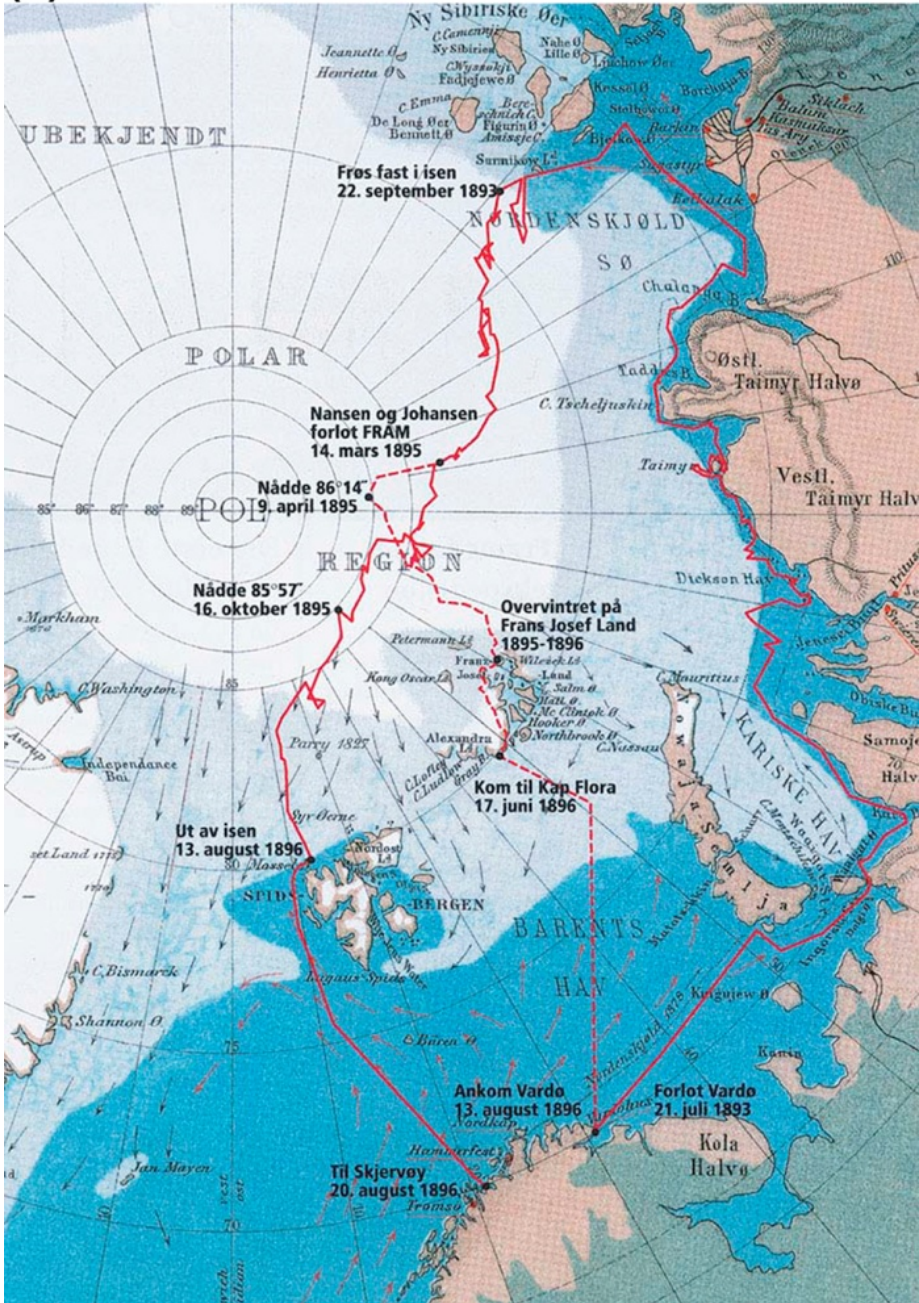
# Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo

---

- A circulação no OAr é predominantemente ciclônica no lado da Eurásia e anticiclônica na Bacia Canadense
- A TPD flui ao longo o OAr entre estas duas circulações, indo do Estreito de Bering até o Estreito de Fram
- As águas que entram no OAr fluem através da Corrente Atlântica da Noruega e através do Estreito de Bering (conexão com o OP)
- Grande parte da circulação superficial que se conhece é baseada em deriva de gelo



(a)

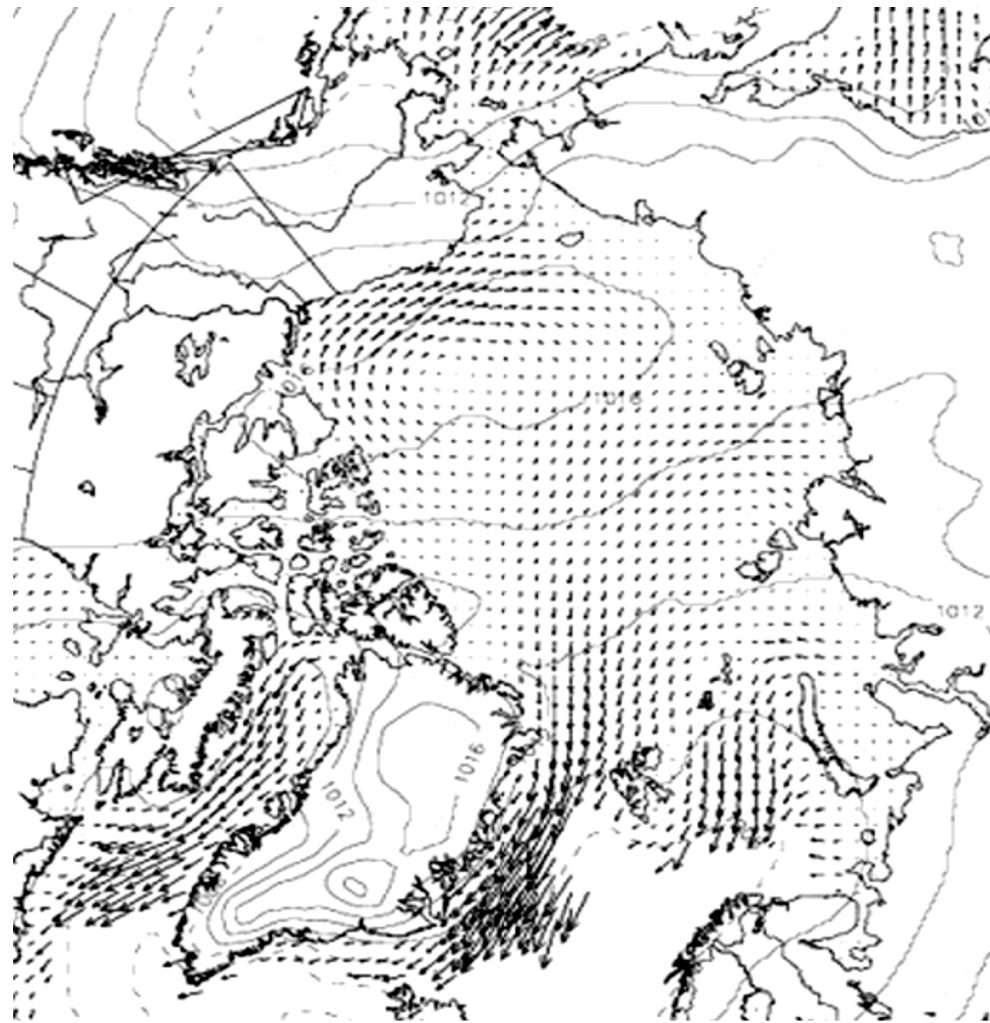


(b)



(a) Rota do Navio Fram (1893-1896). (b) O navio foi congelado intencionalmente no gelo em 1893 e derivou com o gelo até 1896. Extraído de Talley et al. (2011).

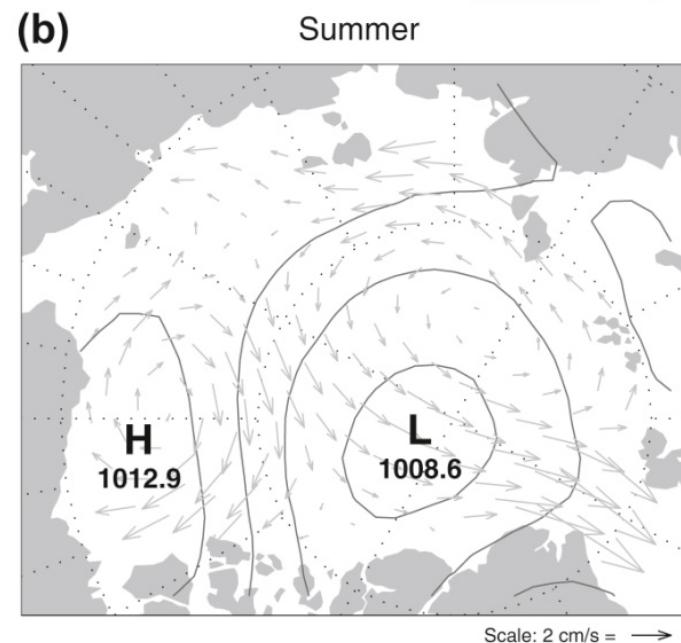
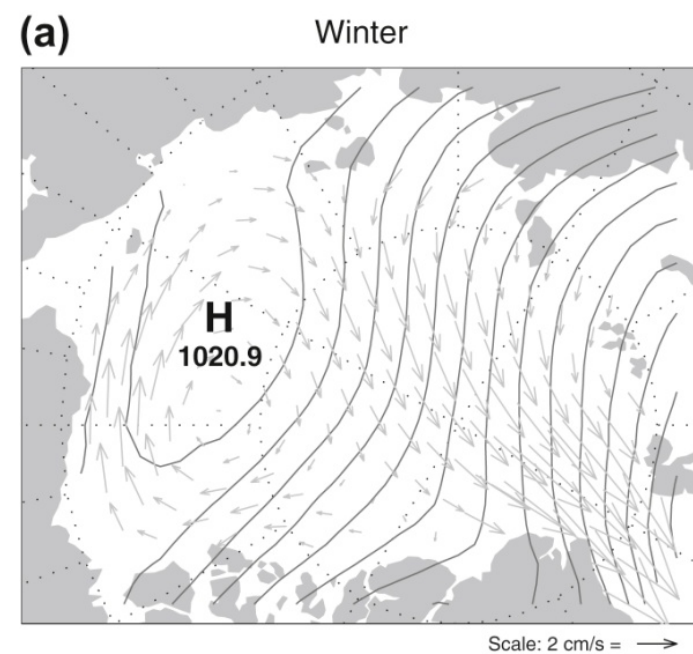
- A deriva do gelo inclui:
  - O giro anticiclônico na Bacia Canadense (Giro Beaufort), associado a TPD
  - Saída de gelo em direção ao sul a partir da Baía de Baffin e em direção ao Mar do Labrador
  - O TDP está associado a um forte fluxo para sul através do Estreito de Fram (exportação de gelo)
  - A velocidade de deriva do gelo é de 1-4 cm/s ou o equivalente a 300-1200 km/ano
  - Existe variação sazonal no movimento do gelo, sendo mais fraco durante o verão



Movimento médio anual do gelo marinho no Oceano Ártico entre 1979-2003 com base em dados de satélite SSM/I. Extraído de Talley et al. (2011).

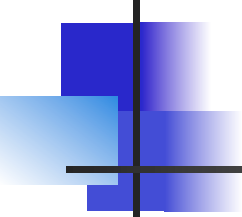


- O movimento do gelo está relacionado tanto com o vento como com a parte advectiva (incluindo corrente geostrófica)
- A alta pressão força o giro anticiclônico de Beaufort e os ventos geostróficos são aproximadamente na direção da TPD
- Durante o inverno, os fortes ventos de norte ao longo do Estreito de Fram estão associado a exportação de gelo
- Durante o verão, existe a migração do centro de baixa pressão para o polo (associado a circulação ciclônica) e também ocorre a diminuição dos gradientes de pressão e consequentemente a redução dos ventos



Pressão média da superfície do mar (1979-1998) e velocidades médias de deriva de gelo. (a) Inverno e (b) verão. Extraído de Talley et al. (2011).





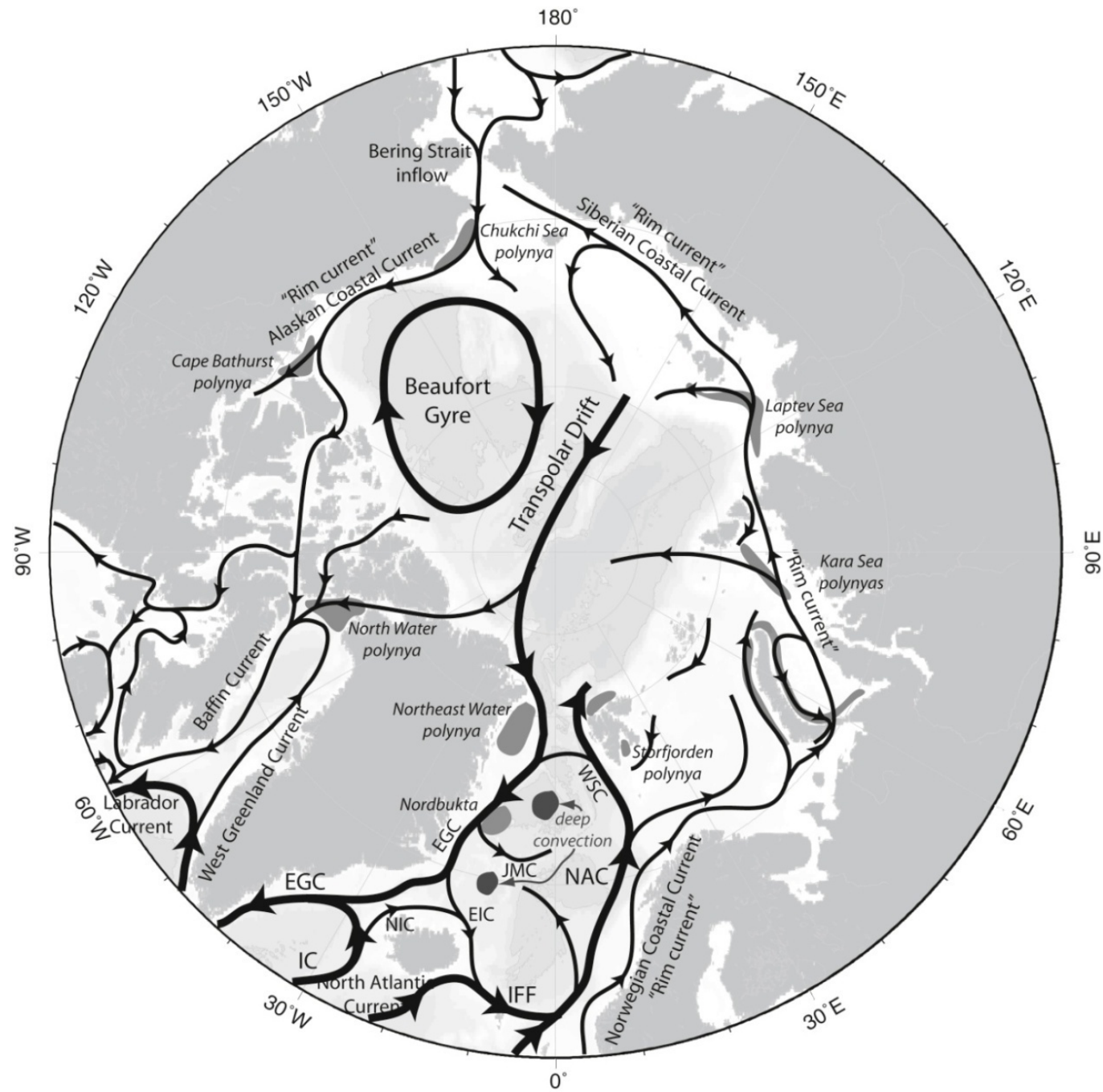
# Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo

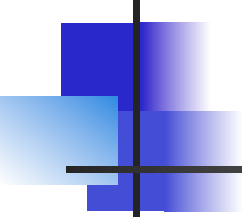
---

- **A circulação na camada superior**

- É ciclônica na bacia da Eurásia e ao longo dos contornos do OAr nas regiões de plataforma continental
- Uma circulação anti-ciclônica de larga-escala (Giro Beaufort) ocorre na Bacia Canadense
- Entrada de fluxos ocorrem pelos Mares Nórdicos e pela Estreito de Bering
- A saída de fluxo ocorre através do Estreito de Fram (via EGC) para os Mares Nórdicos e pelo arquipélago canadense para a Baía de Baffin e Mar do Labrador

Esquema da circulação superficial do Oceano Ártico e dos Mares Nordicos, incluindo o nome das principais polínias e as regiões de convecção profunda. As linhas em destaque indicam as principais componentes da circulação, geralmente com transportes maiores do que as linhas mais finas. Siglas: EGC - East Greenland Current, EIC - East Iceland Current, IC - Irminger Current, IFF - Iceland-Faroe Front, JMC - Jan Mayen Current, NAC - Norwegian Atlantic Current e NIC - North Irminger Current. Extraído de Talley et al. (2011).





# Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo

---

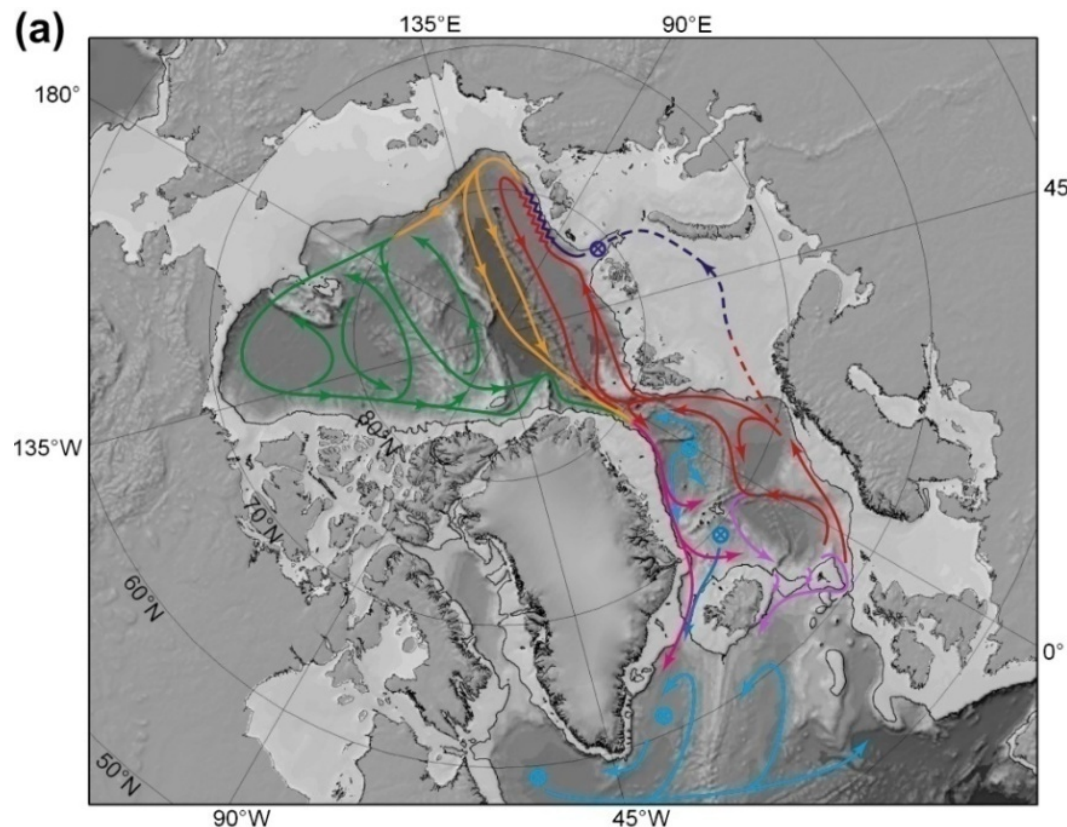
- **A circulação na camada superior**
- Associado com as correntes principais: i) entrada através da Corrente Atlântica da Noruega, ii) o fluxo através do TPD e iii) o giro de Beaufort, temos também correntes mais fracas que incluem:
  - A entrada pelo estreito de Bering
  - Uma corrente de borda (rim current) ciclônica que faz a conexão com os mares costeiros e a formação de águas densas nas plataformas continentais
  - Cada parte desta corrente tem um nome diferente de acordo com a localização no OAr
- Em alguns aspectos, a circulação difere da deriva de gelo, como por exemplo a corrente de borda e o fluxo ciclônico na Baía de Baffin e no Mar do Labrador



# Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo

## • A circulação na camada intermediária

- Inclui a circulação de sub-superfície, a camada de água quente associada a AW e a camada intermediária do OAr
- Está associada a profundidades entre 200 e 900 m
- A circulação de larga-escala é ciclônica e existem várias células ciclônicas (representando as respectivas bacias) inseridas
- A circulação anticiclônica do Giro de Beaufort desaparece e é substituída por uma ciclônica

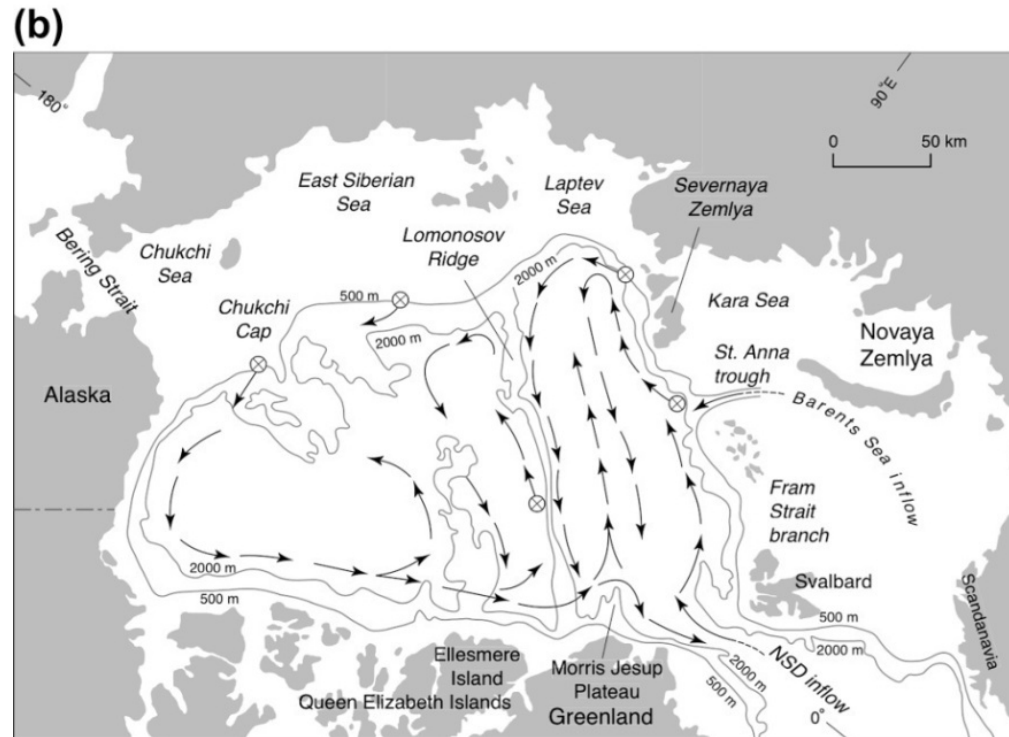


Circulação esquemática. (a) Região subsuperficial do Atlântico e camadas intermediárias do Oceano Ártico e Mares Nórdicos. As regiões de convecção são apresentadas em azul claro. Extraído de Talley et al. (2011).

# Oceano Ártico: Circulação e deriva de gelo

- **A circulação na camada profunda**

- O padrão de circulação é praticamente idêntico a circulação intermediária, ou seja, a circulação no OAr é praticamente barotrópica
- As águas profundas entram (lado direito) e saem (lado esquerdo) do OAr pelo Estreito de Fram
- Águas densas da plataforma continental são injetadas na circulação profunda através do mecanismo de rejeição de salmoura



Circulação esquemática. (b) Circulação profunda. Os círculos cruzados indicam lugares de entrada de águas densas da plataforma e a Lomonosov Ridge overflow. Extraído de Talley et al. (2011).



# Massas de Água no Oceano Ártico

---

- O OAr pode ser descrito em 3 camadas principais: (i) Água Polar de Superfície (0 – 200 m), (ii) Águas Intermediárias, incluindo a Água do Atlântico (AW) (200 a 800 m) e (iii) várias águas profundas e de fundo indo desta profundidade até o fundo
- Existem 2 fontes externas para as águas do OAr: (i) o OA, através da Corrente Atlântica da Noruega e (ii) o OP através do Estreito de Bering
- Associado a isto, existe ainda uma entrada significativa de água doce, principalmente através do aporte fluvial. Em função da sua baixa densidade, estas águas geralmente compõem as camadas mais superficiais
- O gelo marinho é um mecanismo pelo qual o OAr transforma as massas de água. Através da rejeição de salmoura ao longo das plataformas continentais, existe a formação de água mais densa

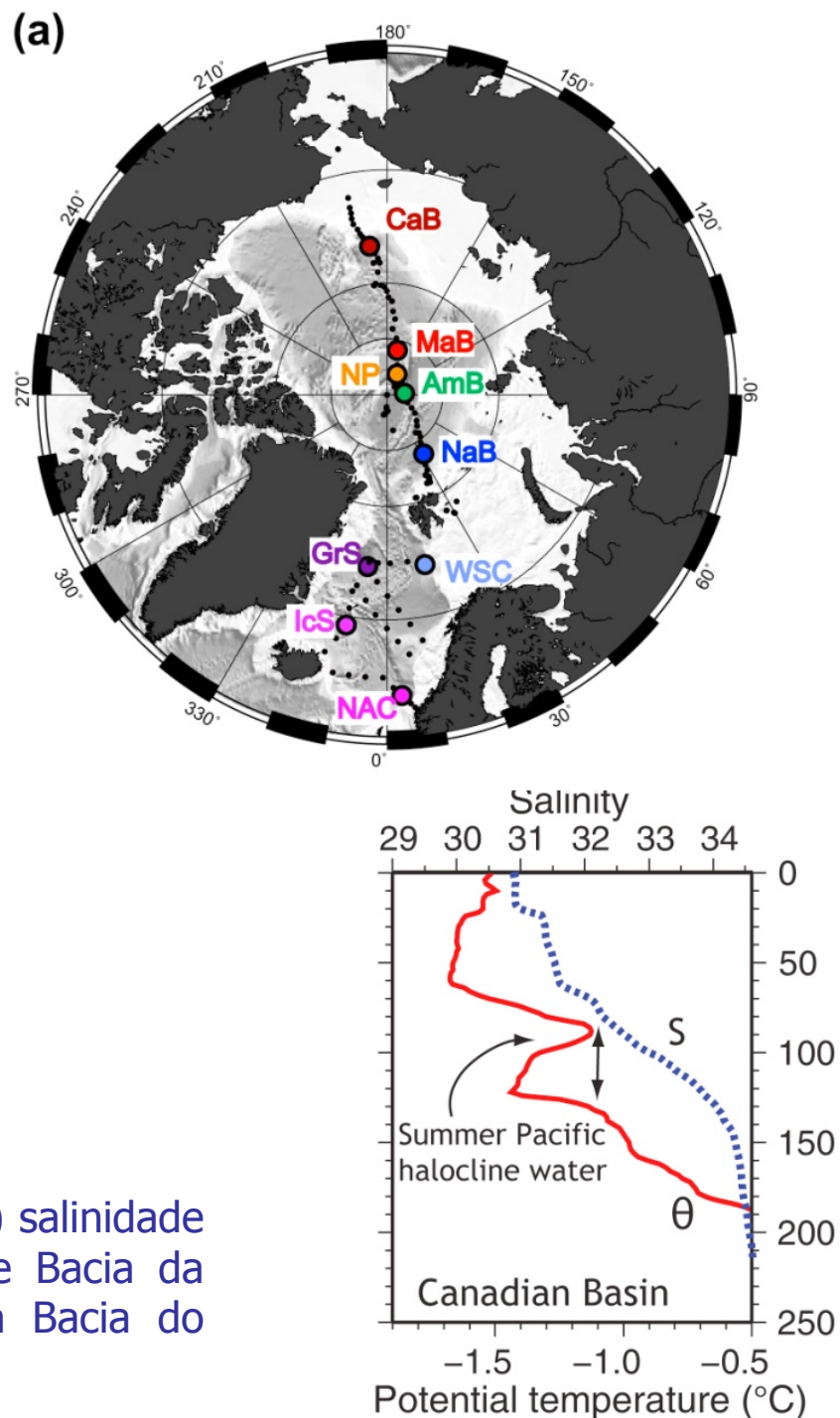
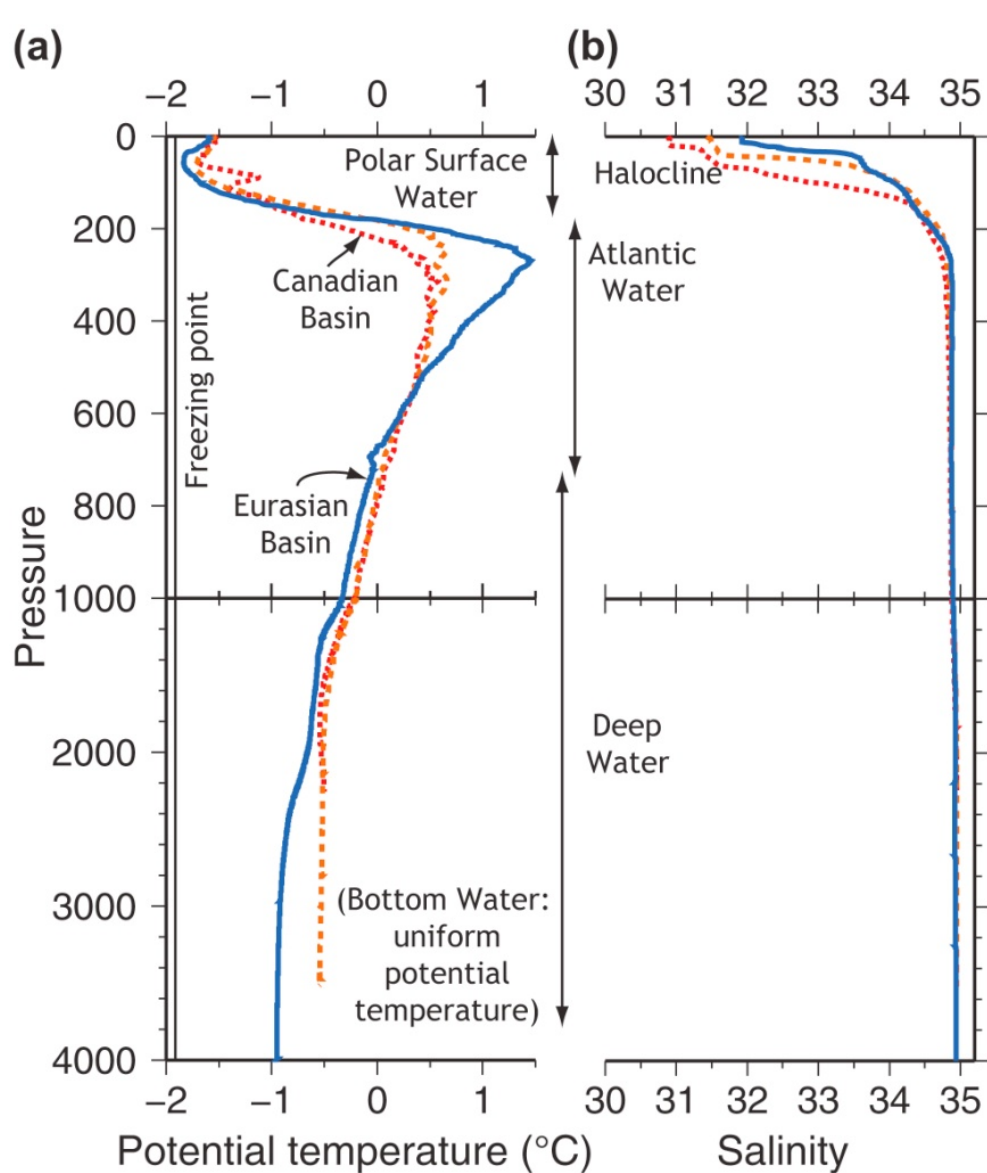


# Massas de Água no Oceano Ártico

---

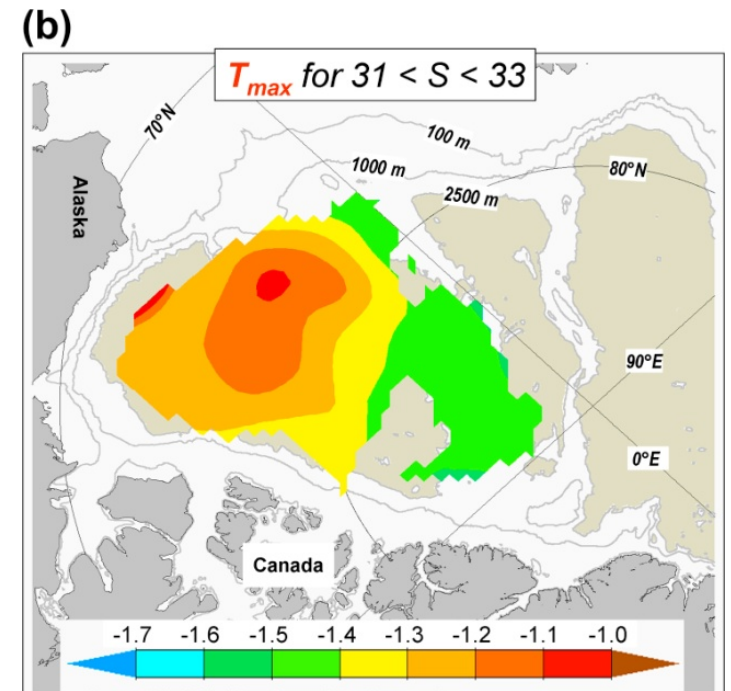
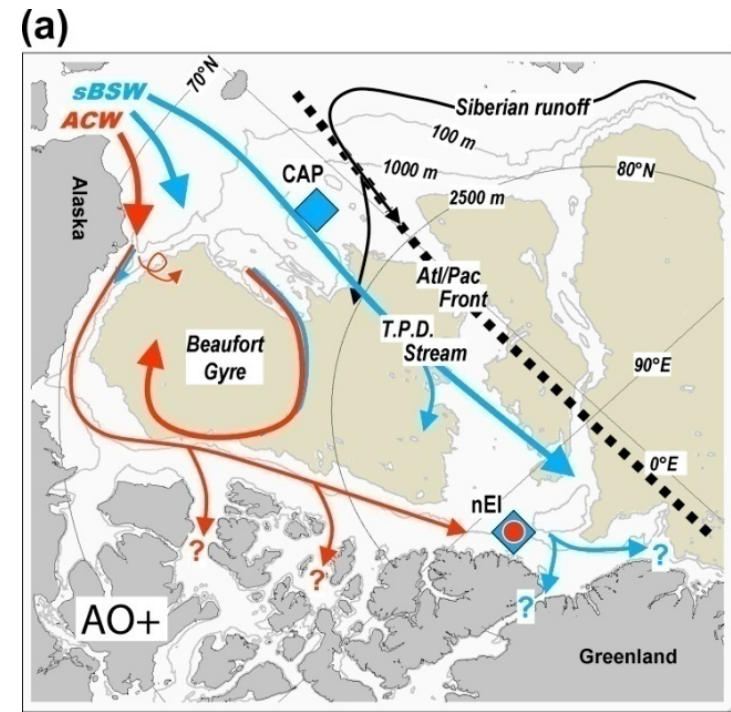
- Finalmente, a formação de gelo e o degelo, também contribuem para a formação de uma camada superficial menos salina, contribuindo para a formação de uma forte haloclina
- **Águas Superficiais e próximas à superfície**
  - A camada superficial, até cerca de 200 m é composta de uma **Camada de Mistura Polar (PML)**, uma camada onde a temperatura é máxima (em algumas regiões) e uma haloclina
  - A PML existe ao longo de todo o OAr e se estende da superfície até 25-50 m de profundidade. A sua salinidade é altamente influenciada pelo congelamento e degelo, tendo uma ampla faixa de salinidade entre 28 e 33,5 psu
  - Como consequência, a temperatura fica muito próxima a temperatura de congelamento





Oceano Ártico. Perfil de (a) temperatura potencial e (b) salinidade para a Bacia do Canadá (tracejado – CaB e MaB) e Bacia da Eurásia (sólida - NaB). (c) Zoom dos perfis para a Bacia do Canadá. Extraído de Talley et al. (2011).

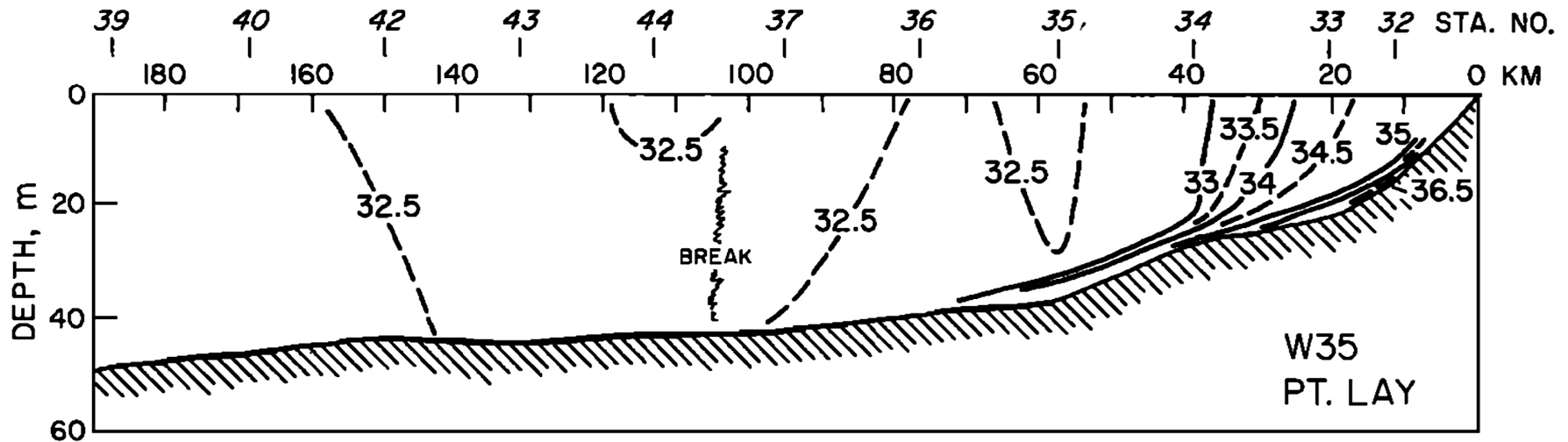
- Na Bacia do Canadá, a Água Polar de Superfície, abaixo da camada de mistura, inclui águas de verão e inverno do Estreito de Bering (BSW) e águas costeiras do Alasca (ACW), assim como a componente das águas costeiras associada a rejeição de salmoura
- As águas mais quentes estão associadas ao Giro de Beaufort e são devido a ACW. As águas mais frias estão associadas a BSW



(a) Esquema da circulação de verão da Água do Estreito de Bering (azul) e Água Costeira do Alasca (vermelho), durante uma fase positiva da circulação do Oceano Ártico. (b) Temperatura na camada de máxima temperatura (entre 50 e 100 m) na Bacia do Canadá. Extraído de Talley et al. (2011).

# Massas de Água no Oceano Ártico

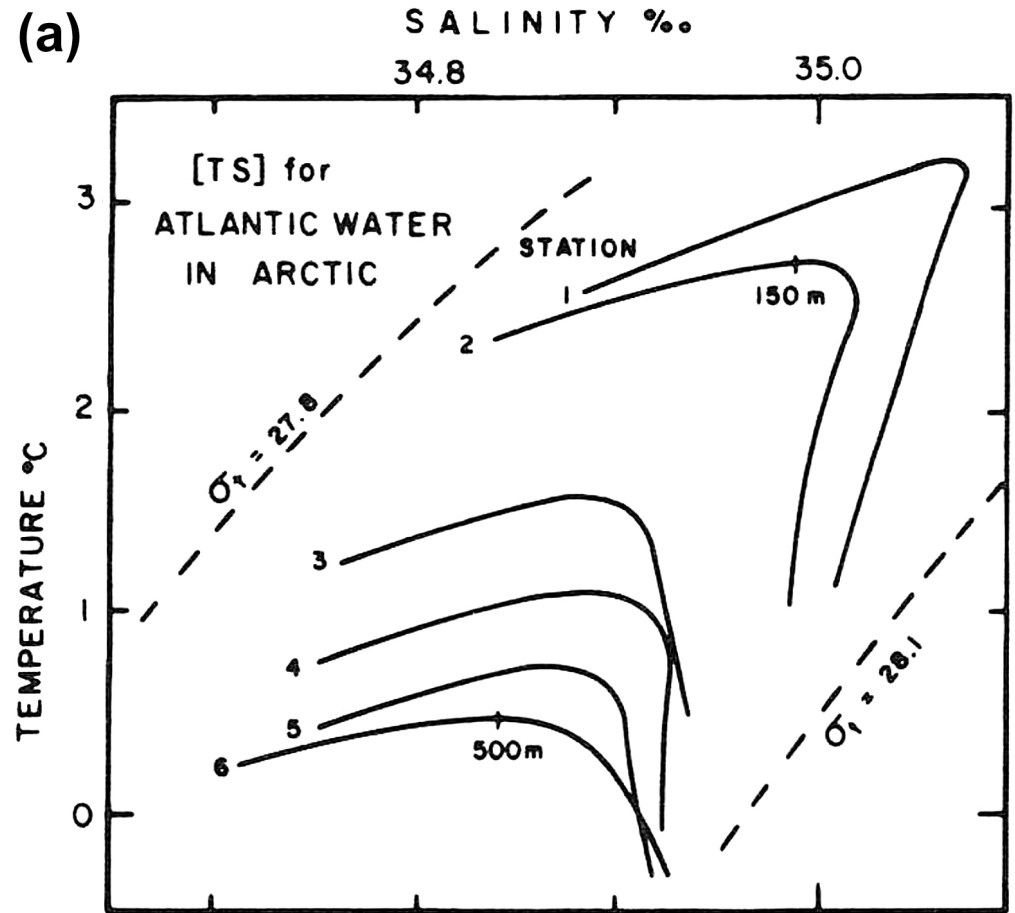
- A rejeição de salmoura nas plataformas continentais da Bacia do Canadá produz águas que penetram pela haloclina



(a) Salinidade ao longo de uma seção no Mar de Chukky (março de 1982), incluindo a camada de alta salinidade de fundo criada pela rejeição de salmoura. Extraído de Talley et al. (2011).

- **Água Atlântica (AW)**

- Abaixo da fria Água Polar Superficial, o OAr é caracterizado pela máxima de temperatura da AW em profundidades que variam de 200 a 900 m



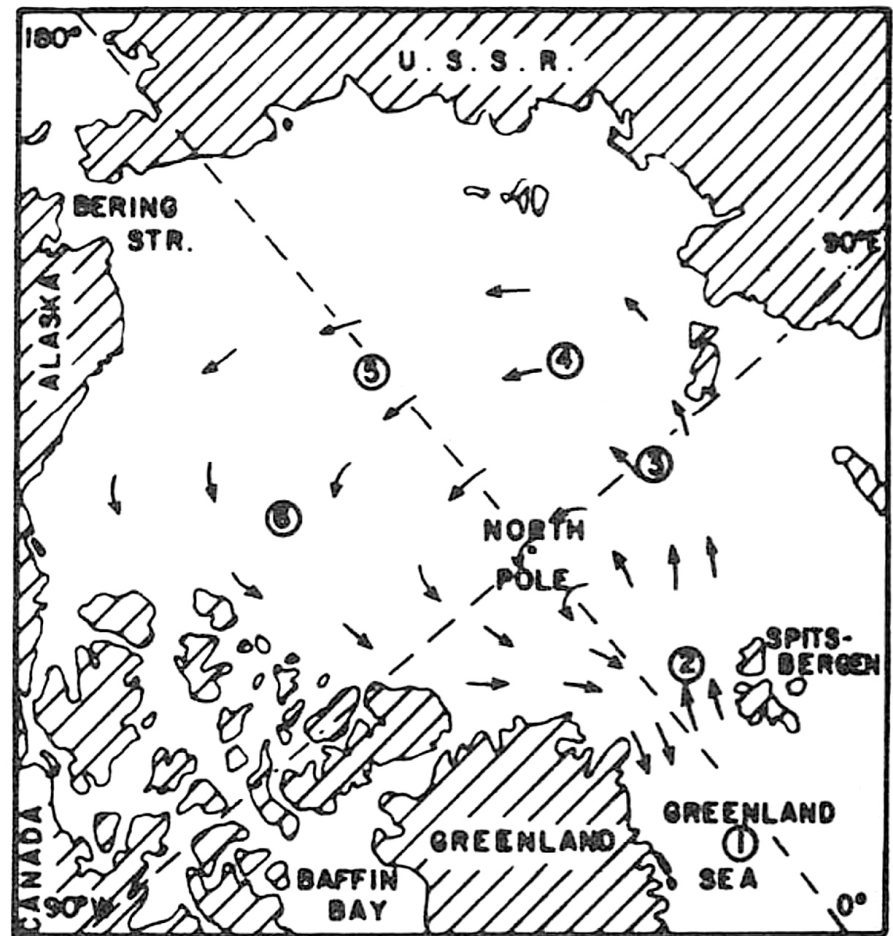
Água Atlântica (AW) no Oceano Ártico. (a) Parte do diagrama TS associado a máxima temperatura para as análises do núcleo da AW com base na direção do fluxo. (b) Circulação baseada na erosão do núcleo mostrado para as estações 1 a 6. (c) Profundidade e (d) temperatura potencial para o máximo de temperatura da AW em 1970. Extraído de Talley et al. (2011).



## • Água Atlântica (AW)

- Abaixo da fria Água Polar Superficial, o OAr é caracterizado pela máxima de temperatura da AW em profundidades que variam de 200 a 900 m
- Ao longo do seu caminho ciclônico, tanto a salinidade como a temperatura decrescem

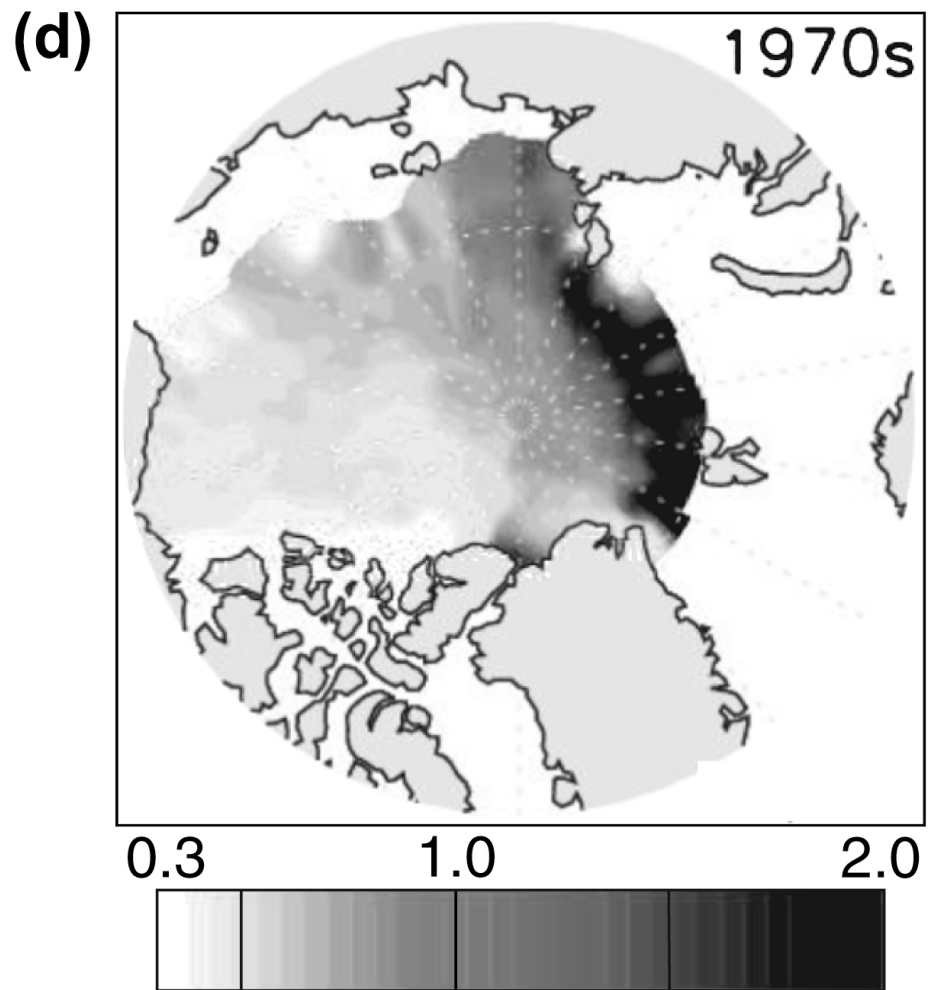
(b)



Água Atlântica (AW) no Oceano Ártico. (a) Parte do diagrama TS associado a máxima temperatura para as análises do núcleo da AW com base na direção do fluxo. (b) Circulação baseada na erosão do núcleo mostrado para as estações 1 a 6. (c) Profundidade e (d) temperatura potencial para o máximo de temperatura da AW em 1970. Extraído de Talley et al. (2011).

## • Água Atlântica (AW)

- Abaixo da fria Água Polar Superficial, o OAr é caracterizado pela máxima de temperatura da AW em profundidades que variam de 200 a 900 m
- Ao longo do seu caminho ciclônico, tanto a salinidade como a temperatura decrescem
- ❖ Estreito de Fram:  $T \approx 3^\circ\text{C}$  e  $S > 35\text{psu}$
- ❖ OAr:  $T \approx 0,4^\circ\text{C}$  e  $S \approx 34,9\text{ psu}$

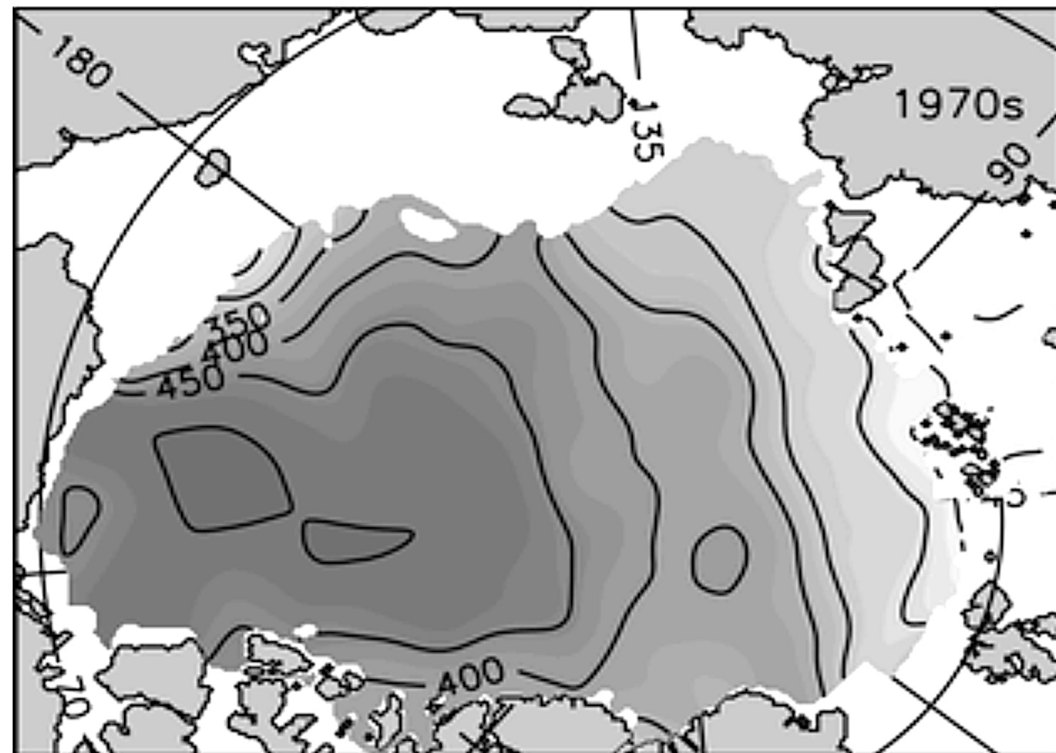


Água Atlântica (AW) no Oceano Ártico. (a) Parte do diagrama TS associado a máxima temperatura para as análises do núcleo da AW com base na direção do fluxo. (b) Circulação baseada na erosão do núcleo mostrado para as estações 1 a 6. (c) Profundidade e (d) temperatura potencial para o máximo de temperatura da AW em 1970. Extraído de Talley et al. (2011).

## • **Água Atlântica (AW)** (c)

- Abaixo da fria Água Polar Superficial, o OAr é caracterizado pela máxima de temperatura da AW em profundidades que variam de 200 a 900 m
- Ao longo do seu caminho ciclônico, tanto a salinidade como a temperatura decrescem
- ❖ Estreito de Fram:  $T \approx 3^\circ\text{C}$  e  $S > 35\text{psu}$
- ❖ OAr:  $T \approx 0,4^\circ\text{C}$  e  $S \approx 34,9\text{ psu}$
- O núcleo da AW não só fica mais denso como também se aprofunda

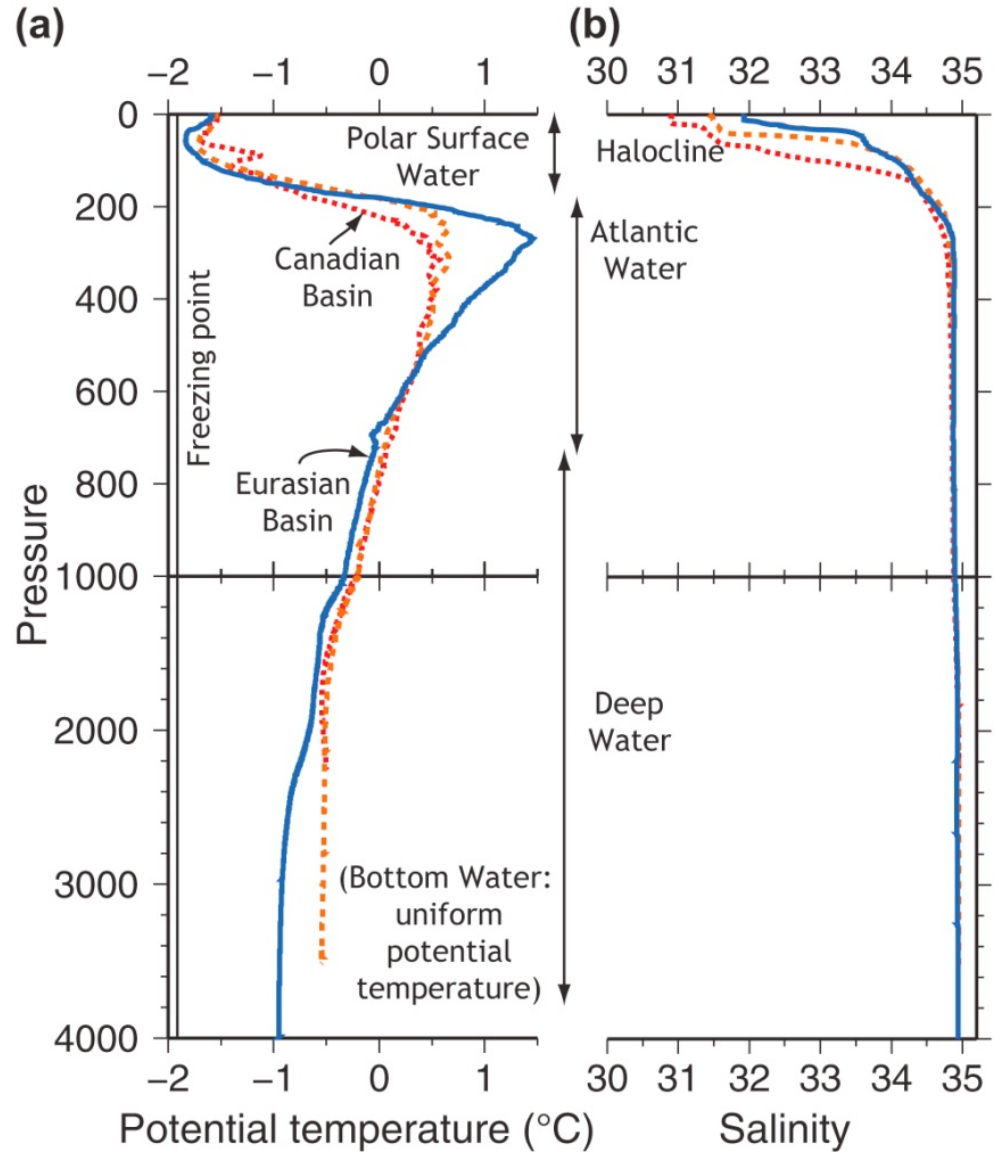
Depth of the AW core



Água Atlântica (AW) no Oceano Ártico. (a) Parte do diagrama TS associado a máxima temperatura para as análises do núcleo da AW com base na direção do fluxo. (b) Circulação baseada na erosão do núcleo mostrado para as estações 1 a 6. (c) Profundidade e (d) temperatura potencial para o máximo de temperatura da AW em 1970. Extraído de Talley et al. (2011).

- **Água Profunda e de Fundo**

- As águas profundas se estendem abaixo da isoterma de 0°C (cerca de 800 m) até o fundo
- A água mais densa do OAr é produzida localmente. Como o OAr é separado do OA e OP por barreiras rasas, as massas de água profundas não podem nem entrar nem sair da região



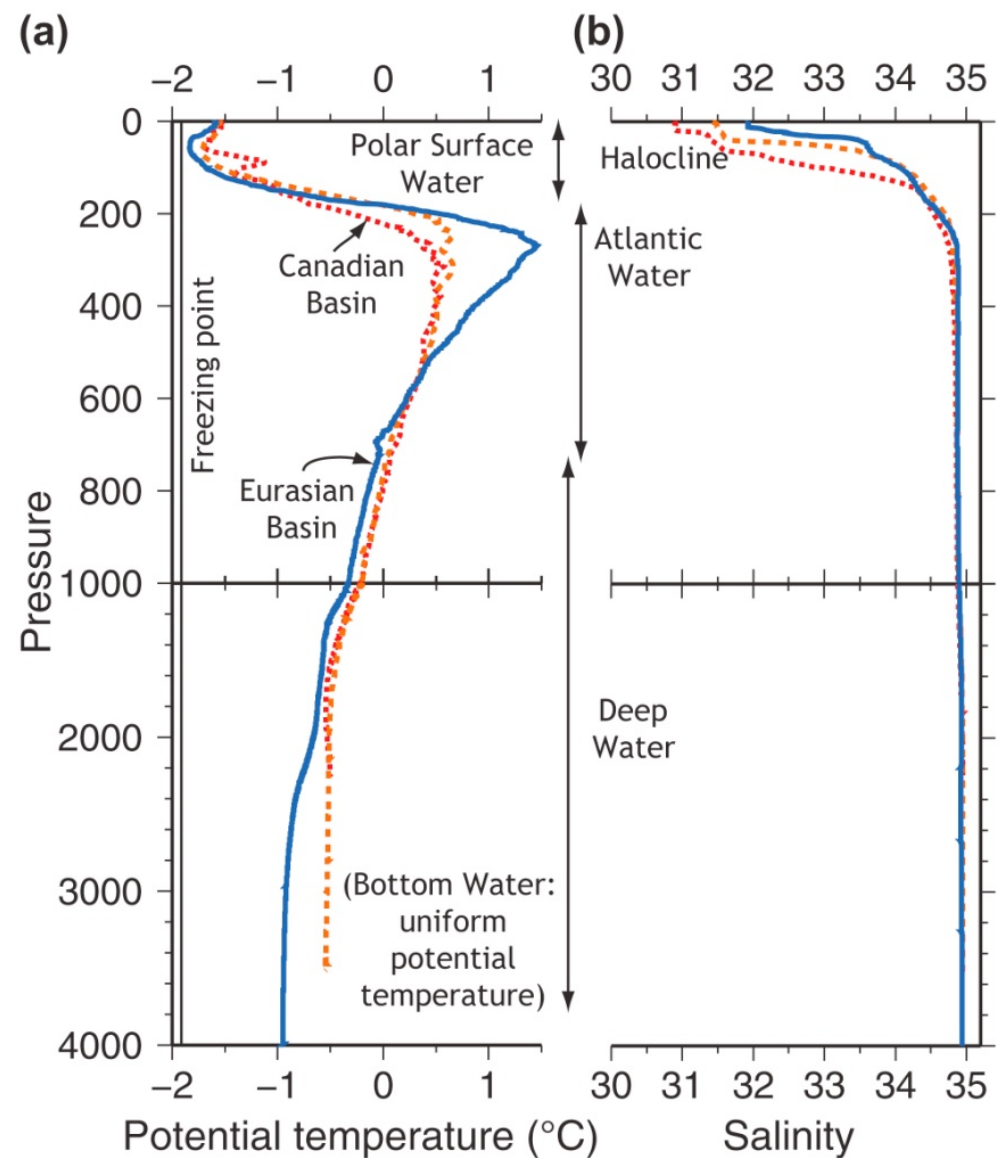
Oceano Ártico. Perfil de (a) temperatura potencial e (b) salinidade para a Bacia do Canadá (tracejado) e Bacia da Eurásia (sólida). Extraído de Talley et al. (2011).



- Existem 3 águas profundas no OAr:

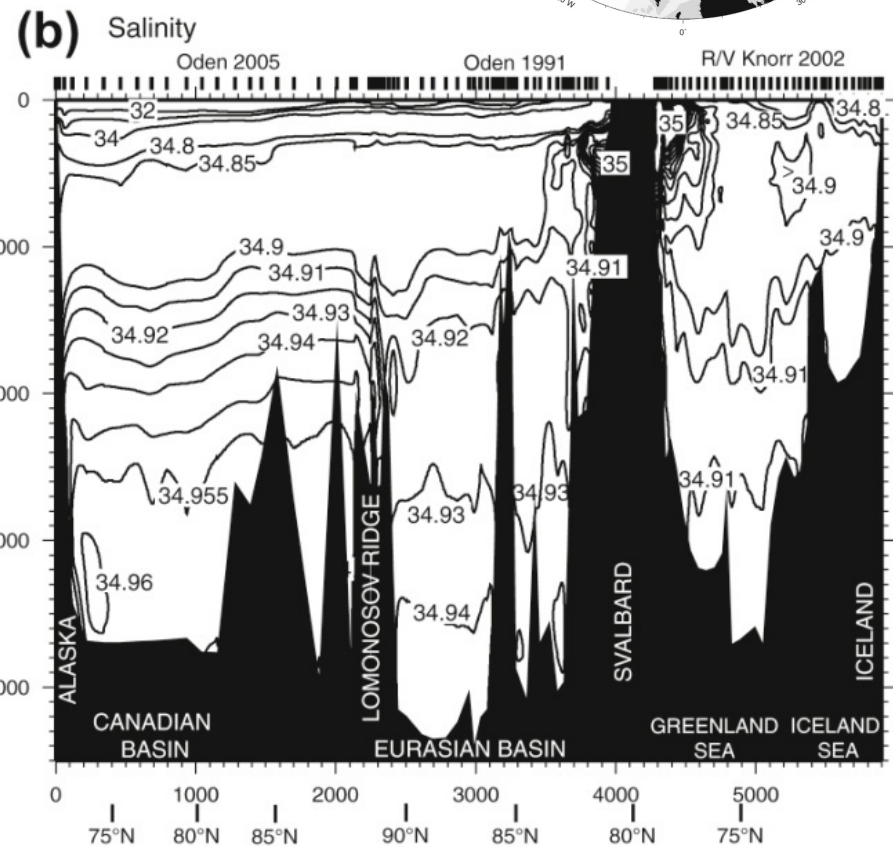
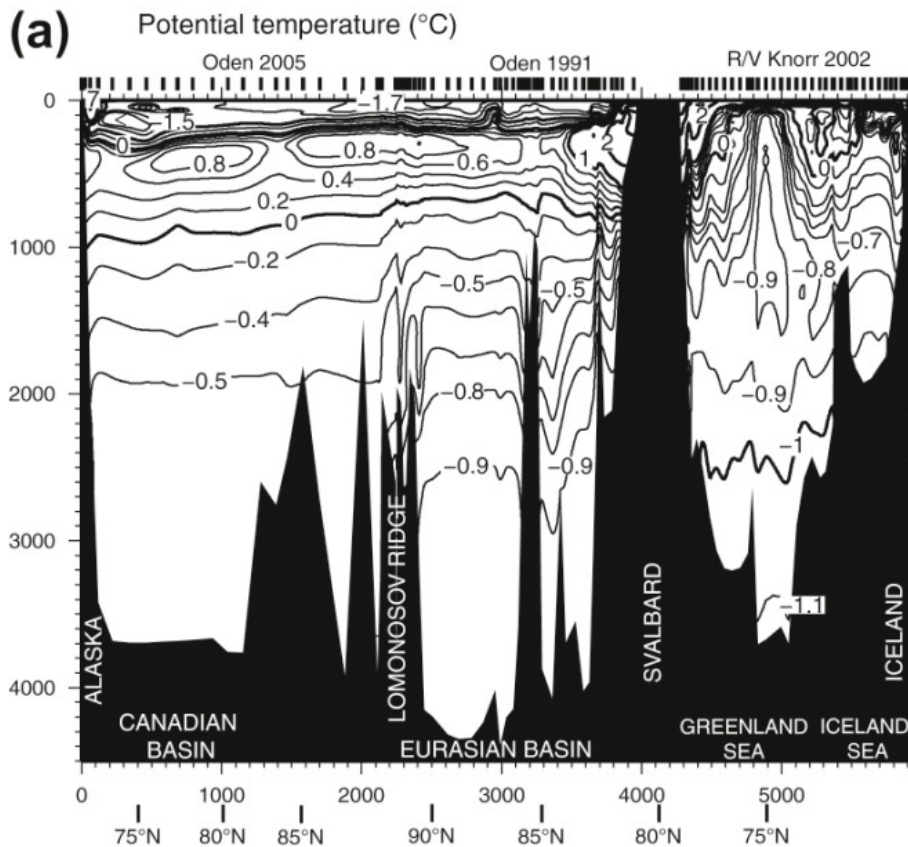
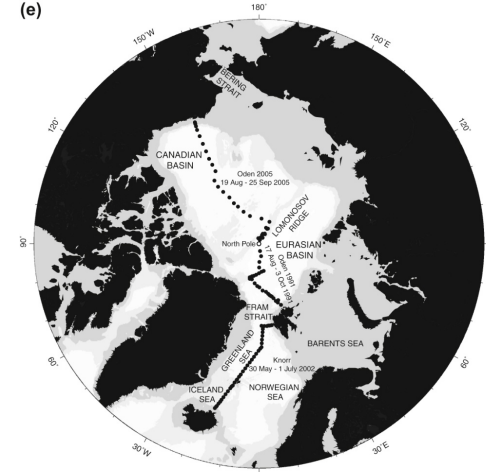
- **A Água Profunda Polar Superior (uPDW)**, encontrada ao longo do OAr e exportada para os Mares Nórdicos através do Estreito de Fram

- A uPDW fica abaixo da AW e acima da elevação de Lomonosov em cerca de 1700 m, sendo que desta forma ela pode se comunicar com todas as regiões do OAr



Oceano Ártico. Perfil de (a) temperatura potencial e (b) salinidade para a Bacia do Canadá (tracejado) e Bacia da Eurásia (sólida). Extraído de Talley et al. (2011).

- A uPDW é marcada por uma diminuição da temperatura potencial e um aumento da salinidade com a profundidade. Ela também está associada a um máximo de oxigênio



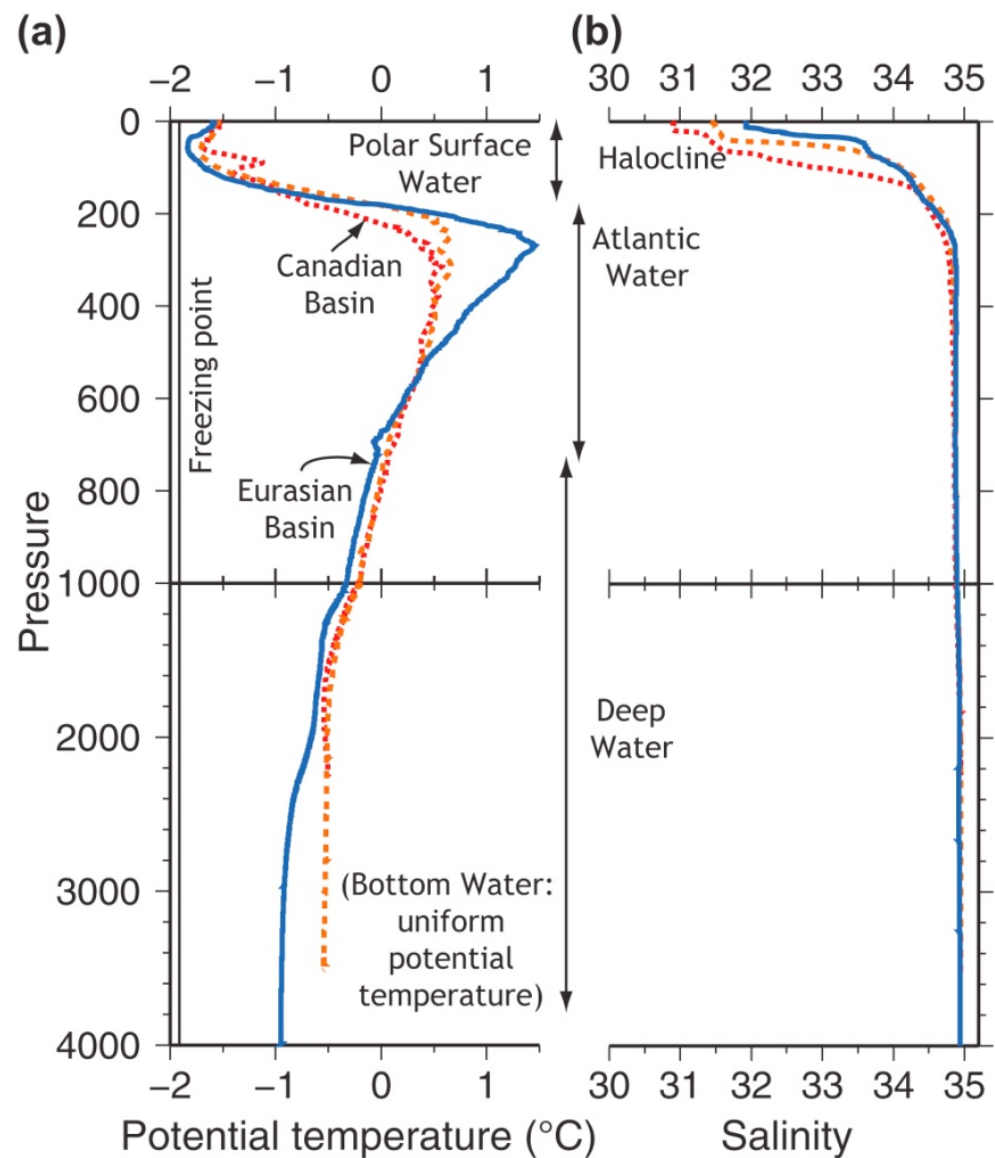
Oceano Ártico e Mares Nórdicos. (a) Temperatura potencial e (b) salinidade. Extraído de Talley et al. (2011).

- Existem 3 águas profundas no OAr:

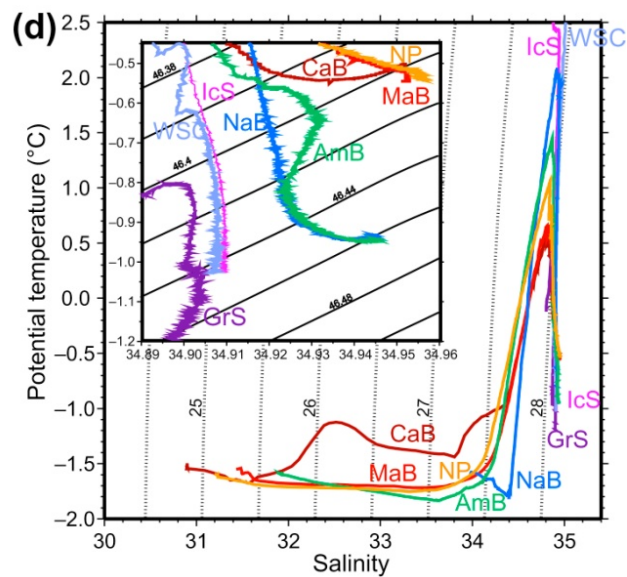
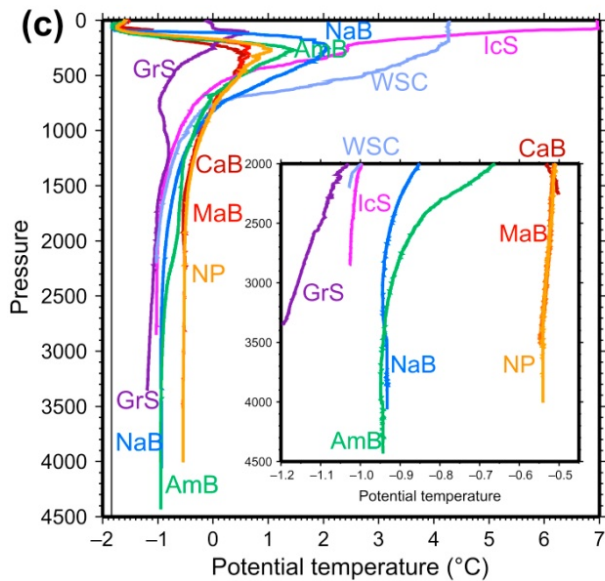
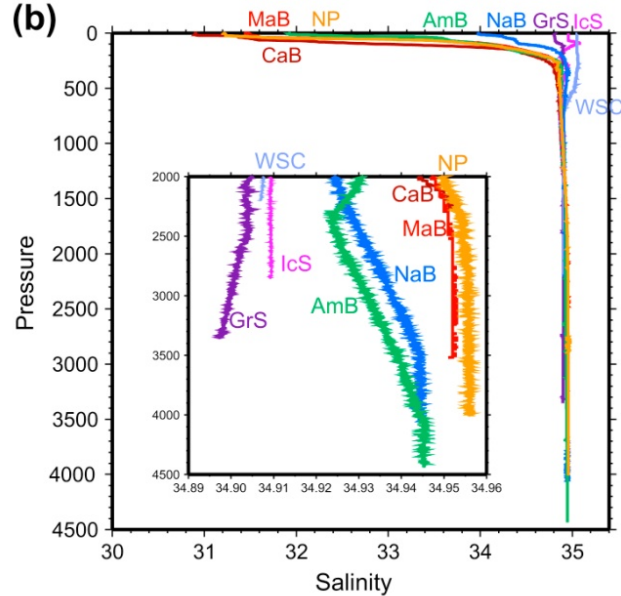
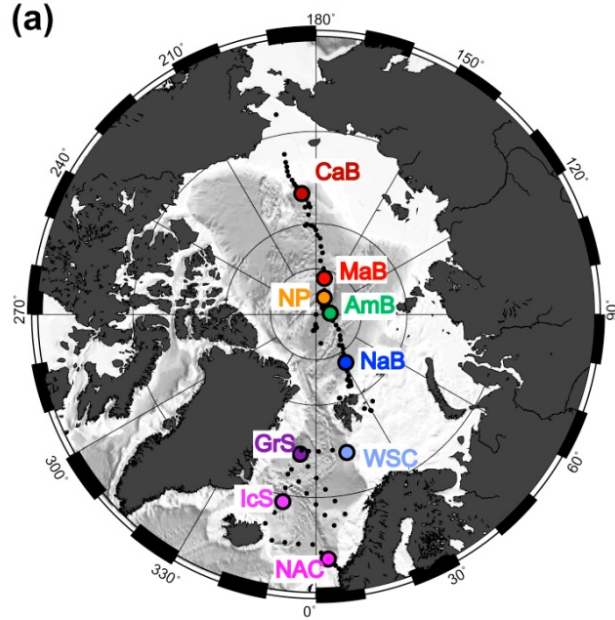
- **A Água Profunda Polar Superior (uPDW)**, encontrada ao longo do OAr e exportada para os Mares Nórdicos através do Estreito de Fram

- A uPDW fica abaixo da AW e acima da elevação de Lomonosov em cerca de 1700 m, sendo que desta forma ela pode se comunicar com todas as regiões do Oar

- As outras 2 ficam separadas pela elevação de Lomonosov e recebem o nome de **Água Profunda da Bacia da Eurásia (EBDW)** e **Água Profunda da Bacia do Canada (CBDW)**

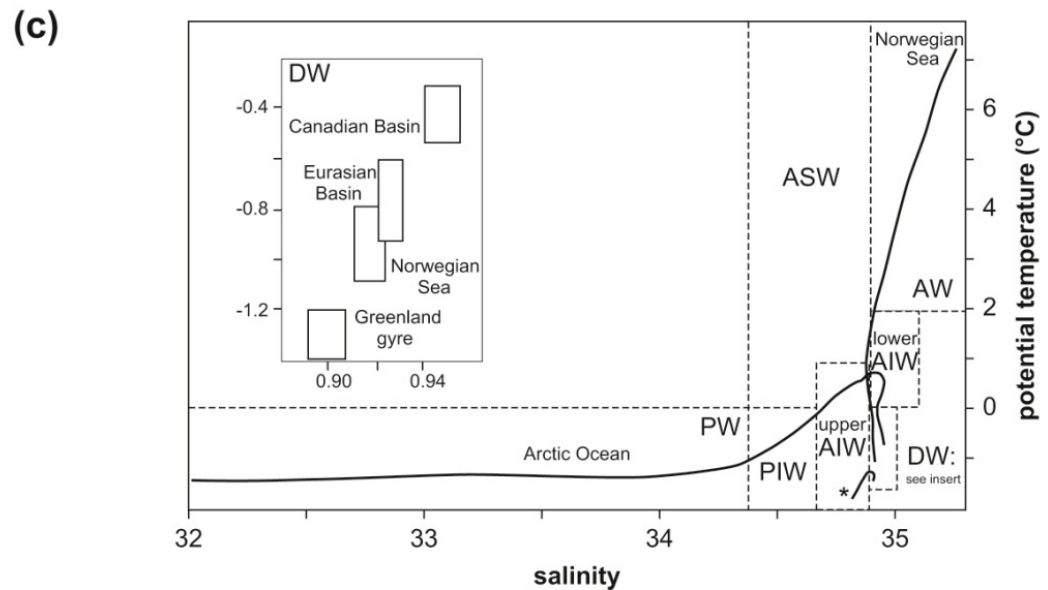
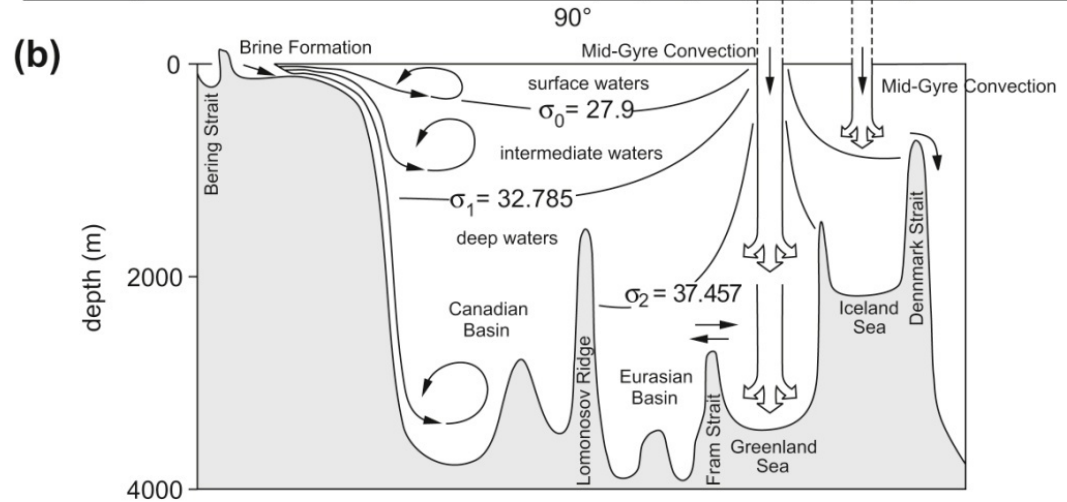
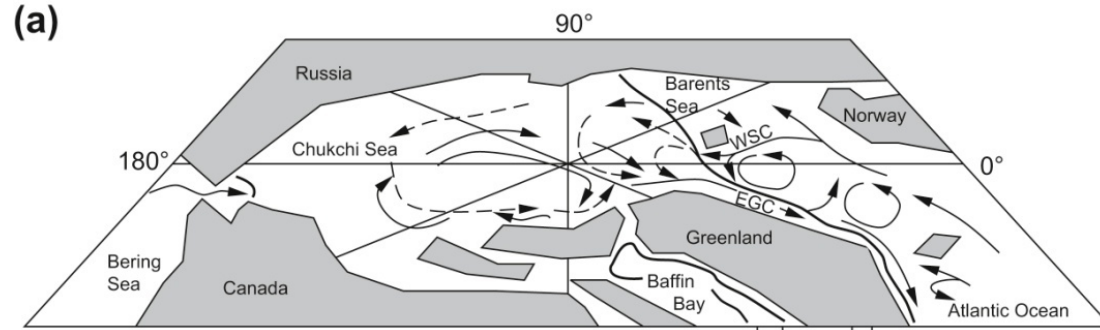


Oceano Ártico. Perfil de (a) temperatura potencial e (b) salinidade para a Bacia do Canadá (tracejado) e Bacia da Eurásia (sólida). Extraído de Talley et al. (2011).



(a) Mapa das estações. (b) Salinidade, (c) temperatura potencial e (d) diagrama temperatura potencial-salinidade. Siglas: CaB, Canada Basin; MaB, Makarov Basin; NP, North Pole; AmB, Amundsen Basin; NaB, Nansen Basin; WSC, West Spitsbergen Current; GrS, Greenland Sea; IcS, Iceland Sea; and NAC, Norwegian Atlantic Current. Extraído de Talley et al. (2011).





Esquema geral (a) da circulação, (b) das massas de água e locais de transformação e (c) do diagrama temperatura potencial-salinidade. Siglas em (a): EGC - East Greenland Current, WSC - West Spitsbergen Current. Acrony Siglas em (c): AW - Atlantic Water, AIW - Arctic Intermediate Water, ASW - Arctic Surface Water, DW - Deep Water, PIW - Polar Intermediate Water, PW - Polar Water. Extraído de Talley et al. (2011).



# Transporte e fluxos no Oceano Ártico

---

- O OAr e os Mares Nórdicos representam uma região de importância global em termos de perda de calor e produção de massas de água densa
  - O esfriamento da AW que flui através dos Mares Nórdicos representa um área crucial para as trocas ar-mar de calor em altas latitudes
  - Esta perda de calor nos Mares Nórdicos é responsável pela existência de um transporte de calor em direção ao norte ao longo de toda a extensão do OA
- O OAr e os Mares Nórdicos também são importantes no balanço global de água doce em função: i) da sua conexão com o OP e OA, ii) da sua precipitação líquida e aporte fluvial e iii) da exportação de gelo para o OA



# Transporte e fluxos no Oceano Ártico

---

- Finalmente, o OAr e os Mares Nórdicos, juntamente com o Mar do Labrador, representam a principal região no HN onde as águas oceânicas superiores são convertidas em águas densas, representando assim o fechamento da circulação de retorno (overturning circulation) associada ao OA Norte



# Transporte e fluxos no Oceano Ártico

---

- Como funciona então a produção de águas densas nesta região?
- Águas quentes entram na região através de várias rotas e convergem na **Corrente Atlântica da Noruega**, sendo que: i) uma parte recircula nos Mares Nórdicos e ii) outra parte flui para norte entrando no OAr
- No OAr existe o acréscimo de águas via Estreito de Bering e águas associadas a chuva e aporte fluvial. Estas águas nas camadas superficiais esfriam e podem tornam-se fonte de águas profundas, enquanto que uma outra parcela simplesmente fica mais densa, aprofundando a AW
- Grande parte da Água Profunda do Ártico e da AW modificada retornam para os Mares Nórdicos, seja através da EGC seja a oeste da Groenlândia





# Transporte e fluxos no Oceano Ártico

---

- Nos Marés Nórdicos, estas águas modificadas no OAr se juntam as a circulação local e, principalmente através da convecção profunda no Mar da Groenlândia, ganham densidade e formam uma camada de AIW
- Uma parcela desta água acaba passando pelas regiões de barreiras, compondo então a NADW

- Considerando o OAr/ Mares Nórdicos temos:

- Entrada de água pela parte superior via OA: **8,5 Sv**

- Entrada de água do OP para o OAr: **0,8 Sv**

- Precipitação e aporte fluvial no OAr: **0,2 Sv**

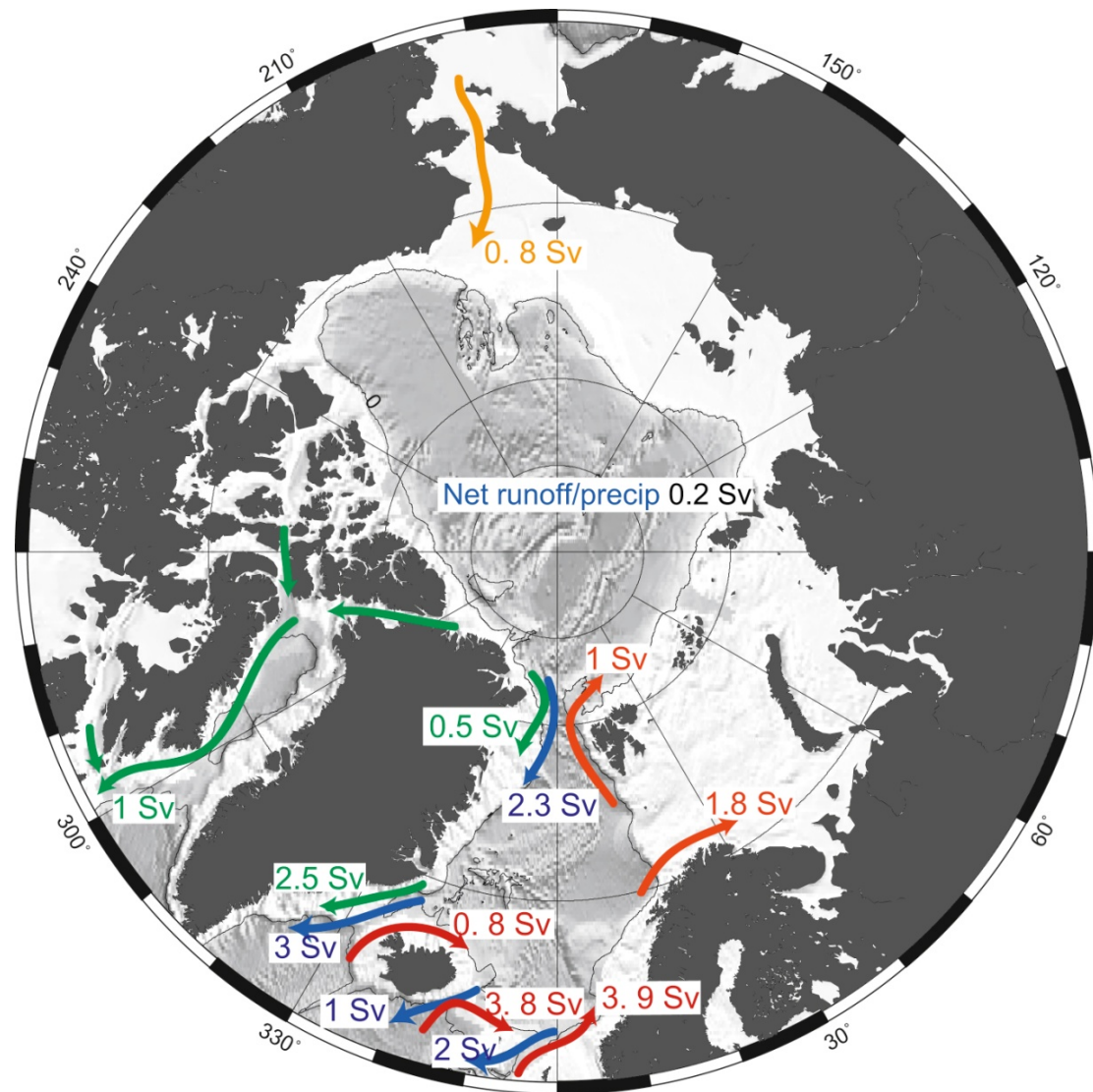
- **Entrada líquida: 9,5 Sv**

- Saída de águas densas pela barreira: **6,0 Sv**

- Saída de águas mais leves pela Groenlândia: **3,5 Sv**

- **Saída líquida: 9,5 Sv**

- Resumo: 9,5 Sv entram via águas mais leves e 6 Sv saem via águas mais densas



Balanco do transporte de volume. Vermelho e laranja representam as entradas na parte superior. Verde é a saída na parte superior. Azul é a saída na parte intermediária e profunda. Extraído de Talley et al. (2011).

- Considerando apenas o OAr temos:

- Entrada de água pela parte superior via OA: **2,8 Sv**

- Entrada de água do OP para o OAr: **0,8 Sv**

- Precipitação e aporte fluvial no OAr: **0,2 Sv**

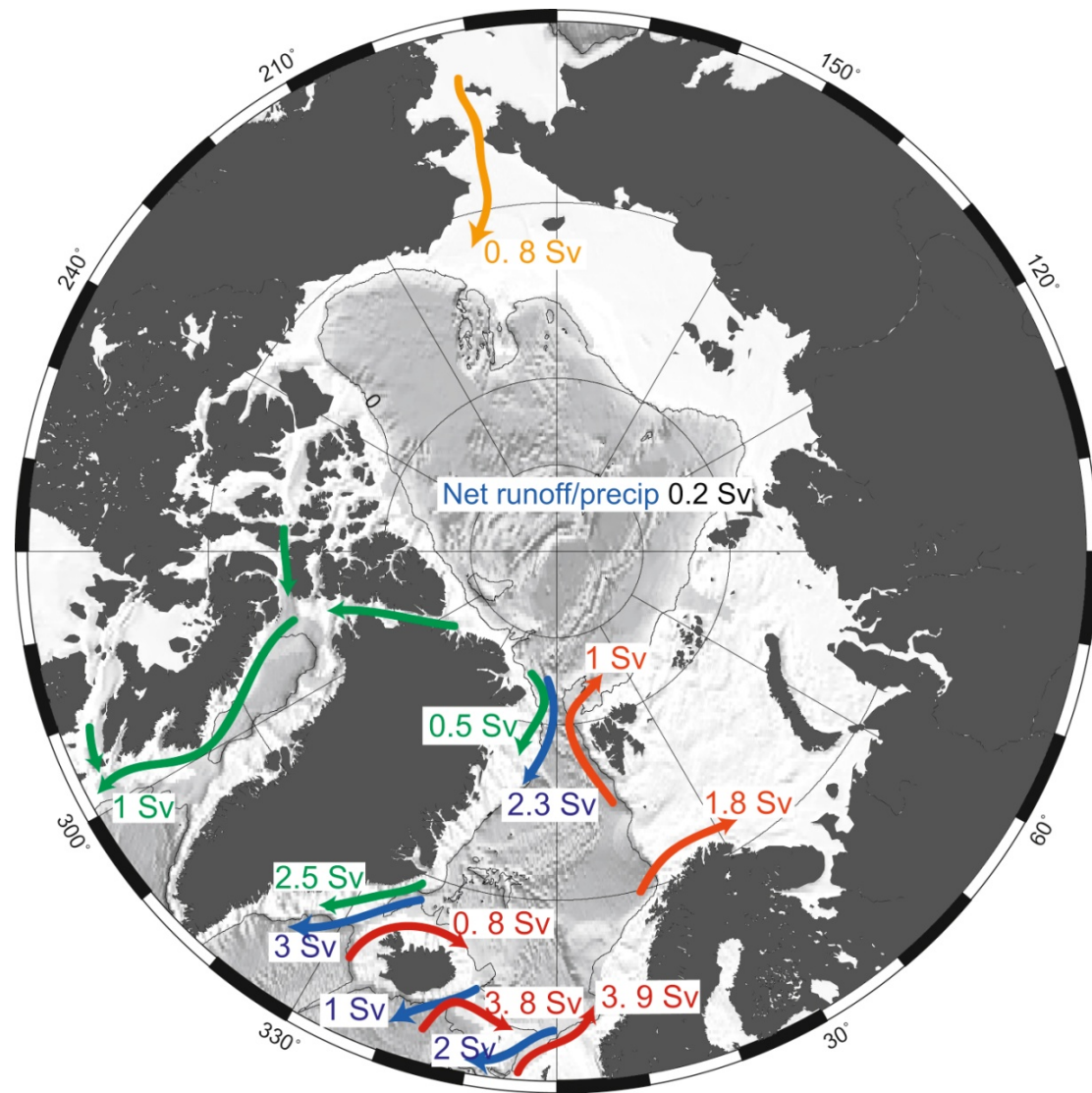
- **Entrada líquida: 3,8 Sv**

- Saída de águas densas pela Estreito de Fram: **2,8 Sv**

- Saída de águas mais leves pela Groenlândia: **1,0 Sv**

- **Saída líquida: 3,8 Sv**

- Resumo: 3,8 Sv entram via águas mais leves e 2,8 Sv saem via águas mais densas



Balanco do transporte de volume. Vermelho e laranja representam as entradas na parte superior. Verde é a saída na parte superior. Azul é a saída na parte intermediária e profunda. Extraído de Talley et al. (2011).



# Transporte e fluxos no Oceano Ártico

---

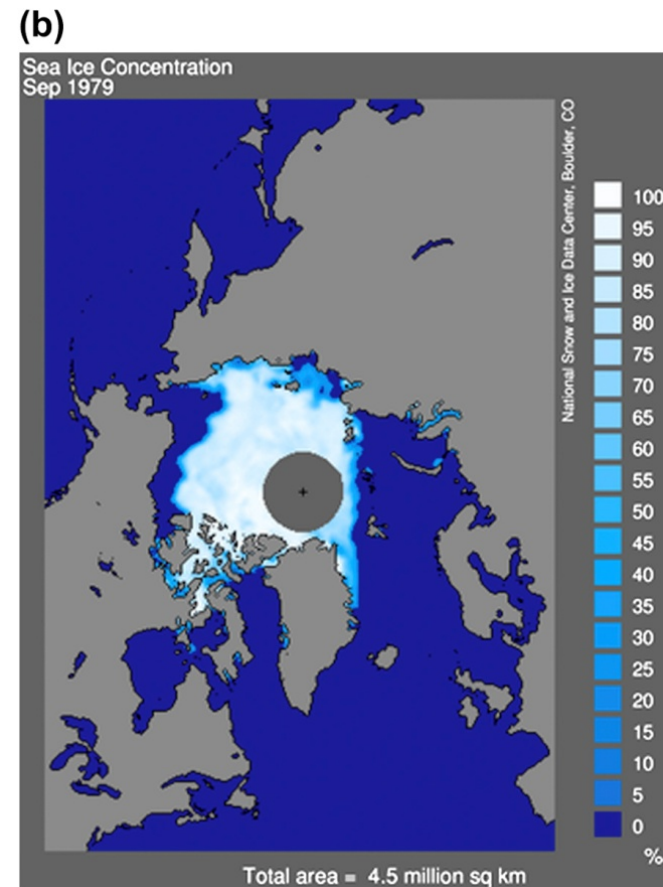
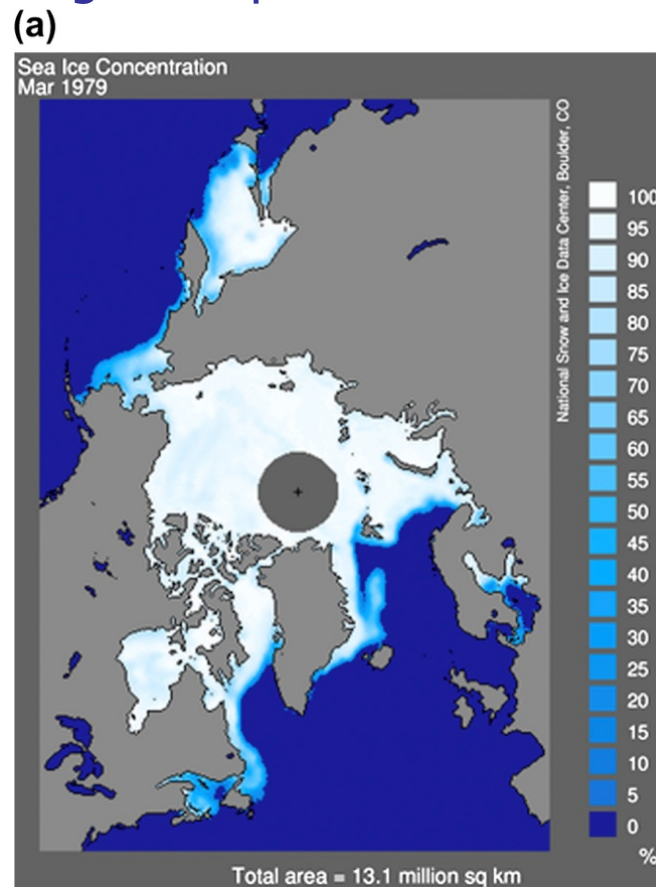
- Os diagramas dos transportes no OAr/Mares Nórdicos ressaltam a importância dos Mares Nórdicos mostrando que cerca de 50% das águas densas são formadas nos Mares Nórdicos e não circulam no OAr
- As estimativas para o tempo de residência das várias águas ao longo da coluna d'água são:
  - Águas superficiais: 3-10 anos
  - Água profunda: 20 a 25 anos
  - Água de Fundo na Bacia da Eurásia: 150 anos



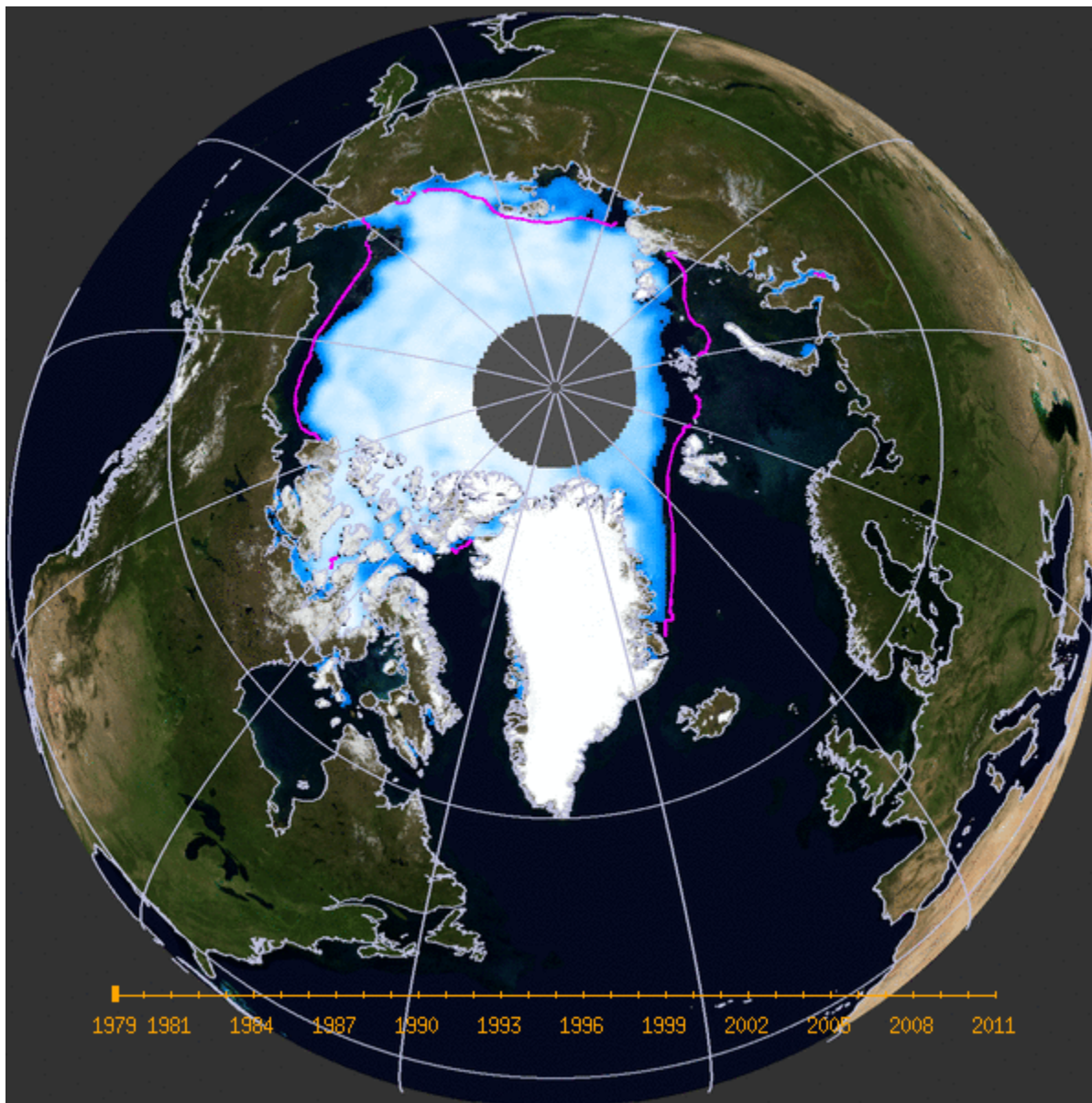
# Gelo Marinho no Oceano Ártico

- **A distribuição de gelo marinho no OAr**
  - O gelo marinho cobre grande parte do OAr

- No entanto, mesmo no **inverno**, existem regiões que são praticamente livres de gelo

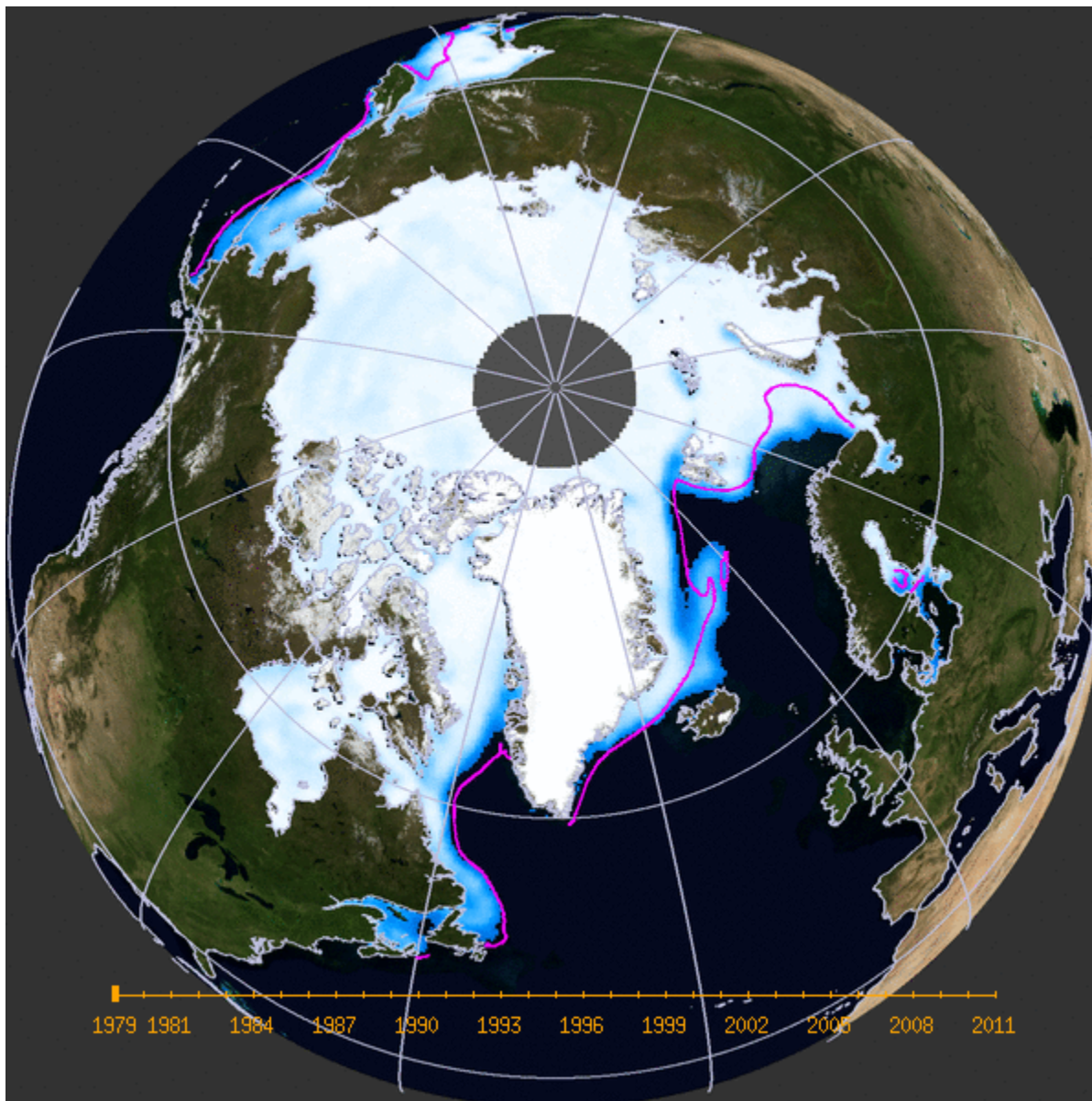


Concentração de gelo em 1979 para (a) final do inverno (março) e (b) final do verão. Fonte: NSIDC (2009a). Extraído de Talley et al. (2011).



Variação da extensão da cobertura de gelo na região Ártica durante o mês de setembro (mês de cobertura mínima) entre 1979-2011. National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder. <http://nsidc.org/sotc/>

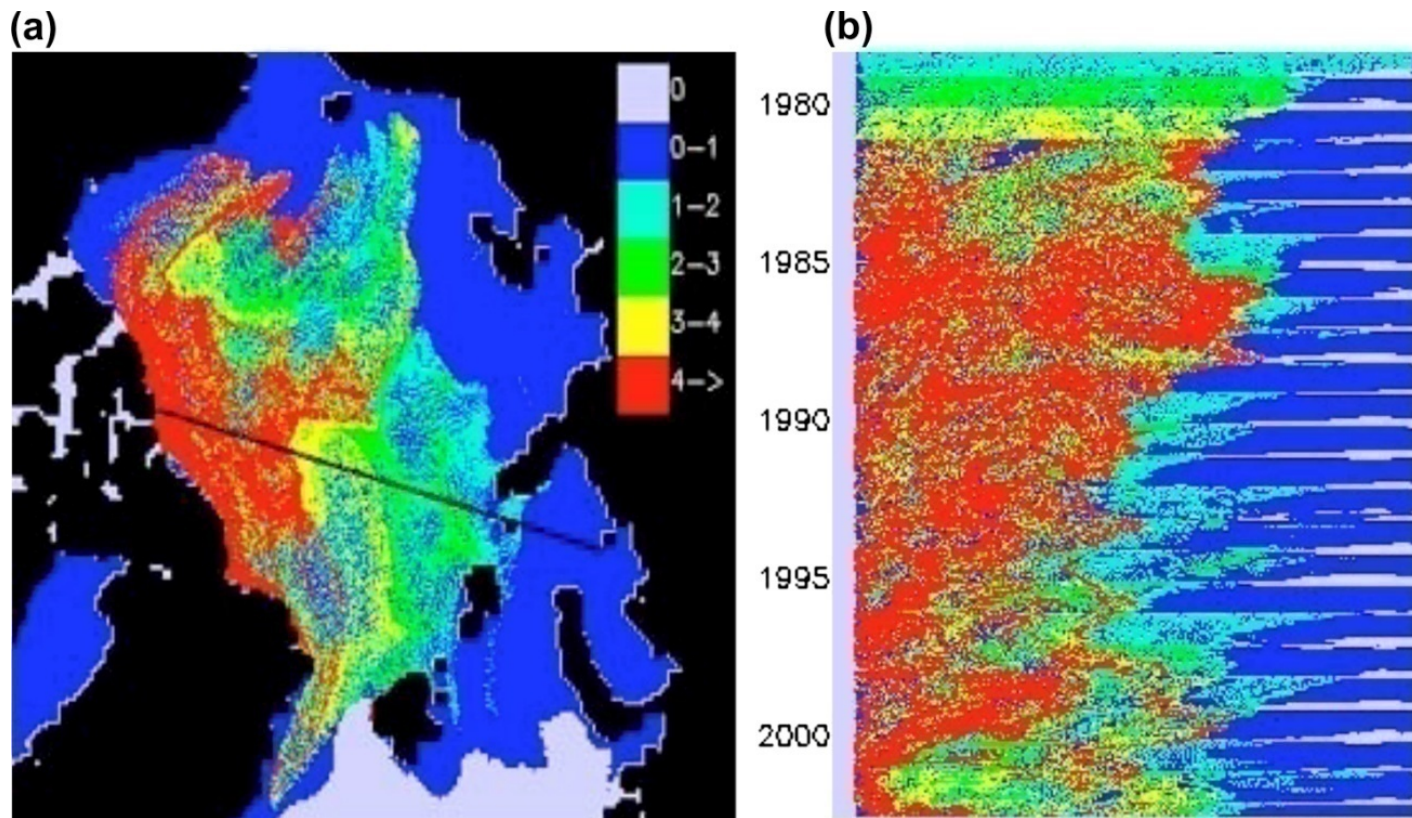




Variação da extensão da cobertura de gelo na região Ártica durante o mês de março (mês de cobertura máxima) entre 1979-2011. National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder. <http://nsidc.org/sotc/>

# Gelo Marinho no Oceano Ártico

- Gelo de vários anos pode ser encontrado ao longo da Bacia do Canadá e na Groenlândia



Idade do gelo no Oceano Ártico. (a) 2004 e (b) Seção de classes de gelo (direita) em função do tempo, ao longo de um transecto que cruza o Oceano Ártico do Arquipélago Canadense até o Mar de Kara. Extraído de Talley et al. (2011).





# Gelo Marinho no Oceano Ártico

---

- Além do gelo ser classificado com relação a sua idade, ele também pode ser classificado nas seguintes categorias:
  - Calota de gelo (polar cap ice):
    - ❖ Está sempre presente e cobre cerca de 70% do OAr, se estendendo do polo até a isóbata de 1000 m
    - ❖ É mais espesso e na média apresenta vários anos de idade
  - Bloco de gelo (pack ice):
    - ❖ Fica no entorno da calota de gelo e consiste de uma menor fração de gelo multianual e uma maior porção de gelo do primeiro ano
    - ❖ É mais leve que a calota de gelo e pode chegar a poucos metros de espessura
    - ❖ Cobre cerca de 25% da área do OAr e ocorre em áreas mais rasas que 1000 m. A menor (maior) extensão ocorre em setembro (maio)



# Gelo Marinho no Oceano Ártico

---

- Gelo rápido (fast ice):
  - ❖ Se forma da costa até o bloco de gelo e consiste de gelo do primeiro ano que é formado a cada inverno
  - ❖ Este gelo está fixo a costa e se estende até a profundidade de 20 m
  - ❖ No inverno pode atingir até 2 m de espessura, mas no verão derrete completamente
- Cerca de 1/3 de todo gelo (calota e bloco) é transportado para fora do OAr pela EGC através do Estreito de Fram
- A taxa de exportação de gelo é da ordem de 3 km/dia
- O volume de água exportado na forma de gelo é aproximadamente igual a todo o aporte continental de rios no OAr



# Gelo Marinho no Oceano Ártico

---

- **Icebergs do Oceano Ártico**
- Os icebergs diferem do gelo marinho porque são originados em terra, não tem conteúdo de sal e tem dimensões verticais muito maiores
- No OA Norte a fonte principal de icebergs são os glaciares do oeste da Groenlândia
- O número total de icebergs formado por ano é estimado em 40000, sendo que estes variam consideravelmente nas suas dimensões (altura acima do mar/comprimento): i) growlers – 1,5 m/5m, ii) bergy bits - 1-5 m/10 m, iii) small bergs – 5-15 m/15-60 m, iv) large bergs – 50-100 m/120-220 m
- A razão de volume acima e abaixo da água é de 1:7, mas a razão de altura x profundidade é geralmente menor do que isto



# Gelo Marinho no Oceano Ártico

---

- **Icebergs do Oceano Ártico**

- Icebergs tem uma vida média entre 2-3 anos, podendo viajar por uma distância de até 4000 km desde a sua origem
- A temporada principal dos icebergs na região dos grandes bancos é entre março e julho. Desde 1914 (devido ao acidente do Titanic em 1912), a guarda costeira dos EUA mantém um programa internacional de patrulhamento do gelo, disponibilizando informações sobre os icebergs vindos para sul advectados pela Corrente do Labrador





# Referências Bibliográficas

---

Talley et al (2011). *Arctic Ocean and Nordic Seas*. In *Descriptive Physical Oceanography: an introduction*, pp. 401-436.

Talley et al (2011). *The Arctic Ocean and Nordic Seas*. In *Supplementary Materials*, pp. 1-14.