

# A influência do *Río de la Plata* na circulação da plataforma continental sudoeste do Atlântico Sul (28-40°S).

Tiago Carrilho Biló

*tiago.bilo@usp.br*

*Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IOC5809 Hidrodinâmica da Plataforma Continental*

10 de dezembro de 2013

## Resumo

A descarga de água doce para os oceanos advinda dos continentes, corresponde ao principal fator gerador da circulação termohalina em muitas regiões costeiras. Além de modificar a estrutura termohalina da plataforma continental adjacente, e consequentemente sua circulação o aporte fluvial constitui uma importante fonte de energia, nutrientes e poluentes para a plataforma, influenciando diretamente os ecossistemas costeiros. A Plataforma Continental Sudoeste do Atlântico Sul (PCSAS), entre 28 à 40°S, é influenciada diretamente pelo *Río de la Plata*. Este importe rio altera significativamente a estratificação e a circulação da plataforma continental. Essa região é conhecida por ter sua dinâmica forçada principalmente pelo vento. Este trabalho possui o objetivo de revisar o estado da arte do conhecimento a respeito do impacto do Prata na circulação e propriedades físicas da PCSAS.

**Palavras-chave:** *Río de la Plata, plataforma continental sudoeste do Atlântico Sul, interação descarga fluvial-plataforma continental*

## 1 Introdução

Questões como previsões de marés, ondas e inundações de regiões costeiras devido a tempestades são fundamentais para realizações de atividades e ocupações humanas. Tais necessidades práticas corresponderam à motivação para o desenvolvimento do conhecimento a respeito da dinâmica e circulação dos mares costeiros. Grande parte destes problemas podem ser resolvidos, em primeira ordem, através de modelos, da plataforma continental, barotrópicos forçados por marés e ventos. No entanto durante o século XX, com o surgimento da preocupação com a “saúde” ambiental das águas, do entendimento das relações entre o meio biótico e físico, assim como o melhor entendimento deste último viu-se a necessidade de se estudar os mares costeiros levando-se em conta sua estrutura tridimensional (Hill, 1998).

A descarga de água doce para os oceanos advinda dos continentes (*runoff*), corresponde ao principal fator gerador da circulação termohalina em muitas regiões costeiras (Hill, 1998). Além de modificar a estrutura termohalina da plataforma continental adjacente, e consequentemente sua circulação, (e. g., Simpson *et al.*, 1993; Lentz & Limeburner, 1995; Piola *et al.*, 2000) o *runoff* continental constitui uma importante fonte de energia, nutrientes e poluentes para a plataforma, influenciando diretamente os ecossistemas costeiros (e.g, Ciotti *et al.*, 1995; Henrichs *et al.*, 2000; Carreto *et al.*, 2008).

Dentre as regiões sob a influência de grandes rios encontra-se a Plataforma Continental Sul-oeste do Atlântico Sul (PCSAS). A PCSAS se estende de 23 à 55°S (Bisbal, 1995), abrange parte da costa argentina, uruguaia e brasileira e conta com a presença *Río de la Plata*, referido como o Prata daqui em diante (Figura 1). Este trabalho possui o objetivo de revisar o estado da arte do conhecimento a respeito do impacto deste importante rio da América do Sul na circulação e propriedades físicas da PCSAS entre 28 à 40°S.

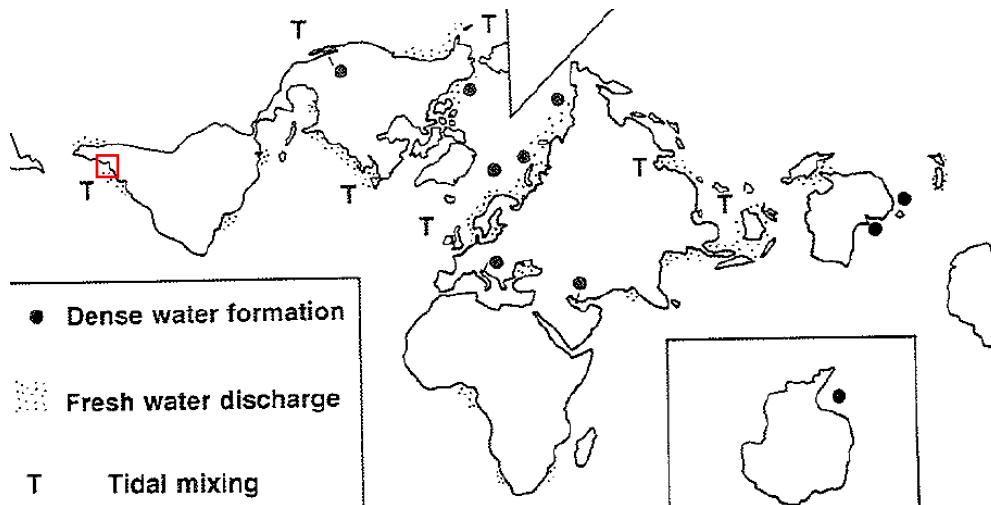


Figura 1: Distribuição global das regiões de maior *runoff* continental, formação de águas densas e plataformas de maré altamente energéticas. O retângulo vermelho indica a posição da PCSAS. Adaptado de Hill (1998).

## 1.1 A Plataforma Continental Sudoeste do Atlântico Sul ( $28-40^{\circ}\text{S}$ )

A extensa área da PCSAS e a presença do estuário do Prata confere, a esta plataforma, grande importância econômica devido à intensa atividade de navegação (Campos *et al.*, 2008). Além disso a PCSAS corresponde a uma das principais regiões pesqueiras da costa leste sulamericana (e. g., Haimovici *et al.*, 1989), justificando a importância do entendimento dos processos físicos que governam essa região.

A PCSAS é uma plataforma de topografia pouco acidentada e largura variável. Sua quebra possui profundidades típicas de 180 m, localizada à, aproximadamente, 110 km da costa ao largo do Cabo de Santa Marta ( $28^{\circ}\text{S}$ ) e à distâncias superiores a 170 km ao sul de  $35^{\circ}\text{S}$  (Castro & de Miranda, 1998). Isso permite que seja possível o estabelecimento de diferentes províncias (plataforma interna, média e externa) de acordo com os processos físicos e características da mesma (e. g., Castro & de Miranda, 1998; Piola *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2008).

A Figura 2 apresenta uma representação esquemática da circulação média na PCSAS elaborada por Palma *et al.* (2008). Os autores basearam-se na circulação inferida por hidrografia, observações diretas de velocidade e resultados de modelos disponíveis na literatura até 2008. Os autores se referem a região de interesse deste trabalho como *Central Shelf Region* (CSR). Note que próximo a costa

há a presença das águas do Prata (35°S), na plataforma média há correntes oriundas da plataforma patagônica e da plataforma sudeste brasileira, e por fim na plataforma externa a circulação é imposta pelas correntes de contorno oeste.

Historicamente sabe-se que a principal forçante da circulação, em toda PCSAS, são os ventos típicos que sopram sobre a plataforma devido a relação entre a variabilidade da estrutura termohalina da plataforma e a sazonalidade destes ventos (e. g., *de Miranda*, 1972; *Castro & de Miranda*, 1998; *Piola et al.*, 2000; *Moller et al.*, 2008). Entretanto, a contribuição relativa dessa e de outras forçantes, tal qual o *runoff* continental, para a circulação desta região passaram a ser melhor compreendidas a partir dos anos 2000 (*Campos et al.*, 2008).

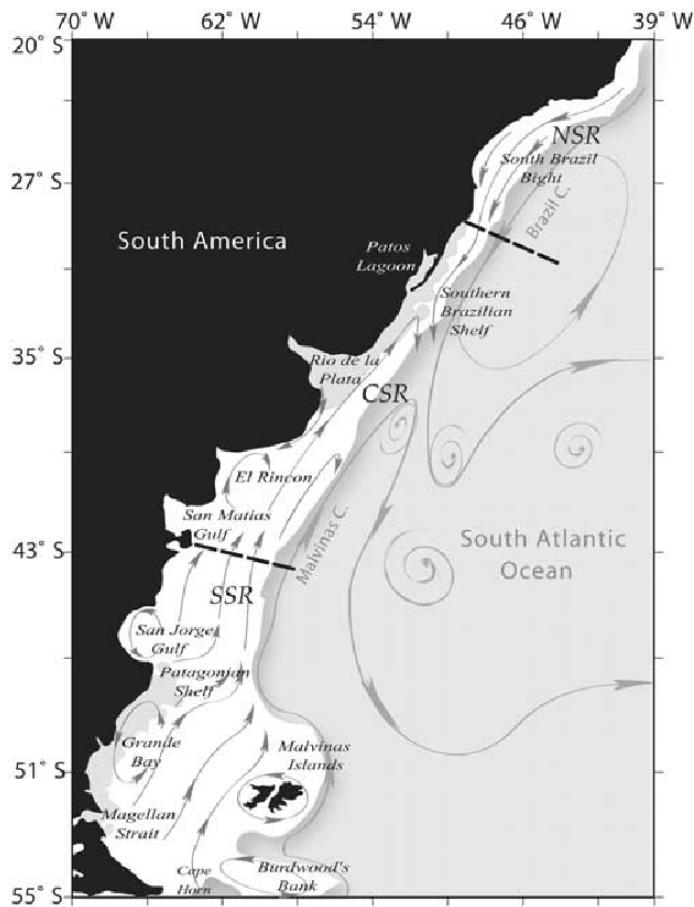


Figura 2: Representação esquemática de *Palma et al.* (2008) da circulação na PCSAS. As linhas tracejadas representam a divisão da PCSAS utilizado pelos autores: *Southern Shelf Region* (SSR), *Central Shelf Region* (CSR) e *Northern Shelf Region* (NSR).

### 1.1.1 Regime de ventos e a resposta barotrópica da PCSAS

Como mencionado anteriormente, os ventos constituem a principal forçante da circulação na região de estudo. Portanto, devido às marés pouco energéticas na região, ou micromarés (*Glorioso & Flather, 1995*), as escalas de variabilidade dos ventos e da descarga do Prata (veremos a seguir) nos concentraremos em descrever os estados estacionários da circulação na PCSAS em diferentes regimes de ventos. Deste modo, dedicamos esta seção a resposta barotrópica da PCSAS aos ventos. Utilizaremos tal circulação como base para a discussão da influencia do Prata e da estratificação nas próximas seções.

Como se sabe na PCSAS os ventos possuem variabilidade sazonal relacionada à migração meridional do centro de alta pressão atmosférica do Atlântico Sul (*Hoflich, 1984*). As Figuras 3 e 4 ilustram a variação sazonal da tensão de cisalhamento do vento. Os quatro painéis da Figura 3 mostram duas distribuições distintas da tensão de cisalhamento do vento segundo a climatologia de *Trenberth et al. (1990)*. Note que a tensão cisalhamente é significativamente menor e mais variável entre 28-40°S do que em regiões mais ao norte e ao sul. O painel superior da Figura 4 denota a variação média, durante um ano, da componente paralela à costa da tensão ao largo de 28°S, obtida por *Piola et al. (2005)*, a partir da reanalise de modelos globais. Mais uma vez fica claro o ciclo de variabilidade sazonal, de modo que nos meses de inverno a intensidade dos ventos de sudoeste é maior e nos meses de verão os ventos de nordeste são mais brandos.

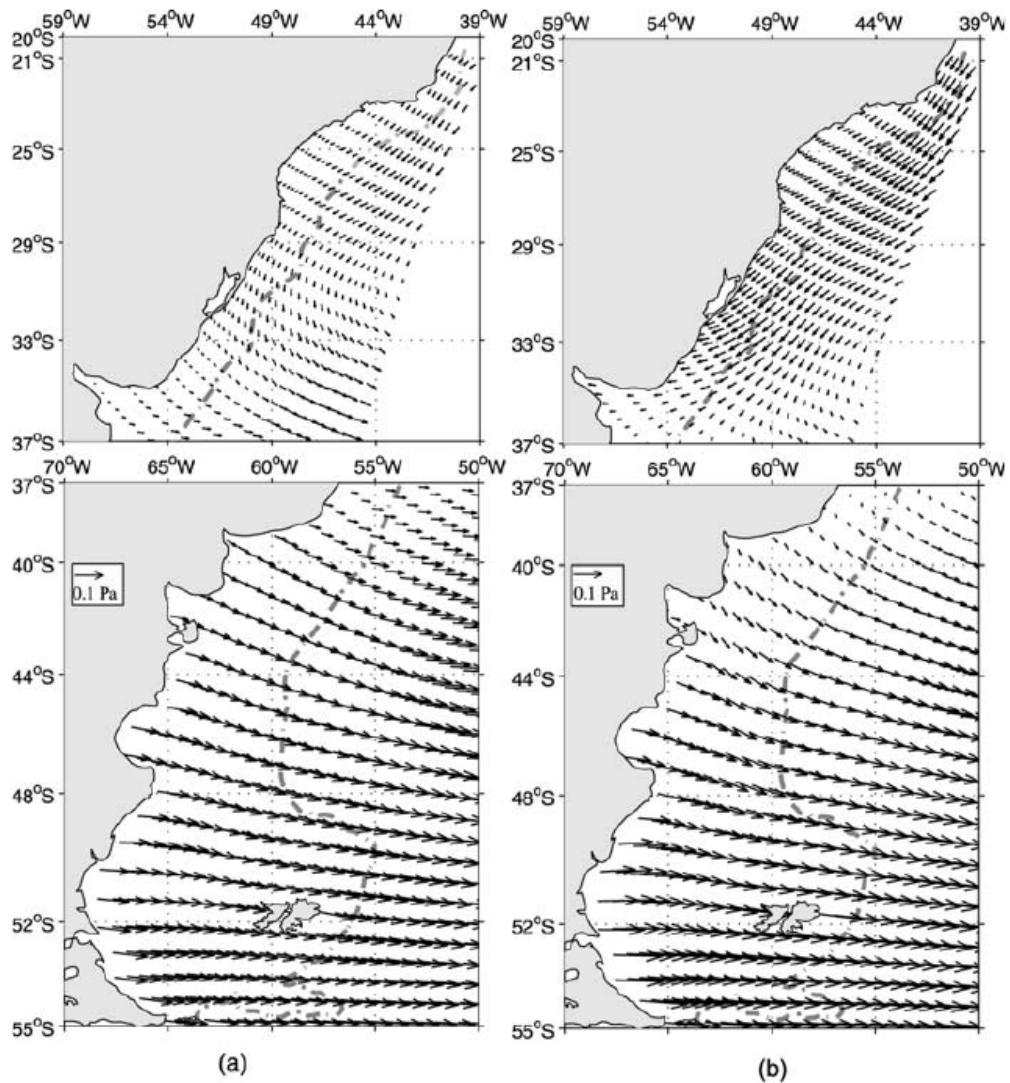


Figura 3: Distribuição climatológica da tensão de cisalhamento do vento, utilizada por *Palma et al.* (2004), segundo *Trenberth et al.* (1990) referentes as estações de (a) outono e (b) primavera. As linhas pontilhadas correspondem a isóbata de 1000 m.

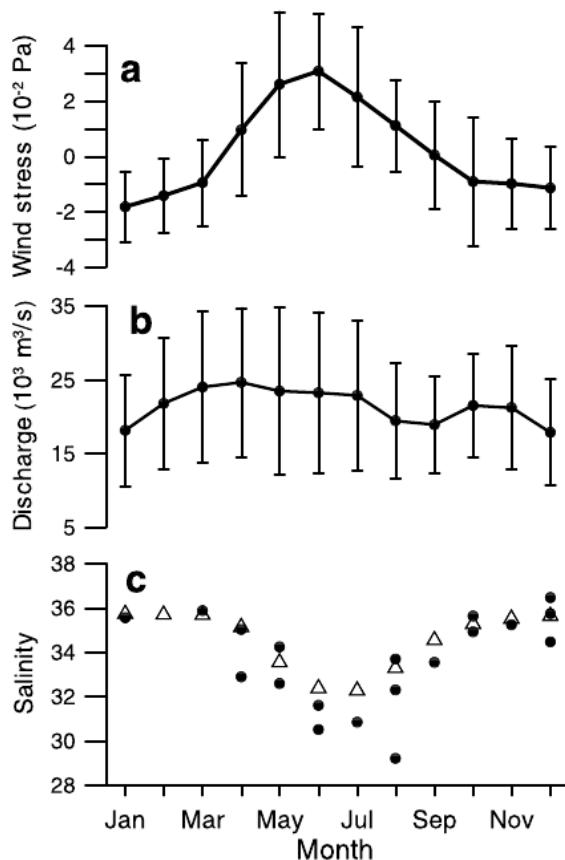


Figura 4: Variação sazonal ao largo do Cabo de Santa Marta (28°S) da (a) tensão de cisalhamento do vento, (b) descarga fluvial do Prata e (c) salinidade de superfície oriundas de observações (●) e modelagem (Δ). Os valores médios mensais apresentados em (a) e (b) correspondem ao períodos de 1949-2001. As barras verticais correspondem à um desvio padrão. Figura de Piola et al. (2005)

Em observações de velocidade ou em estudos da circulação a partir de hidrografia não é possível isolarmos perfeitamente os efeitos de diferentes forçantes sobre os fenômenos que observamos. Sendo assim precisamos recorrer à ferramentas numéricas, aliadas à observações, para responder certas questões. Diversos estudos numéricos foram realizados na PCSAS Pereira (1989); Glorioso & Flather (1995); Palma et al. (2004); Piola et al. (2005); Palma et al. (2008). Dentre eles Palma et al. (2004) foi o primeiro a isolar os efeitos dos ventos utilizando-se de uma geometria realística para a plataforma em questão. Estes autores realizaram dois experimentos idealizados utilizando-se dos ventos apresentados na Figura 3, um oceano homogêneo e sem a presença das descargas fluviais do Prata e da Lagoa dos Patos (32°S). Devido a simplicidade do modelo e a complexibilidade da região

as correntes modeladas não são realísticas ao se comparar com observações (e. g., Zavialov *et al.*, 2002; *de Souza & Robinson*, 2004), porém o padrão de escoamento corresponde bem ao que já se conhece (Figura 5). Observando a Figura 5 podemos notar a inversão das correntes, devido a inversão na tensão de cisalhamento do vento entre 28-40°S.

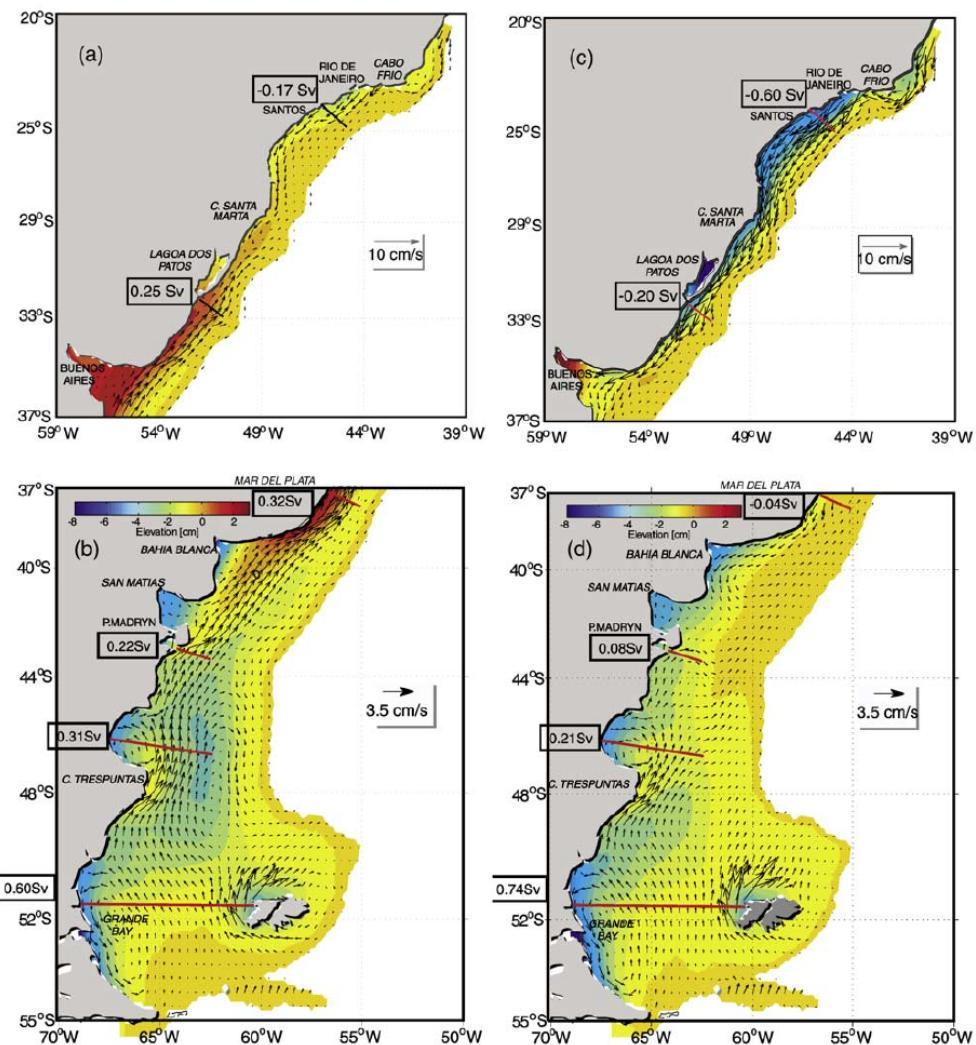


Figura 5: Resultados das simulações de *Palma et al.* (2004) de outono (a e b) e primavera (d e c). Elevação do nível do mar (escala de cores) e velocidades integradas verticalmente (vetores). Os vaores indicados nas caixas correspondem aos transportes de volume através dos transectos indicados.

### 1.1.2 O Prata

O *Río de la Plata* (Prata, 35°S) corresponde, em volume de água, ao quinto maior rio do mundo e ao segundo do hemisfério sul. Sua bacia de drenagem cobre aproximadamente 20% do continente sulamericano (Figura 6) que culmina no estuário mais largo do mundo (220 km) descarregando, em média,  $23.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de água na PCSAS. Este grande aporte de água doce para o oceano é fonte de carbono, nutrientes e poluentes para a PCSAS modificando de forma substancial os ecossistemas marinhos (e.g., Ciotti *et al.*, 1995; Sunye & Servain, 1998; Eichler *et al.*, 2008; Braga *et al.*, 2008), a estratificação e a circulação da plataforma, como veremos nas próximas seções. Uma fonte secundária de água doce para a PCSAS é a drenagem da Lagoa dos Patos (32°S). Segundo Vaz *et al.* (2006) a descarga média deste sistema corresponde à  $2400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , de modo que sua influência fica restrita a regiões mais costeiras próximas à boca do estuário (Zavialov *et al.*, 2003). Portanto, devido a esse fato e a proximidade entre o estuário do Prata e da Lagoa dos Patos consideraremos aqui somente a maior influência do Prata.

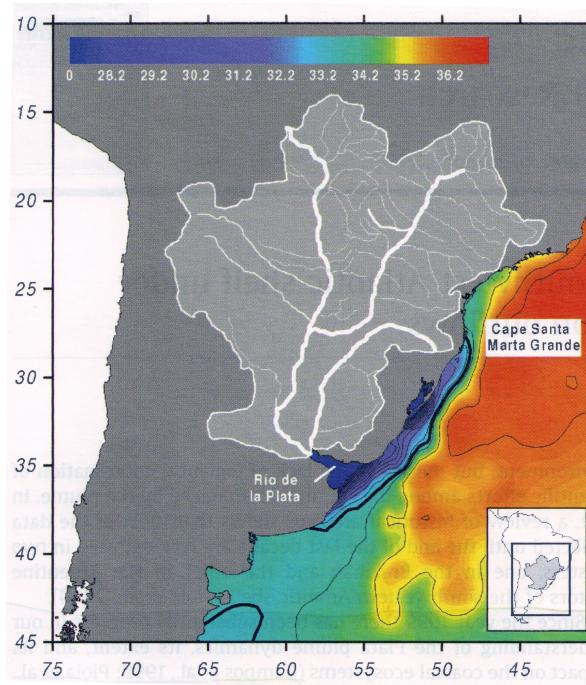


Figura 6: Representação esquemática da bacia de drenagem do *Río de la Plata* com a indicação de sua área aproximada e a distribuição média de inverno da salinidade superficial da PCSAS, por Campos *et al.* (2008). As águas de baixa salinidade de origem continental estão destacadas pelo contorno preto indicando a grande extensão da pluma do Prata.

Quanto a variabilidade da descarga fluvial do Prata, podemos notar da Figura 4 que não há uma variação sazonal tão demarcada quanto a tensão de cisalhamento do vento paralela à costa, de modo que a descarga do Prata se mantém em torno da média. Porém, há evidências de anomalias extremas relacionadas à eventos de *El Niño* (1998,  $65.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e *La Niña* (1978,  $12.950 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (e. g., *Piola et al.*, 2005).

## 2 Estrutura termohalina da PCSAS

A estratificação da PCSAS vem sendo estudada por várias décadas. Desde os trabalhos pioneiros de *Emilsson* (1959, 1961) diversos estudos visaram descrever a estrutura termohalina da região (e. g., *Castro & de Miranda*, 1998; *Piola et al.*, 2000; *Moller et al.*, 2008). Segundo a classificação, para massas de água da plataforma, proposta por *Castro & de Miranda* (1998) e posteriormente extendida por *Piola et al.* (2000) através da análise de dados hidrográficos históricos, entre 28-40°S há a presença de 4 massas de água distinguíveis sobre a plataforma continental. São elas: Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) trazidas pela Corrente do Brasil; Água da Plataforma Subantártica (APS) advectada das proximidades do Cabo Horn, pela corrente Patagônica (Figura 2); e a Água da Plataforma Subtropical (APST) resultante da diluição da ACAS pela descarga continental na plataforma continental brasileira.

A Tabela 1 mostra os intervalos de temperatura e salinidade dessas massas de água sobre a PCSAS apresentados por *Piola et al.* (2000). Note que os índices, e consequentemente o critério de identificação das massas de água, mudam ligeiramente com as estações do ano. Com o auxílio destes índices termohalinos e a realização de 2 cruzeiros hidrográficos realizados durante o inverno de 2003 e verão de 2004, *Moller et al.* (2008) foram capazes de mapear a distribuição, volume e mistura das massas de água ao longo da PCSAS.

Tabela 1: Intervalos termohalinos das massas de água sobre a plataforma continental entre 28-40°S apresentados por *Piola et al.* (2000).

<b>Massas de Água</b>	<b>Inverno</b>	<b>Verão</b>
Águas da Pluma do Prata	$T > 10^\circ\text{C}$ , $S \leq 33,5$	$T > 10^\circ\text{C}$ , $S \leq 33,5$
AT	$T \geq 18,5^\circ\text{C}$ , $S \geq 36$	$T \geq 18,5^\circ\text{C}$ , $S \geq 36$
APST	$T > 14^\circ\text{C}$ , $33,5 < S < 35,3$	$T > 18,5^\circ\text{C}$ , $35,3 < S < 36$
	$T > 18,5^\circ\text{C}$ , $35,3 \leq S < 36$	$T > 21^\circ\text{C}$ , $33,5 < S \leq 36$
APS	$T \leq 14^\circ\text{C}$ , $33,5 < S \leq 34,2$	$T \leq 21^\circ\text{C}$ , $33,5 < S \leq 34,2$
ACAS	$T \leq 18,5^\circ\text{C}$ , $S \geq 35,3$	$T \leq 18,5^\circ\text{C}$ , $S \geq 35,3$

As Figuras 7 e 8 exemplificam a distribuição das massas de água obtida por *Moller et al.* (2008) e que segundo os dados históricos analisados por *Piola et al.* (2000) representam a distribuição típica de inverno e verão. Dos Diagramas-TS apresentados em Figura 7 podemos notar a mudança meridional das características termohalinas da PCSAS durante estas duas estações do ano. A característica mais marcante corresponde a diferença da penetração das águas do Prata em direção ao norte, sendo possível de detectá-la ao largo do Cabo de Santa Marta (28°S) durante o inverno e no verão a pluma não ultrapassa a latitude de 32°S.

A Figura 8 nos dá uma idéia mais clara a respeito da posição de tais massas de água e sua relação com a circulação da plataforma. Durante o inverno, devido ao ventos predominantes de S/SW, as águas do Prata e a APS são advectadas para regiões mais ao norte. Por outro lado, durante o verão os ventos de N/NE mantém as águas do prata aprisionadas próximas à boca do estuário atingindo regiões mais ao largo da costa.

Além da questão da variabilidade da pluma do Prata outra feição marcante é a presença da Frente Subtropical de Plataforma demarcada pela coloração amarela nos painéis da Figura 8. Descrita por *Piola et al.* (2000) esta é uma feição que possui orientação, aproximada, norte-sul e se estende da superfície até ao fundo sob a pluma do Prata. Segundo os autores esta frente se comporta como uma extenção da Confluência Brasil-Malvinas sobre a PCSAS separando a APS e APST. A Figura 9 apresenta a assinatura da frente nos campos de temperatura e salinidade, nas proximidades de 36°S. As isoterma de 15°C e a isohalina de 35 representam a posição média da frente.

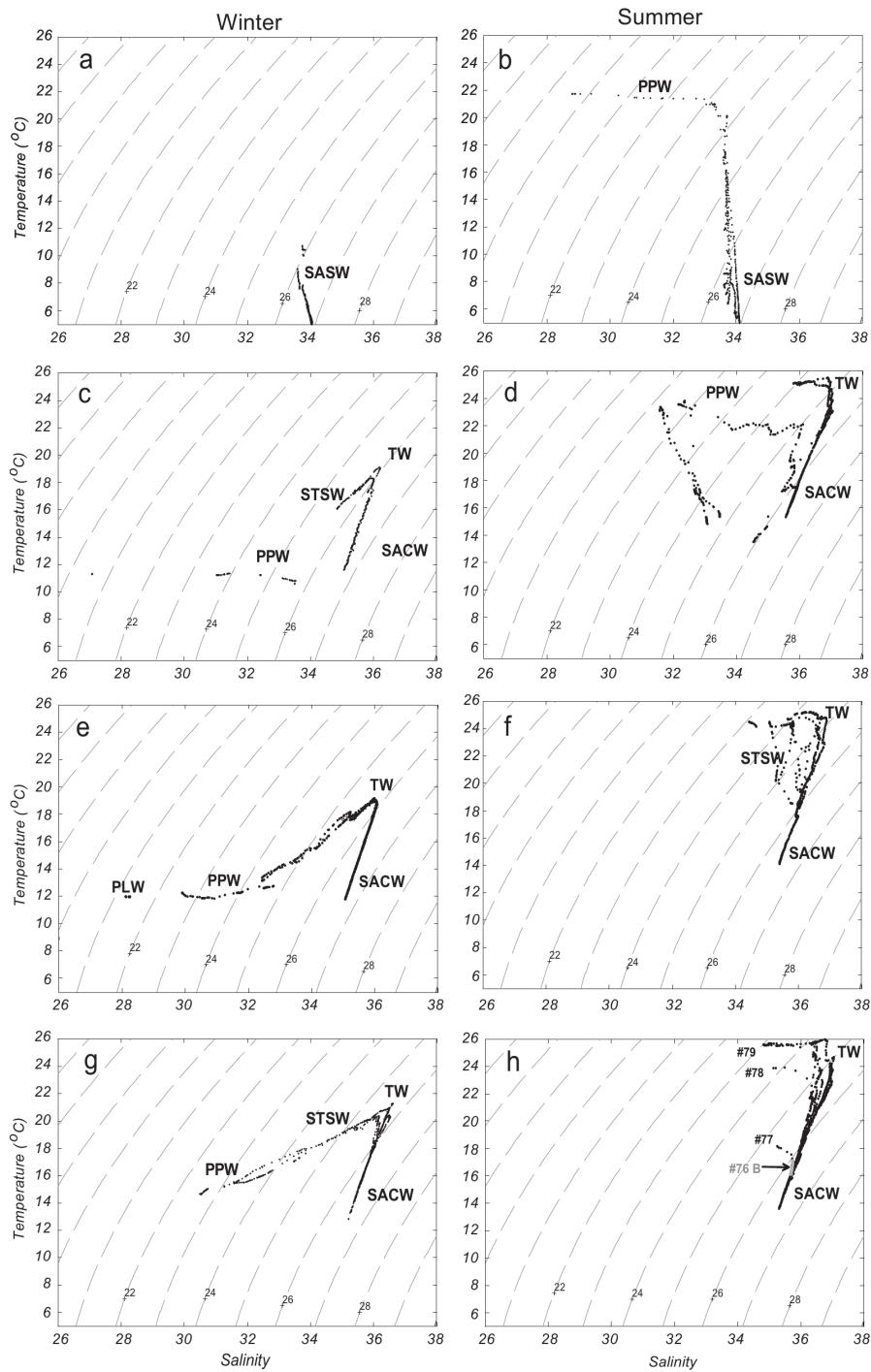


Figura 7: Diagramas-TS espalhados resultantes das análises de *Moller et al.* (2008) para o inverno (painéis esquerdos) e verão (paíneis direitos) em diferentes latitudes da PCSAS. As estações foram realizadas ao largo de Mar del Plata ( $40^{\circ}\text{S}$  - a,b), Punta del Diablo ( $36^{\circ}\text{S}$  - c,d), Rio Grande ( $32^{\circ}\text{S}$  - e,f) e Cabo de Santa Marta ( $28^{\circ}\text{S}$  - g,h). As siglas representam os nomes em inglês das massas de água onde PPW - Águas da Pluma do Prata; SASW - APS; STSW - APST; AT - AT; SACW - ACAS

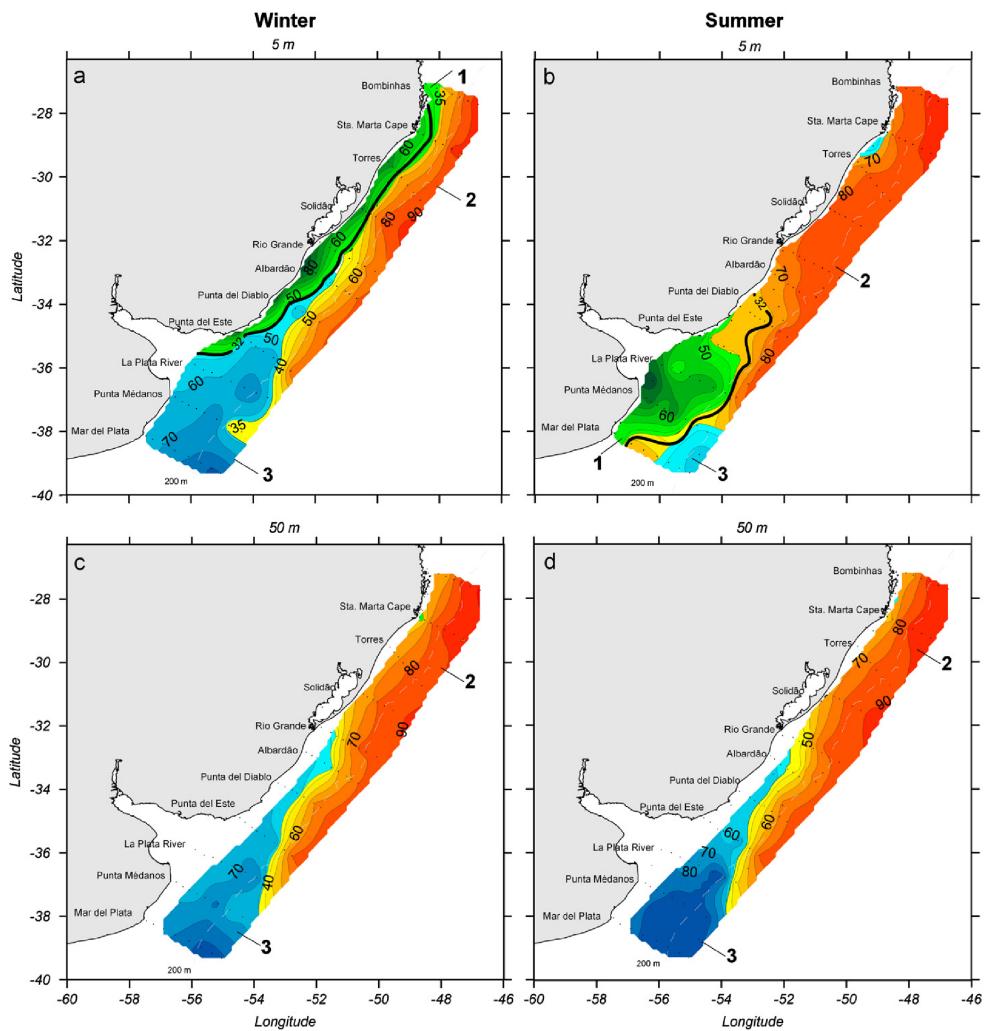


Figura 8: Porcentagem de mistura das massas de água para o inverno (painéis esquerdos) e verão (paíneis direitos), a 5 m (a,b) e a 50 m (c,d) de profundidade. O verde representa as Águas da Pluma do Prata, o azul a APS e o laranja a AT.

## 2.1 A variabilidade da Pluma do Prata e sua implicação na estratificação da PCSAS

Do ponto de vista teórico as razões para a intrusão da Pluma do Prata ao norte não correspondem a nenhuma surpresa (e. g., *Pimenta et al.*, 2011). Porém sua variabilidade não é tão sensível a diferentes regimes de descarga fluvial quanto se esperava. Como visto nas seções anteriores a variabilidade sazonal da tensão se cisalhamento do vento paralelo à costa corresponde à principal forçante da expansão da pluma sobre a PCSAS, uma vez que a vazão do estuário do Prata não possui grandes

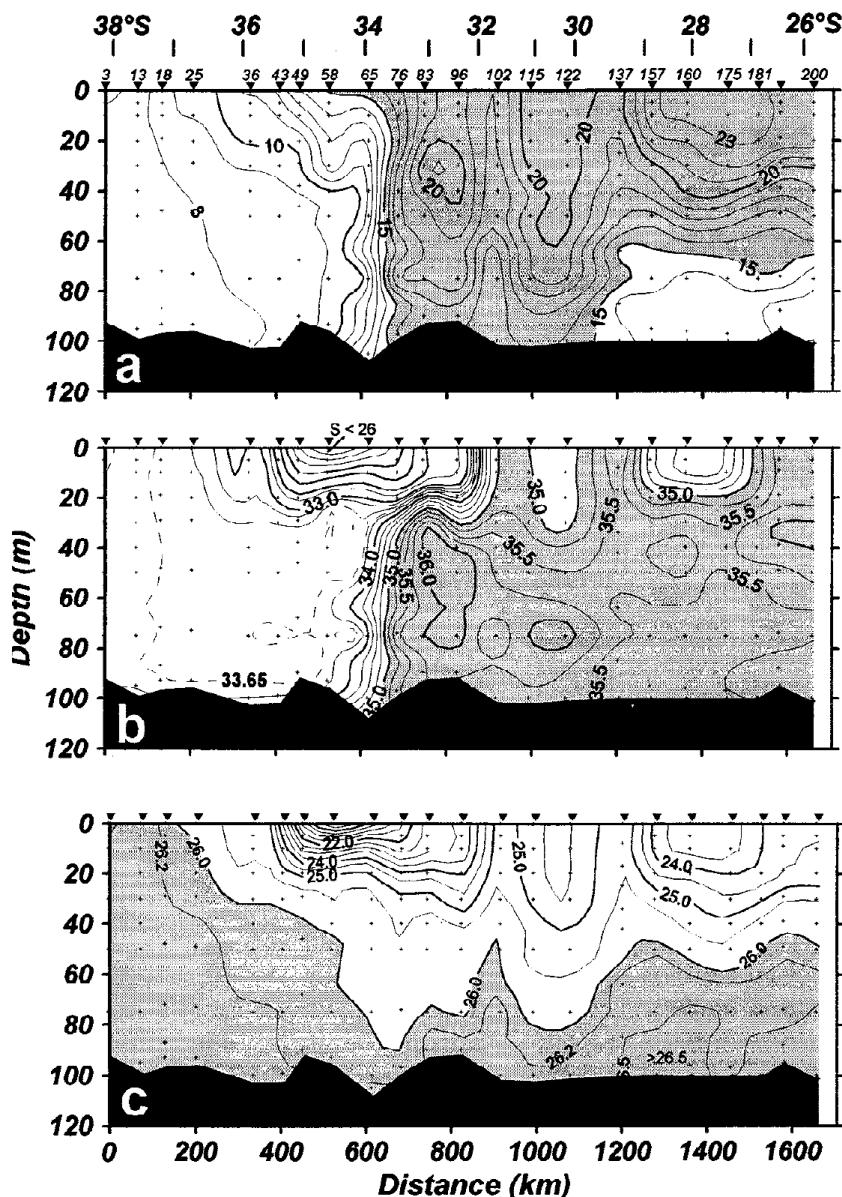


Figura 9: Seções de temperatura (a), salinidade (b) e anômalia da densidade (c) ao longo da PCSAS durante o inverno de 1977 apresentados por Piola *et al.* (2000), nas proximidades de 36°S. Os triângulos representam a malha hidrográfica utilizada na confecção destes painéis.

variações sazonais.

Os experimentos numéricos, corroborados por observações, de Piola *et al.* (2005) mostraram que mesmo em condições de altas descargas fluviais não garantem condições suficientes que permitam a penetração da pluma ao norte de 32°S. Os autores simularam duas condições extremas relacionadas aos eventos de *El Niño* de 1998 e *La Niña* de 1978. O primeiro experimento foi forçado por

descargas fluviais extremamente altas ( $65.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e ventos de N/NE ( $\tau_y = -0,025 \text{ Pa}$ ). O segundo experimento possui um cenário completamente diferente com baixas descargas fluviais ( $12.950 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e ventos de S/SW ( $\tau_y = 0,05 \text{ Pa}$ ).

Os resultados mostraram que além de podermos esperar uma variabilidade interanual modulada por eventos de *El Niño* e *La Niña*, e que a penetração da pluma do Prata, ao norte de 32°S, é determinada pelo regime de ventos (Figura 10). Outra conclusão importante, corroborada por outros trabalhos (Pimenta et al., 2005; Moller et al., 2008; Piola et al., 2008; Palma et al., 2008), foi que o aumento da descarga fluvial permite a penetração da pluma em regiões mais ao largo e ao sul da boca do estuário.

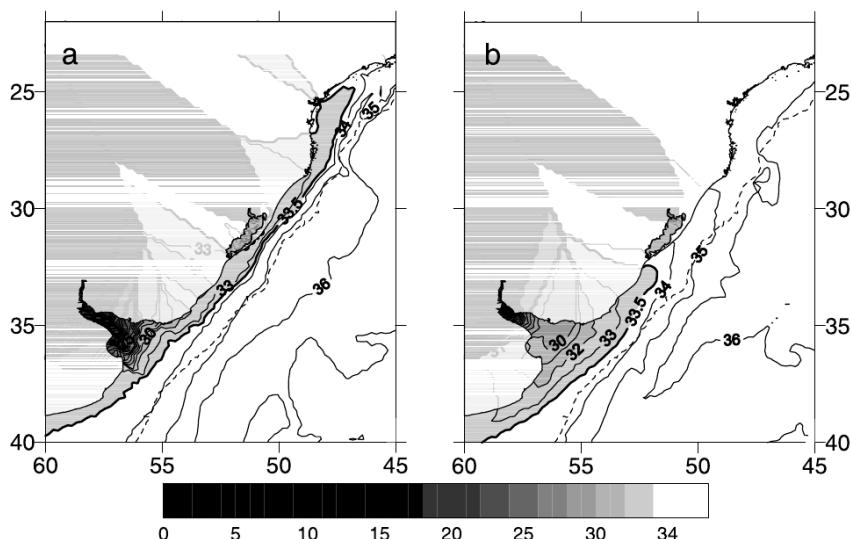


Figura 10: *Snapshots* da salinidade superficial das duas simulações numéricas de Piola et al. (2005). (a) *La Niña* de 1978 e (b) *El Niño* de 1998.

Vimos que a Pluma do Prata gera uma capa superficial de baixa salinidade que se estende de 32°S à latitudes menores que 28°S, diluindo e alterando a estratificação das águas da PCSAS. Portanto, há um efeito também na variabilidade da Frente Subtropical de Plataforma a medida que a pluma se move (Piola et al., 2008). A partir de dados hidrográficos Zavialov et al. (2003) descreveram e quantificaram as inversões térmicas geradas pela Pluma do Prata. Os autores estimaram que 60-80% da queda da temperatura superficial ocorre devido ao aumento da estabilidade vertical da coluna de água e diminuição dos processos de mistura vertical. Este aumento da estabilidade e

a perda de calor para a atmosfera, durante o inverno, causam a maior parte da inversão. Os outros 20-30% correspondem a advecção das águas do Prata sobre as águas da plataforma. Essa advecção foi quantificada através de experimentos numéricos por *Palma et al.* (2008). Segundo estes autores a pluma expande para norte com velocidades de  $\sim 145 \text{ km mês}^{-1}$  e retrai a uma taxa de  $\sim 80 \text{ km mês}^{-1}$ .

Vale citar que esta região sofre influência da passagem de sistemas frontais que invertem as correntes (e. g., *Zavialov et al.*, 2002). Porém, ainda não foi estudado a variabilidade da Pluma do Prata em escala sinótica, ou submarégraficas.

### 3 A Circulação da PCSAS

A circulação na PCSAS, foi em sua maior parte descrita através de dados hidrográficos e modelagem numérica (*Pereira*, 1989; *Castro & de Miranda*, 1998; *Piola et al.*, 2000; *Zavialov et al.*, 2003; *Palma et al.*, 2004; *Piola et al.*, 2005; *Pimenta et al.*, 2005; *Piola et al.*, 2008; *Palma et al.*, 2008), porém há alguns estudos publicados contendo observações diretas de velocidade (*Zavialov et al.*, 2002; *de Souza & Robinson*, 2004).

A descrição mais detalhada da circulação na área de estudo encontra-se do trabalho de *Palma et al.* (2008). Estes autores discutem a partir de diversos experimentos numéricos as correntes e estrutura termohalinas em, diferentes latitudes da PCSAS, em função dos balanços de momento resultantes da modelagem. Para compreender melhor como a descarga do Prata afeta a dinâmica da plataforma continental nos concentraremos novamente em duas estações do ano (verão e inverno) e em 2 transectos localizados em  $\sim 38^\circ\text{S}$  (ao sul da boca do estuário do Prata) e  $\sim 32^\circ\text{S}$  (ao norte do Prata). A circulação analisada foi forçada pelas marés, descarga fluvial, ventos, correntes de contorno oeste e estratificação típica na região.

A Figura 11 apresenta a distribuição de salinidade, velocidade paralela à costa e velocidade vertical do transecto em  $38^\circ\text{S}$ . Note que em ambas estações do ano os resultados não variam muito. Sobre a plataforma há a presença de APS e ao largo águas advectadas pela Correntes das Malvinas. Portanto, verificou-se que o balanço de *momentum* perpendicular a costa é, aproximadamente, constante ao longo do ano sobre essa latitude. A Figura 12 apresenta tal balanço, onde  $P_x$  é a força do

gradiente de pressão por unidade de massa e  $fV$  é a aceleração de Coriolis. Os valores positivos indicam acelerações apontando para a costa. Ainda com relação a Figura 12 é possível notar que nas regiões mais próximas a costa o vento possui uma importante maior no movimento. A medida que nos afastamos da costa a Corrente das Malvinas passa a influenciar no movimento.

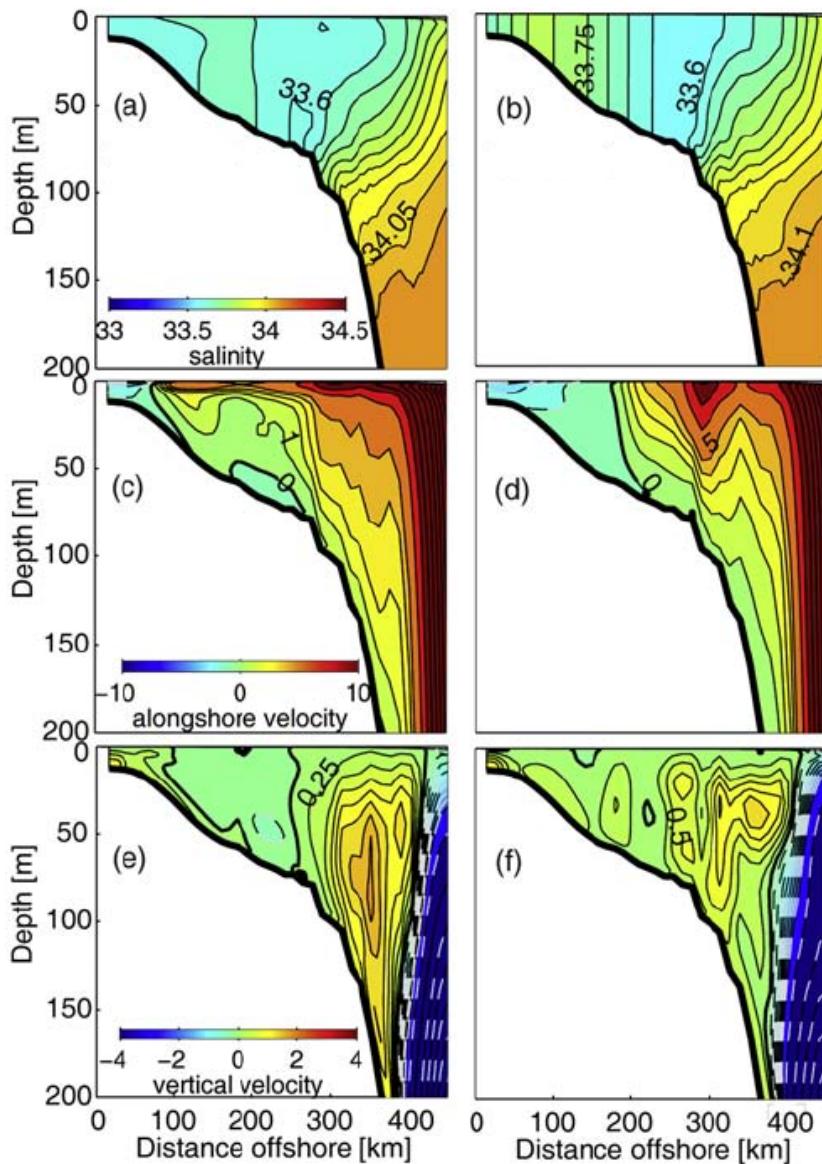


Figura 11: Transectos de salinidade (a,b), velocidade paralela a costa (c,d) e velocidade vertical (e,f) resultantes das simulações de verão (paineis esquerdos) e inverno (paineis direitos) de *Palma et al.* (2008) em 38°S

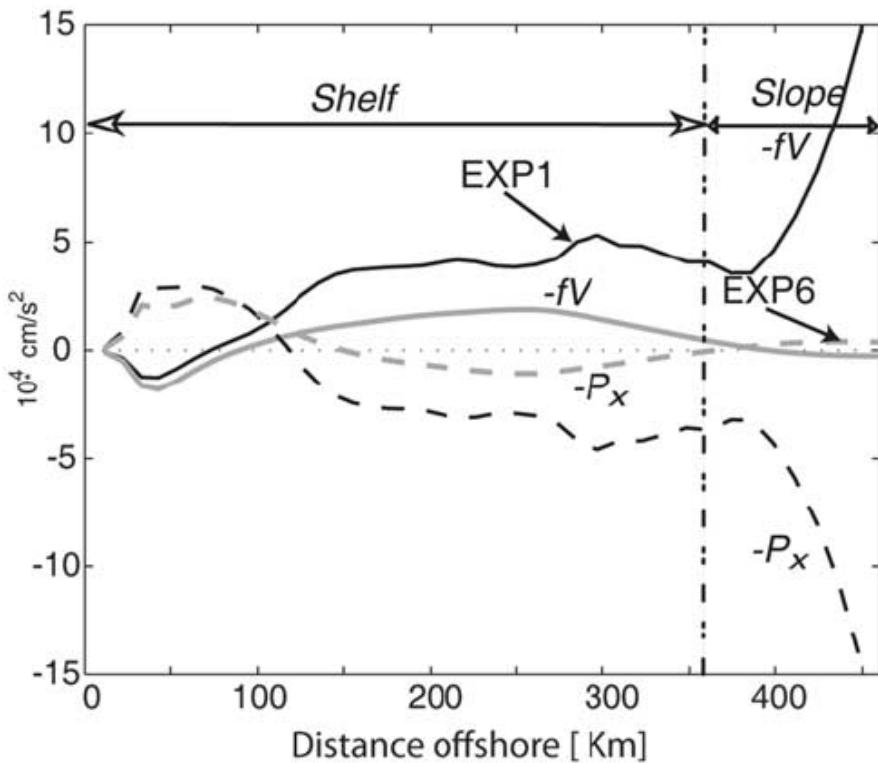


Figura 12: Comparação da média anual do balanço de momento, perpendicular à costa, em 38°S e integrado verticalmente da simulação de *Palma et al.* (2008) (EXP1) e da simulação do oceano barotrópico forçado pelo vento de *Palma et al.* (2004) (EXP6).

O mesmo procedimento foi aplicado para o transecto em 32°S. Ao contrário dos resultados anteriormente descrito essa seção encontra-se na região de influência direta da pluma do Prata. Na Figura 13 pordemos identificar a variação do sistema de correntes e estratificação. Das seções de salinidade podemos facilmente identificar a Frente Subtropical de Plataforma (isohalina de 36). No verão, devido a retração da pluma do Prata a frente encontra-se em regiões mais rasas. No inverso a pluma empurra essa frente para regiões mais profundas, alterando seu perfil vertical. Outra característica bastante marcante é a geração, no verão, de uma inversão do sentido da velocidade entre a plataforma interna e média.

Fica claro da Figura 14 que o fluxo para sul está relacionado ao vento. Por outro lado, os autores atribuem essa contra-corrente de plataforma média como sendo um fluxo interno da própria Pluma do Prata e da Corrente Patagônica, assim como *Moller et al.* (2008). Durante o inverno o efeito da baixa salinidade das águas do prata e dos ventos se somam para mover toda a coluna de água para

norte.

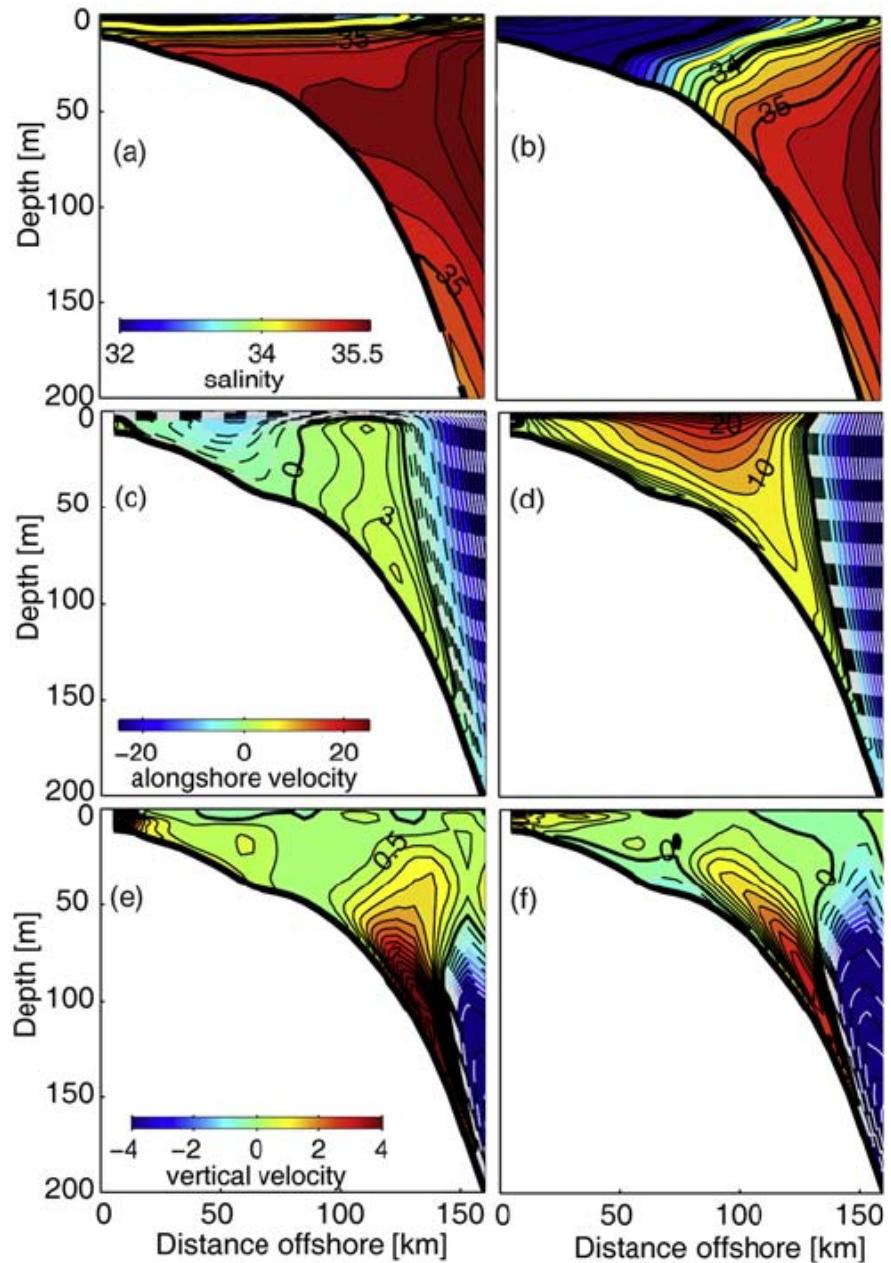


Figura 13: Transectos de salinidade (a,b), velocidade paralela a costa (c,d) e velocidade vertical (e,f) resultantes das simulações de verão (paineis esquerdos) e inverno (paineis direitos) de *Palma et al.* (2008) em 32°S

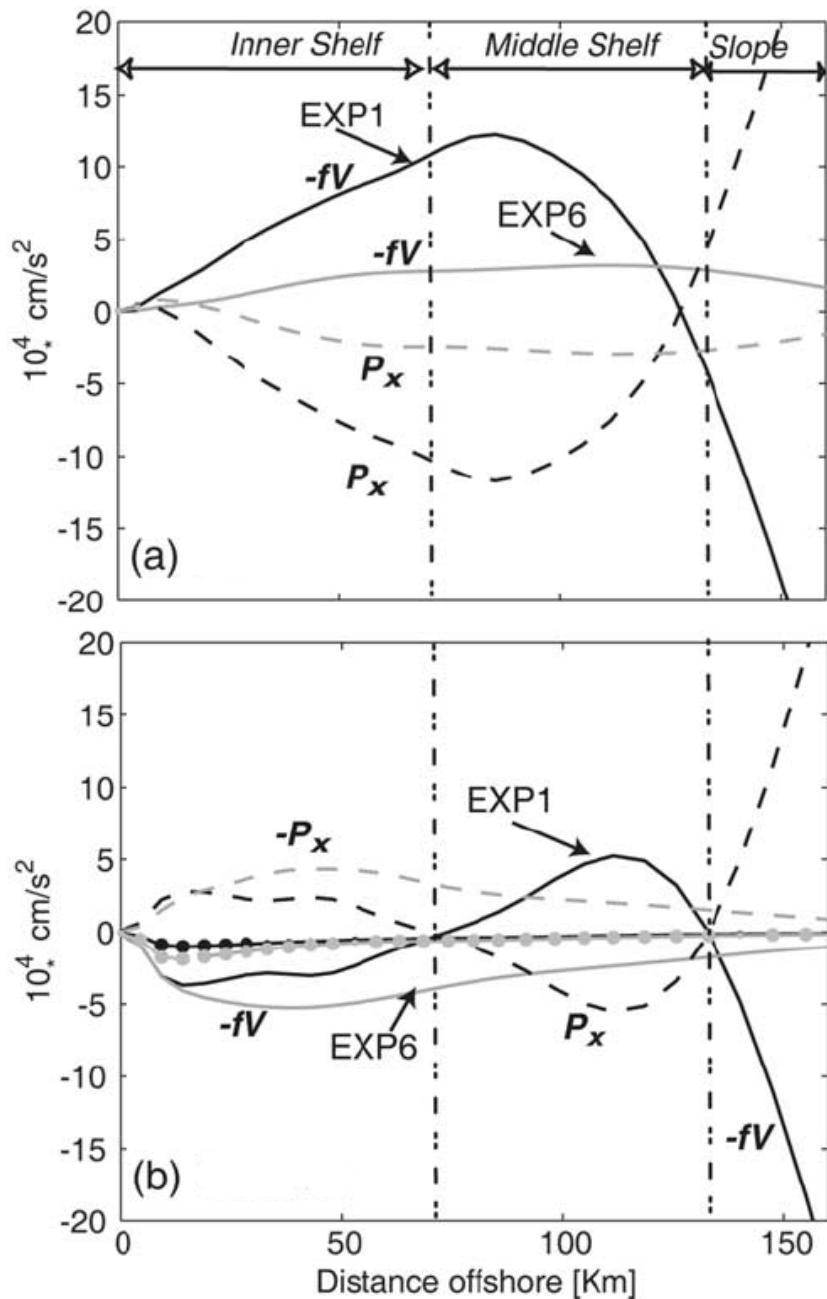


Figura 14: Comparação do balanço de momento, perpendicular à costa, em 32°S, no inverno (a), verão (b) e integrado verticalmente. Simulação de *Palma et al.* (2008) (EXP1) e a simulação do oceano barotrópico forçado pelo vento de *Palma et al.* (2004) (EXP6) estão representados em ambos painéis.

As velocidades modeladas para ambas as estações do ano, ao largo de 32°S corroboram as observações realizadas com correntógrafos fundeados por *Zavialov et al.* (2002) e por derivadores lagrangeanos de *de Souza & Robinson* (2004). Este trabalhos possuem observações de velocidade

comparáveis aos resultados de modelos, sobre a plataforma média. Por fim *Moller et al.* (2008) monitaram uma representação esquemática da circulação da PCSAS baseada em suas análises hidrográficas e observações diretas de velocidade. Tal apresentação encontra-se na Figura 15 e elucida e sumariza o impacto do *Río de la Plata* na PCSAS entre 28°- 40°S.

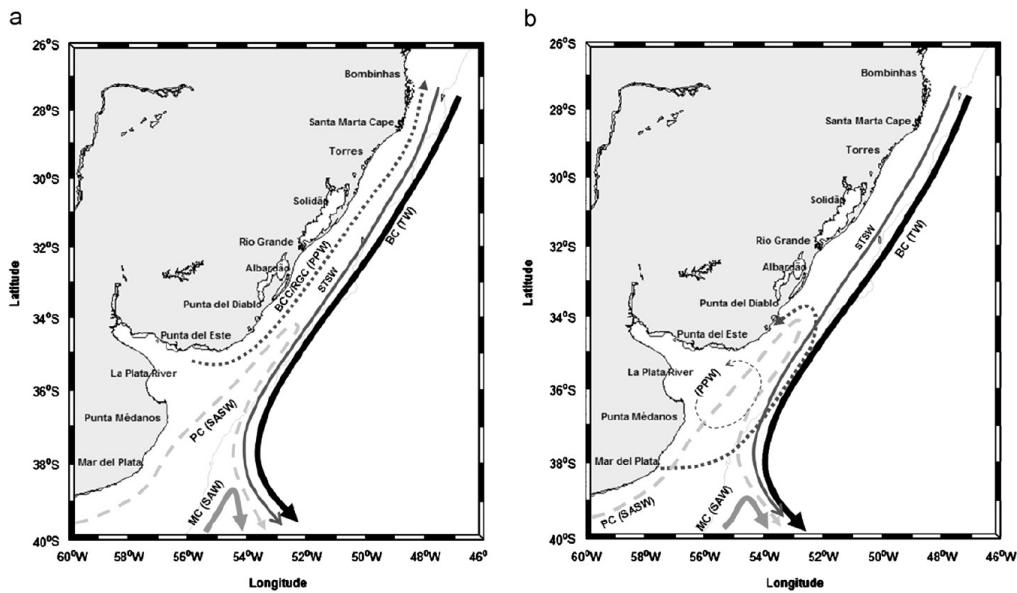


Figura 15: Representação esquemática de *Moller et al.* (2008) da circulação na PCSAS de inverno (a) e verão (b). As singras em inglês correspondem à BCC/RGC: Corrente Costeira Brasileira (*de Souza & Robinson, 2004*); BC: Corrente do Brasil; MC: Corrente das Malvinas; PC: Corrente Patagônica; PPW: Águas da Pluma do Prata; SASW: APS; STSW: APST; TW: AT.

## Referências

- Bisbal, G. A., 1995: The Southeast South American Shelf large marine ecosystem: Evolution and components. *Mar. Policy*, 19(1), 21–38.
- Braga, E. S., V. C. Chiozzini, G. B. B. Berbel, J. C. C. Maluf, V. M. C. Aguiar, M. Charo, D. Molina, S. I. Romero, & B. B. Eichler, 2008: Nutrient Distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter-summer aspects. *Cont. Shelf Res.*, 28, 1649–1661.
- Campos, E. J. D., A. R. Piola, R. P. Matano, & J. L. Miller, 2008: PLATA: A synoptic characterization of the southwest Atlantic shelf under influence of the Plata River and Patos Lagoon outflows. Editorial *Cont. Shelf Res.* 28:1551-1555.
- Carreto, J. I., N. Montoya, R. Akselman, M. O. Carignan, R. I. Silva, & D. A. C. Colleoni, 2008: Algal pigment patterns and phytoplankton assemblages in different water masses of the Río de la Plata maritime front. *Cont. Shelf Res.*, 28(13), 1589–1606.
- Castro, B. M. & L. B. de Miranda, 1998: The Sea. The Global Coastal Ocean - Regional Studies and Syntheses, volume 11, capítulo Physical oceanography of the Western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment, pp 209–251. A R Robinson and K H Brink.
- Ciotti, A. M., C. Odebrecht, G. Fillman, & O. O. Moller, 1995: Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 15(14), 1737–1756.
- de Miranda, L. B., 1972: Propriedades de variáveis físicas das águas da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo. 127pp.
- de Souza, R. B. & I. S. Robinson, 2004: Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. 24, 241–262.

- Eichler, P. P. B., B. K. S. Gupta, B. B. Eichler, E. S. Braga, & E. J. Campos, 2008: Benthic foraminiferal assemblages of the South Brazil: Relationship to water masses and nutrient distributions. *Cont. Shelf Res.*, 28, 1674–1689.
- Emilsson, I., 1959: Alguns aspectos físicos e químicos das águas marinhas brasileiras. *Ciencia e Cultura*, 11(2), 44–54.
- Emilsson, I., 1961: The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Boletim do Instituto Oceanografico*, 11(2), 101–112.
- Glorioso, P. D. & R. A. Flather, 1995: A barotropic model of the currents off SE South America. *J. Geophys. Res.*, 100(C7), 13.427–13.440.
- Haimovici, M., S. D. Pereira, & P. C. Vieira, 1989: La pesca demersal en el sur de Brasil en el período 1975-1985. *Frente Maritimo*, 5(A), 151–163.
- Henrichs, S., N. Bond, R. Garvine, G. Kineke, & S. Lohrenz, 2000: *Coastal Ocean Processes (CoOP): Transport and transformation processes over continental shelves with substantial freshwater inflows*. University of Maryland Center for Environment Science Tech. Rep. TS-237-00. 131 pp.
- Hill, A. E., 1998: The Sea. The Global Coastal Ocean - Processes and Methods, volume 10, capítulo Buoyancy effects in coastal and shelf seas, pp 21–62. A R Robinson and K H Brink.
- Hoflich, O., 1984: Climates of the Oceans, volume 15, capítulo Climate of the South Atlantic, pp 1–132. H Van Loon.
- Lentz, E. J. & R. Limeburner, 1995: The Amazon River Plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. *J. Geophys. Res.*, 100(C2), 2355–2375.
- Moller, O. O., A. R. Piola, A. C. Freitas, & E. J. D. Campos, 2008: The effects of the river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Cont. Shelf Res.*, 28, 1607–1624.

- Palma, E. D., R. P. Matano, & A. R. Piola, 2004: A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. *J. Geophys. Res.*, 109(C08104).
- Palma, E. D., R. P. Matano, & A. R. Piola, 2008: A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. *J. Geophys. Res.*, 113(C11010).
- Pereira, C. S., 1989: Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian continental shelf (29°S-35°S). *Cont. Shelf Res.*, 9, 285–299.
- Pimenta, F. M., A. D. Kirwan, & P. Huq, 2011: On the Transport of Buoyant Coastal Plumes. *J. Phys. Oceanogr.*, 41, 620–640.
- Pimenta, J. M., E. J. D. Campos, J. L. Miller, & A. R. Piola, 2005: A Numerical Study of the Plata River Plume along the Southeastern South American Continental Shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 53, 129–146.
- Piola, A. R., E. J. D. Campos, O. O. Moller, M. Charo, & C. Martinez, 2000: Subtropical Shelf Front off eastern South America. *J. Geophys. Res.*, 105(C3), 6565–6578.
- Piola, A. R., R. P. Matano, E. D. Palma, O. O. Moller, & E. J. D. Campos, 2005: The influence of the Plata River discharge on the wetern South Atlantic shelf. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L01.603.
- Piola, A. R., S. I. Romero, & U. Zajaczkowski, 2008: Space-time vairability of the Plata plume inferred from ocean color. *Cont. Shelf Res.*, 28, 1556–1567.
- Simpson, J. H., W. G. Bos, F. Schirmer, A. J. Souza, T. P. Rippeth, S. E. Jones, & D. Hydes, 1993: Periodic stratification in the Rhine RFOI in the North Sea. *Oceanol. Acta*, 16, 23–32.
- Sunye, P. S. & J. Servain, 1998: Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. *Fisheries Oceanography*, 7, 89–100.
- Trenberth, K. E., W. G. Large, & J. G. Olson, 1990: The mean annual cycle in global wind stress. *J. Phys. Oceanogr.*, 20, 1742–1760.

Vaz, A. C., O. O. Moller, & T. L. Almeida, 2006: Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlantica*, 28, 13–23.

Zavialov, P., O. O. Moller, & E. J. D. Campos, 2002: First direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil. *Cont. Shelf Res.*, 22, 1975–1986.

Zavialov, P. O., A. G. Kostianoy, & O. O. Moller, 2003: SAFARI cruise: Mapping river discharge effects on Southern Brazilian shelf. *Geophys. Res. Lett.*, 30(21).