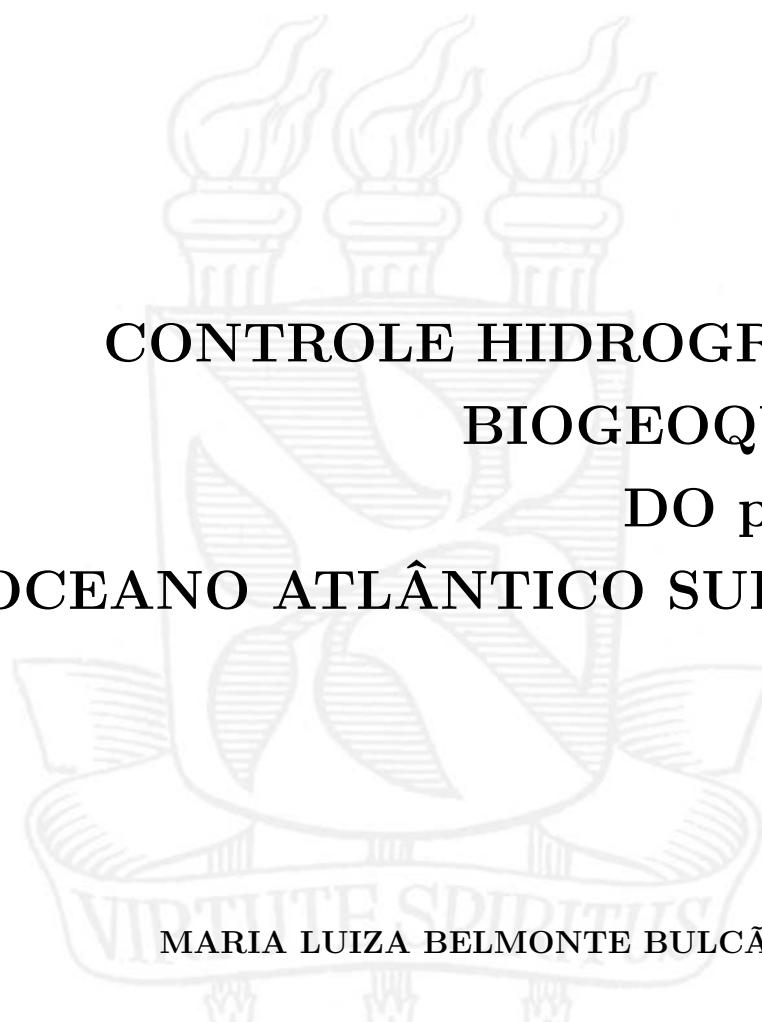


**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**Curso de Pós-graduação em Geofísica**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**



**CONTROLE HIDROGRÁFICO-  
BIOGEOQUÍMICO  
DO pCO<sub>2</sub> NO  
OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE**

**MARIA LUIZA BELMONTE BULCÃO DE MATOS**

**SALVADOR - BAHIA  
JUNHO - 2025**

*Este documento foi produzido com o auxílio do L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.*

# Controle hidrográfico-biogeoquímico do pCO<sub>2</sub> no Oceano Atlântico Sudoeste

por

**MARIA LUIZA BELMONTE BULCÃO DE MATOS**

Oceanografia (UFBA – 2022)

Mestranda em Geofísica (UFBA – 2025)

Documento assinado digitalmente



**LUIS FELIPE FERREIRA DE MENDONCA**

Data: 24/07/2025 20:04:00-0300

Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

**Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Ferreira Mendonça**

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Gonçalves-Araujo

# Controle hidrográfico-biogeoquímico do pCO<sub>2</sub> no Oceano Atlântico Sudoeste

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

**MESTRA EM CIÊNCIAS**

**EM**

**GEOFÍSICA**

ao

Conselho Acadêmico de Ensino

da

Universidade Federal da Bahia

Documento assinado digitalmente



**CARLOS ALESSANDRE DOMINGOS LENTINI**

Data: 25/07/2025 10:44:33-0300

Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

**Comissão Examinadora**



Documento assinado digitalmente

**JULIANA COSTI**

Data: 24/07/2025 20:18:44-0300

Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

**Dr. Carlos Alessandre Domingos Lentini**



Documento assinado digitalmente

**ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS**

Data: 24/07/2025 21:04:44-0300

Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

**Dra. Juliana Costi**

**Dra. Rose Ane Pereira de Freitas**

Aprovado em 17 de junho de 2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI – UFBA.

M433	Matos, Maria Luíza Belmonte Bulcão de Controle hidrográfico-biogeoquímico do pCO <sub>2</sub> no Oceano Atlântico Sudoeste. / Maria Luíza Belmonte Bulcão de Matos. – Salvador, 2025. 39 f.
	Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Ferreira Mendonça Coorientador: Prof. Dr. Rafael Gonçalves-Araújo
	Dissertação (Mestrado em Geofísica aplicado à Oceanografia Física - PGEOFISICA) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2025.
	1. pCO <sub>2</sub> . 2. La Plata River. 3. Southwest Atlantic Ocean. 4. Lei 10639/2003. I. Mendonça, Luis Felipe Ferreira. II. Gonçalves-Araújo, Rafael. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDU 551.46

*A presente pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA, com recursos próprios, da CAPES, H2020, Laboratório de Oceanografia por Satélite (LOS).*

## Resumo

O presente trabalho visa entender e investigar os processos físicos e biológicos que influenciam a variação de pCO<sub>2</sub> no Oceano Atlântico Sudoeste, utilizando dados de modelo numérico fornecidos pelo Copernicus Marine Service. Para tal, foram consideradas séries temporais de SST, SSS, Chl-a e pCO<sub>2</sub> entre final de 2021 até 2024. Durante o verão, a costa e plataforma sul-brasileira apresentam maiores valores de pCO<sub>2</sub>, comparado com o inverno, pela ausência da Água da Pluma da Prata e maior injeção de águas quentes através da Corrente do Brasil. A concentração da Pluma do Rio da Prata é um fator de suma importância nesta região por regular a variação do pCO<sub>2</sub> de forma sazonal, onde sua extensão durante o verão e inverno apresenta uma interferência nas concentrações das variáveis locais. Analisando este efeito sazonal, a distribuição de correntes interfere na distribuição de nutrientes, Chl-a e, consequentemente, pCO<sub>2</sub> ao longo da costa e plataforma, sendo responsável por uma costa com maior produtividade no Outono/Inverno, assim com maior capacidade de absorção e consumo do CO<sub>2</sub>, tornando uma região de baixo pCO<sub>2</sub> onde se correlacionam positivamente com a SST e de SSS.

**Palavras-chave:** pCO<sub>2</sub> , Río de la Plata, Southwest Atlantic Ocean.

## Abstract

This study aims to understand and investigate the physical and biological processes that influence the variability of pCO<sub>2</sub> in the Southwestern Atlantic Ocean, using numerical model data provided by the Copernicus Marine Service. For this purpose, time series of SST, SSS, Chl-a, and pCO<sub>2</sub> were analyzed from late 2021 to 2024. During summer, the southern Brazilian coast and continental shelf exhibit higher pCO<sub>2</sub> values compared to winter, due to the absence of the La Plata River Plume and increased input of warm waters driven by the Brazil Current. The extent of the La Plata Plume is a key factor in this region, as it regulates seasonal variability in pCO<sub>2</sub>. Its spatial influence during summer and winter significantly affects the concentrations of local variables. Analyzing this seasonal effect, the current patterns modulate the distribution of nutrients, Chl-a, and consequently pCO<sub>2</sub> along the coast and shelf. This dynamic leads to enhanced coastal productivity during autumn and winter, as well as greater CO<sub>2</sub> uptake and consumption, characterizing the region as one of low pCO<sub>2</sub>, positively correlated with SST and SSS.

**Keywords:** pCO<sub>2</sub>, Río de la Plata, Southwest Atlantic Ocean.

# Índice

Resumo	5
<b>Abstract</b>	6
Índice	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	9
Lista de siglas	10
Introdução	11
Metodologia	13
Resultados	16
<i>Variabilidade sazonal</i>	16
<i>Variabilidade temporal em localidades selecionadas</i>	22
Discussão	27
Conclusão	31
<b>Referências</b>	32

## **Lista de Figuras**

**Figura 1:** Área do SWAO utilizada para o estudo, com os pontos amostrais e média de pCO<sub>2</sub> final de 2021 até início de 2024.

**Figura 2:** Dados médios de final de 2021 até início de 2024, da variação espacial da SSS (à esquerda) e SST (à direita) para o verão (Dez-Jan-Fev) (superior) e inverno (Jun-Jul-Ago) (inferior).

**Figura 3:** Diagramas T/S dos setores 2 e 3 para águas sobre a plataforma continental (máx. 200m de profundidade).

**Figura 4:** Diagramas T/S dos setores 4 e 5 para águas sobre a plataforma continental (máx. 200m de profundidade).

**Figura 5:** Dados médios de três anos, final de 2021 e até início de 2024, da variação espacial da pCO<sub>2</sub> (esquerda) e Chl-a (direita) para o verão (superior) e inverno (inferior).

**Figura 6:** Variação temporal: Final de 2021 - início de 2024 para as variáveis: SSS (a), SST (b), Chl-a (c) e pCO<sub>2</sub> (d) em cada ponto amostral.

**Figura 7:** Diagramas de dispersão mostrando a correlação entre o pCO<sub>2</sub> e Chl-a (superior), SST (meio) e SSS (inferior) para cada um dos pontos amostrais (P1-P5), considerando as estações de inverno (triângulos azuis), verão (quadrados vermelhos) e as estações de transição (círculos verdes).

**Figura 8:** Máscara da extensão da Pluma do Rio da Prata para o verão (a) e inverno (b) com dados médios de 2021–2023 do pCO<sub>2</sub>.

## **Lista de Tabelas**

**Tabela 1:** Coordenadas geográficas dos pontos amostrais.

**Tabela 2:** Valor médio das correlações ( $r$ ) em cada ponto amostral para cada variável com o  $p\text{CO}_2$  entre 2021 e 2024.

**Tabela 3:** Valor médio das correlações ( $r$ ) em cada ponto amostral para cada variável com o  $p\text{CO}_2$  para cada estação do ano entre 2021 e 2024.

## Lista de siglas

Sigla	Significado em Português (Inglês)
<b>CB</b>	Corrente do Brasil
<b>CCB</b>	Corrente Costeira do Brasil
<b>Chl-a</b>	Concentração molar de clorofila-a na água do mar ( <i>Chlorophyll-a</i> )
<b>CM</b>	Corrente das Malvinas
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono ( <i>Carbon Dioxide</i> )
<b>CSE</b>	Corrente Sul Equatorial
<b>LP</b>	Lagoa dos Patos
<b>pCO<sub>2</sub></b>	Pressão parcial de CO <sub>2</sub> na superfície do oceano ( <i>partial pressure of CO<sub>2</sub></i> )
<b>PP</b>	Pluma da Lagoa dos Patos
<b>PPW</b>	Pluma do Rio da Prata ( <i>Plata Plume Water</i> )
<b>RP</b>	Rio da Prata
<b>SACW</b>	Água Central do Atlântico Sul ( <i>South Atlantic Central Water</i> )
<b>SASW</b>	Água subantártica de plataforma ( <i>Subantarctic Shelf Water</i> )
<b>SBCS</b>	Plataforma continental sul brasileira ( <i>South Brazilian Continental Shelf</i> )
<b>SSS</b>	Salinidade superficial do mar ( <i>Sea Surface Salinity</i> )
<b>SST</b>	Temperatura superficial do mar ( <i>Sea Surface Temperature</i> )
<b>STSF</b>	Frente subtropical de plataforma ( <i>Subtropical Shelf Front</i> )
<b>STSW</b>	Água subtropical de plataforma ( <i>Subtropical Shelf Water</i> )
<b>SWAO</b>	Oceano Atlântico Sudoeste ( <i>Southwest Atlantic Ocean</i> )
<b>TW</b>	Água Tropical ( <i>Tropical Water</i> )

# Introdução

O gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) faz parte dos chamados de gases do efeito estufa, e tem tido suas concentrações intensificadas na atmosfera desde a revolução industrial por conta da queima de combustíveis fósseis e mudanças na utilização do solo pela ação humana (Friedlingstein *et al.*, 2020). Nesse contexto, os oceanos têm atuado para manter o equilíbrio de gases com a atmosfera (Ito *et al.*, 2016), sendo responsáveis pelo sequestro de 1/4 das emissões de carbono antropogênico anualmente (Terhaar *et al.*, 2022). Este processo altera as propriedades químicas dos oceanos, a exemplo da diminuição do pH e, consequentemente, o ambiente marinho, impactando a biodiversidade e ecologia local, segurança alimentar e economia de países dependentes de recursos marinhos, tais como a pesca e aquicultura (Doney *et al.*, 2009).

A capacidade de absorção de  $\text{CO}_2$  pelos oceanos se dá principalmente pela combinação das variáveis físicas locais como Temperatura Superficial do Mar (SST) e Salinidade Superficial do Mar (SSS), usadas como traçadores para identificar distintas massas d'água encontradas em uma determinada região (Matano *et al.*, 2010). Estas características, assim como o caráter biogeoquímico local, podem indicar região de fonte ou sumidouro de gases e nutrientes. O Oceano Atlântico é o sumidouro de  $\text{CO}_2$  mais importante entre os oceanos, sendo responsável por aproximadamente 60% da absorção total (Terhaar *et al.*, 2022). Na região de quebra de plataforma no Oeste do Oceano Atlântico Sul, a Corrente do Brasil (CB) é formada através da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) em 10°S, e flui para sul ao longo da quebra de plataforma até a região da Confluência Brasil-Malvinas, localizada em aproximadamente 38°S (Olson *et al.*, 1988; Piola *et al.*, 2001). A CB transporta para o sul a Água Tropical (TW), com temperaturas superiores a 20°C e SSS acima de 36 (Cirano *et al.*, 2006; Emilson, 1961) devido à intensa radiação e ao excesso de evaporação em relação à precipitação. Na confluência com a Corrente das Malvinas (CM) ocorre a formação da Água Central do Atlântico Sul (SACW), que é caracterizada por sua alta SSS, entre 34,6 e 36 (Stramma & England, 1999).

A circulação sobre a plataforma continental sul brasileira (SBCS) tem caráter sazonal, devido principalmente ao padrão local de ventos. Durante o verão, a SBCS é ocupada pela Água Subtropical de Plataforma, quente e salina, que flui do Norte para o Sul (Palma & Matano, 2009). Nos meses de outono e principalmente inverno, ventos do quadrante sul, associados a sistemas frontais e ciclogêneses, geram um fluxo de águas frias e menos salinas para o norte, devido a advecção da Água Subantártica de Plataforma (SASW) e a Pluma do Rio da Prata (PPW) (Piola *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2008). Essa advecção da SASW gera uma transição termo-halina entre ela e a Água subtropical de Plataforma (STSW), denominada Frente Subtropical de Plataforma (STSF) em torno de 33°S, que abastecida pelas águas do rio da Prata, ocupa boa parte da SBCS (Piola & Rivas, 1997). Nesta

região, a PPW e pluma da lagoa dos Patos (PP) são importantes fontes de nutrientes para SBCS, especialmente nos meses de inverno, devido a maior precipitação (Burrage *et al.*, 2008). A mistura da SASW e da PPW ocorre através de uma corrente de caráter fortemente sazonal, chamada Corrente Costeira do Brasil (CCB). Esta corrente é regida pelo regime local de ventos de sul e a vazão de descarga dos sistemas hídricos do Prata e Patos, criando um perfil termohalino com características baroclínicas únicas sobre a plataforma continental sul brasileira e uruguaia (Matano *et al.*, 2014; Mendonça *et al.*, 2017).

A variabilidade sazonal, afeta a SSS local, sugerindo que as concentrações de nutrientes e a solubilidade dos gases também acompanhem uma variação sazonal (Mendonca *et al.*, 2023). A extensão da PPW sobre a plataforma, em direção ao norte, gera gradientes baroclínicos próximo a desembocadura, durante o verão, porém os fluxos turbulentos mantêm uma coluna d'água homogênea sobre praticamente toda a SBCS (Moller *et al.*, 2008; Mendonca *et al.*, 2017). Nos meses de outono e inverno a distribuição vertical de nutrientes cresce com uma maior biodisponibilidade, estimulando o aumento da produtividade primária e diversidade da comunidade planctônica (Braga *et al.*, 2008; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2018). Mesmo com coluna d'água homogênea, a distribuição de biomassa planctônica é normalmente irregular na superfície do oceano por conta da combinação da dinâmica dos processos físicos, disponibilidade de nutrientes e respostas a interações biológicas (Gargett, 1991; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2018; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2019).

Os rios, além de influenciarem diretamente na SSS local dos oceanos, consistem em importantes fontes de carbono (C), alguns nutrientes como fosfato (P), nitrogênio (N), silício (Si) e ferro (Fe), estimulando o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2018) e também influenciando na absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico (Seitzinger *et al.*, 2005, 2010; Dürr *et al.*, 2011; Beusen *et al.*, 2009; Tréguer & De La Rocha, 2013; Beusen *et al.*, 2016). O que também contribui para a liberação de CO<sub>2</sub>, especialmente em regiões com alta razão entre carbono inorgânico dissolvido (DIC) e Alcalinidade de origem fluvial (Amiotte Suchet and Probst, 1995; Lacroix *et al.*, 2020; Meybeck and Vörösmarty, 1999; Hartmann *et al.*, 2009). O que pode aumentar a pressão parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) e a emissão de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo (Lacroix *et al.*, 2020), interferindo diretamente na distribuição de plâncton da região, uma vez que a variação da quantidade de pCO<sub>2</sub> na água do mar influência no afloramento de diferentes comunidades fitoplanctônicas, por cada comunidade ter seu melhor desenvolvimento com diferentes níveis de pCO<sub>2</sub> (Litchman *et al.*, 2015).

Ito *et al.* (2016) apresentaram que o Oceano Atlântico Sudoeste (SWAO), atuou como uma fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, durante o período em que sua magnitude variou significativamente de norte para sul, devido a processos físicos e à ressurgência de verão que fornece nutrientes, onde a produção primária e a SST foram fatores de maior relevância na variação de CO<sub>2</sub>. Essa variação, também é influenciada pelas correntes e

vórtices nas áreas de quebra de plataforma, agindo na liberação de CO<sub>2</sub>, por conta da sua capacidade de transportar calor e sal, além de propriedades biogeoquímicas da sua área de formação (Orselli *et al.*, 2016).

Carvalho *et al.* (2021), indicaram a existência de grupos dominantes de fitoplâncton quanto a absorção de CO<sub>2</sub>, apresentando as diatomáceas e haptófitas como grupos dominantes (Pereira *et al.*, 2014; Margalef, 1978), suportando altas concentrações de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, no SWAO em 35°S, foi observado um aumento da disponibilidade de nutrientes, o que desencadeou um aumento das diatomáceas, responsáveis pela absorção de CO<sub>2</sub> local. Nesta mesma região Gonçalves-Araujo *et al.* (2018), indicaram altas concentrações de biomassa (Chl-a) associada a PPW, ocorrendo sua diminuição em direção a TW, onde também foi determinada uma maior contribuição de diatomáceas na região da PPW. Essa região de deságue do Rio da Prata (RP) e da Lagoa dos Patos (LP), contribui para o aumento da concentração de Chl-a local, especialmente durante a primavera e inverno, fornecendo nutrientes ao local, e consequentemente o afloramento de comunidades fitoplanctônicas (Ciotti *et al.*, 1995; Ciotti *et al.*, 2010).

Liutti *et al.* (2021) utilizaram dados observacionais, de sensoriamento remoto, para compreender a distribuição espacial e variabilidade sazonal dos principais impulsionadores da fugacidade do CO<sub>2</sub> (fCO<sub>2</sub>) (pCO<sub>2</sub> corrigido para o comportamento real do gás) no SWAO. Através desse estudo, concluíram que a SST é a variável que tem maior impacto no fCO<sub>2</sub>, com uma correlação negativa, seguido do carbono inorgânico dissolvido (DIC) e da alcalinidade. A Chl-a demonstrou uma baixa correlação com fCO<sub>2</sub>, sendo negativa na primavera-verão e positiva no outono-inverno. Apesar de haver uma variabilidade sazonal, o sistema de ressurgência costeira torna a variação da fCO<sub>2</sub> na água do mar mais lenta, uma vez que ressurgem águas frias e ricas em nutrientes sob as águas quentes do verão do hemisfério Sul. Também foi abordado que a STSF controla a oscilação da concentração de CO<sub>2</sub> através da variação sazonal da PPW ao longo da plataforma continental uruguaiã e sul brasileira.

Tendo abordado inicialmente a importância do CO<sub>2</sub> no SWAO e como as variáveis físico-bioquímicas influenciam na absorção deste elemento, este estudo visa analisar a sazonalidade do pCO<sub>2</sub> sobre a plataforma continental sudoeste brasileira, utilizando dados do modelo NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean). Buscamos avaliar quais variáveis modulam o fluxo de CO<sub>2</sub> oceânico sobre a SBCS e com um foco principal hidrográfico, analisando como essa variável se comporta com a sazonalidade da extensão da PPW na costa.

## Metodologia

Com relação às possíveis metodologias a serem aplicadas neste estudo, consideramos os diferentes processos que afetam a distribuição espacial do pCO<sub>2</sub> na superfície da água do

mar em zonas costeiras, sendo eles: (1) os efeitos termodinâmicos, controlados pela SST na dissociação e solubilização do CO<sub>2</sub> e pela correlação positiva da mesma com o pCO<sub>2</sub> (Takahashi *et al.*, 2002); (2) a variabilidade na correlação entre pCO<sub>2</sub> e SST associada a processos de ressurgência costeira e vórtices (Chen *et al.*, 2007; Lefèvre *et al.*, 2002); (3) difusão de gases como responsável por reduzir o pCO<sub>2</sub> quando a concentração de CO<sub>2</sub> na água estiver maior que a da atmosfera e vice-versa; (4) processos biológicos de absorção do CO<sub>2</sub> pelo fitoplâncton através da fotossíntese. Nesse estudo apenas foram considerados os efeitos termodinâmicos (1) e os processos biológicos (4).

As propriedades termohalinas foram investigadas com base nos parâmetros SSS e SST, extraídos do produto de reanálise *Global Ocean Physics Analysis and Forecast* (Product ID: GLOBAL\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_001\_024), distribuído pelo Copernicus Marine Service (CMEMS). Os dados são gerados com resolução horizontal de 1/12 de grau, 50 níveis verticais de 0 a 5500 metros com médias diárias e mensais.

Os parâmetros biogeoquímicos analisados foram estimados com o produto *Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast (GOAF)* (Product ID: GLOBAL\_ANALYSIS FORECAST\_BGC\_001\_028), também distribuído pelo CMEMS. Os dados são distribuídos com resolução horizontal de 1/4 de grau, 50 níveis verticais entre 0 e 5700 m, e uma série temporal utilizada foi de novembro de 2020 a junho de 2024, com dados médios mensais e diárias. Os parâmetros considerados foram a concentração molar de Chl-a na água do mar (Chl-a) e a pressão parcial de CO<sub>2</sub> na superfície do oceano (pCO<sub>2</sub>).

Neste estudo foram consideradas análises sazonais que utilizaram dados mensais das variáveis consideradas durante o período de novembro de 2020 a junho de 2024. A escolha deste período baseou-se na data mais antiga de disponibilidade de dados fornecida pelo Marine Copernicus, considerando o ponto amostral com a menor série temporal, e estendendo-se até o final do outono de 2024, período determinado para a finalização da recuperação de dados. A área de estudo está limitada entre as latitudes 20° e 40° S e longitudes 40° e 60° W (Figura 1), a área foi escolhida com base na extensão da pluma do Rio da Prata (PPW), uma região caracterizada por elevada variação anual das correntes, as quais influenciam diretamente a dispersão da pluma e, consequentemente, a variação da nossa variável de estudo (pCO<sub>2</sub>).

O processamento dos dados foi realizado em linguagem Python através de arquivos no formato netCDF4. Esses foram analisados e processados via biblioteca *xarray*, as médias anuais e sazonais foram realizadas pela biblioteca *numpy*, os gráficos de mapa, T/S e séries temporais foram gerados com a biblioteca *cartopy* e *matplotlib.pyplot* e as características visuais dos gráficos foram gerados com a *cmocean*.

Buscamos através da distribuição dos pontos amostrais, analisar a variação sazonal das variáveis em cada região e como elas se relacionam com o pCO<sub>2</sub>, durante o período de atuação da corrente costeira sobre a Plataforma Continental Sul Brasileira (SBCS).

Table 1: Coordenadas geográficas dos pontos amostrais.

<b>Pontos</b>	<b>Longitude (° W)</b>	<b>Latitude (° S)</b>
P1	47.496	25.418
P2	48.585	28.827
P3	51.230	31.662
P4	55.263	36.268
P5	57.788	38.818

Os cinco pontos amostrais (figura 1, tabela 1) foram definidos e posicionados sobre a plataforma continental com objetivo de avaliar as áreas sob suposta influência total, parcial e sem influência da PPW, visando avaliar a variabilidade temporal em regiões sob diferentes regimes hidrográficos, considerando o avanço das águas da PPW sobre a SBCS. Inicialmente foram escolhidos dois pontos amostrais, os que estariam sofrendo influência direta de águas continentais, sendo eles o P3 sobre influência da Lagoa dos Patos e P4 sobre influência do Rio da Prata, já P2 e P5 foram escolhidos como pontos próximos que sofrem influência mas não durante todo o ano e o P1 foi escolhido como ponto controle na região, a distância entre os mesmos foi escolhida de forma aleatória e o distanciamento da costa foi escolhido como o ponto com maior proximidade da costa que obtivesse maior quantidade de dados na série temporal escolhida.

Os 5 pontos amostrais são similares as regiões estudadas por Piola *et al.* (2008), Palma & Matano (2014) e Mendonça *et al.* (2017), além de serem previamente caracterizadas por Souza & Robinson (2004), Moller *et al.* (2008) e Palma *et al.* (2008) como sob forte influência da Corrente Costeira do Brasil durante os períodos de outono e inverno. Adicionalmente, também colocamos em análise alguns pontos que não estão sob influência do rio, para observar qual comportamento sem essa variável e em região sazonalmente com predominância de águas quentes (Ponto 1) e frias (Ponto 5).

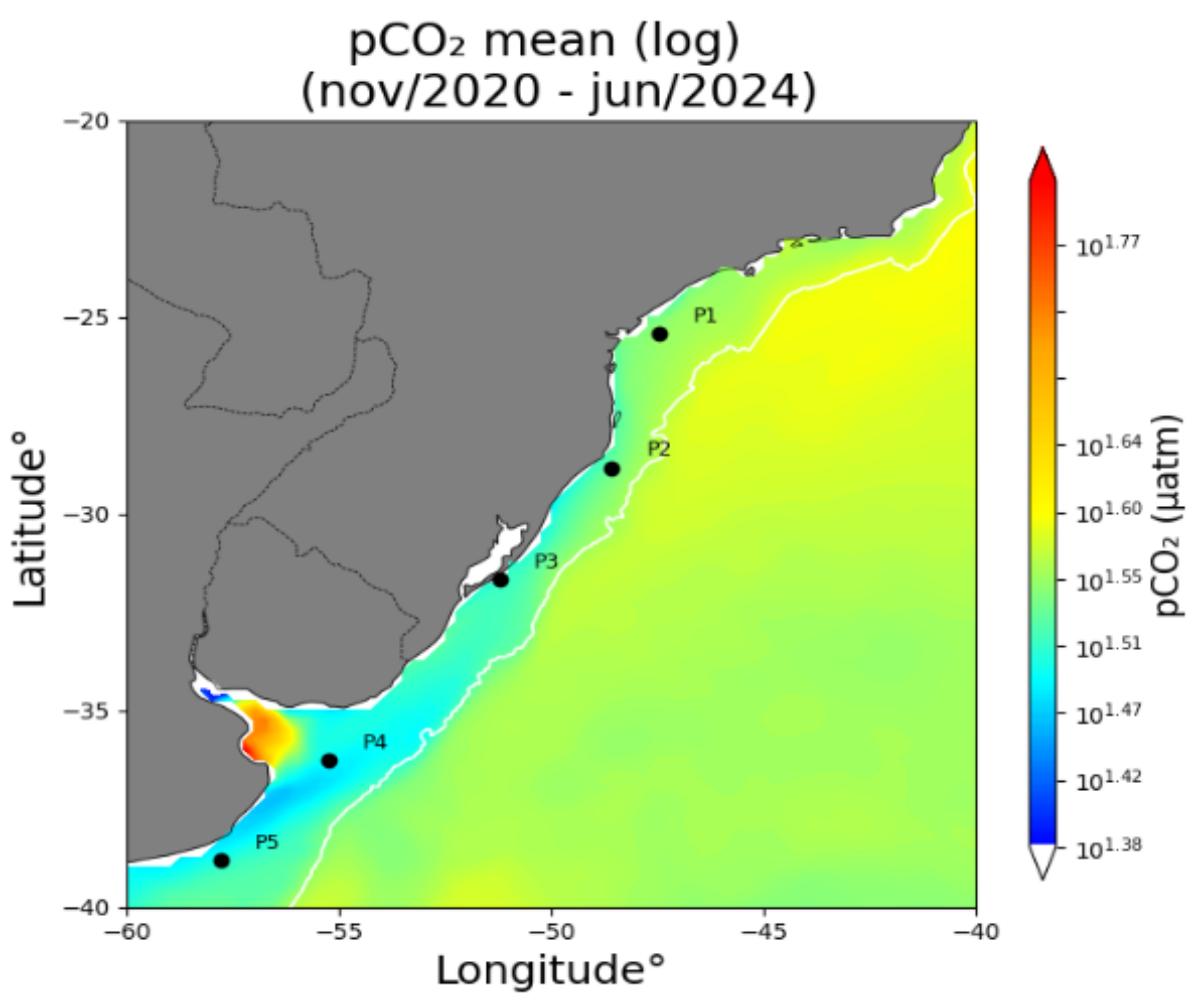


Figure 1: Área do SWAO utilizada para o estudo, com os pontos amostrais e variação espacial dos dados médios de pCO<sub>2</sub> no período de nov/2020 - jun/2024. Linha batimétrica de 200 metros (linha branca).

## Resultados

### *Variabilidade sazonal*

Para todas as variáveis estudadas foi observado, nas figuras 2 e 5, uma diferença significativa de valores em escala espacial, fornecida pelo modelo, entre as estações de verão e inverno. Do verão para o inverno o pCO<sub>2</sub> diminui, a SST diminui, a SSS diminui e a Chl-a aumenta, para a área de estudo, para a região offshore o pCO<sub>2</sub> e a SST diminuem, enquanto a SSS e Chl-a aumentam.

Os valores de SST (Figura 2) têm sua variação sazonal característica já descrita na literatura (Talley *et al.*, 2011; Monetti *et al.*, 2002;), de acordo com a variação observada entre os pontos amostrais, no verão de 26°C e 19°C e no inverno de 21°C e 11°C aproximadamente, podendo esse apporte significativo de águas frias no inverno resultar

em uma maior concentração de nutrientes. No verão, a Água subtropical de Plataforma (STSW) mantém as temperaturas acima de 21°C até 37°S, enquanto no outono e inverno essa mesma isothermal se encontra ao norte de 32°S. Águas de baixas temperaturas (e.g., 15°C) que no verão alcançam apenas até 40°S de latitude pode alcançar até 32°S na costa durante o inverno.

A SSS apresenta valores significativamente menores sob toda a foz do Rio da Prata (RP), conhecido por ser um estuário hipossalino (Piola *et al.*, 2005) com um processo gradual de diluição em direção ao oceano aberto (Figura 2a). Sazonalmente a SSS tem uma variação significativa na costa, onde no verão os menores valores são encontrados na saída do RP e estendidos ao norte até a latitude 33°S. No inverno essa diminuição da SSS na costa alcança até aproximadamente 29°S. Além desta variação meridional, também ocorre a variação zonal, onde aparentemente ocorre uma diminuição no inverno, com valores menores na região da plataforma, e um aumento significativo após a região compatível com a quebra de plataforma (Isóbata de 200m). No inverno, são encontrados valores menores que 32 de SSS na costa brasileira, enquanto no verão são encontrados, para a mesma região, valores próximos a 35 de SSS, apresentando uma variação sazonal significativa para os pontos P2, P3 e P4.

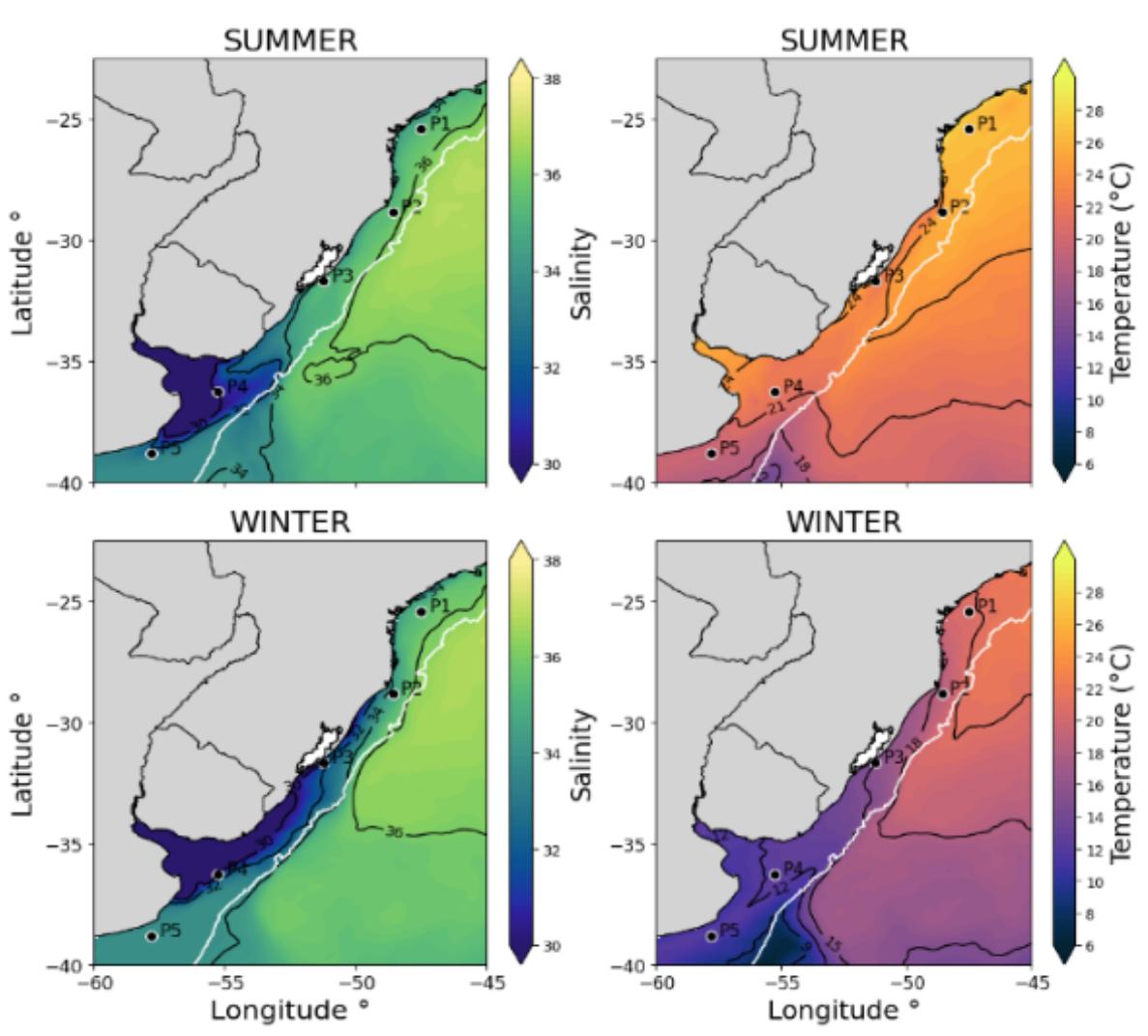


Figure 2: Variação espacial dos dados médios da SSS (a esquerda) e SST (a direita) para o verão (Dez-Jan-Fev) (superior) e inverno (Jun-Jul-Ago) (inferior), no período de nov/2020 - jun/2024. Linha batimétrica de 200 metros (linha branca).

Durante o verão, os diagramas T/S dos P2 e P3 (Figura 3), próximos à ao litoral do estado do Rio Grande do Sul, revelam a predominância da STSW e da Água Tropical (TW) sobre as camadas superficiais. A STSW, caracterizada por SST mais elevadas e SSS moderada, é intensificada pela maior insolação e estratificação térmica da estação. Os ventos de nordeste, predominantes nesta época do ano, impedindo a presença da Pluma do Rio da Prata (PPW) no P2, enquanto o P3 registra ela diluída sobre a STSW, predominantemente em superfície. A estratificação vertical e o transporte de Ekman sobre a plataforma, inicialmente citados em Piola *et al.* (2000), Moller *et al.* (2008), Matano *et al.* (2014) e Mendonça *et al.* (2017), mostra a ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (SACW) sobre esta região, com maior intensidade em áreas onde a plataforma continental é mais larga. No inverno, observa-se uma mudança significativa na estrutura da coluna d'água. A redução da insolação e o aumento da ação dos ventos de sul promovem uma

maior mistura vertical, permitindo a intrusão da PPW sobre as camadas superiores. A PPW, mais fria e rica em nutrientes, substitui parcialmente as águas superficiais, aumentando a concentração de chl a na região. Essa dinâmica é evidenciada nos diagramas T/S, que mostram uma diminuição na SST e uma redução na SSS das camadas superiores.

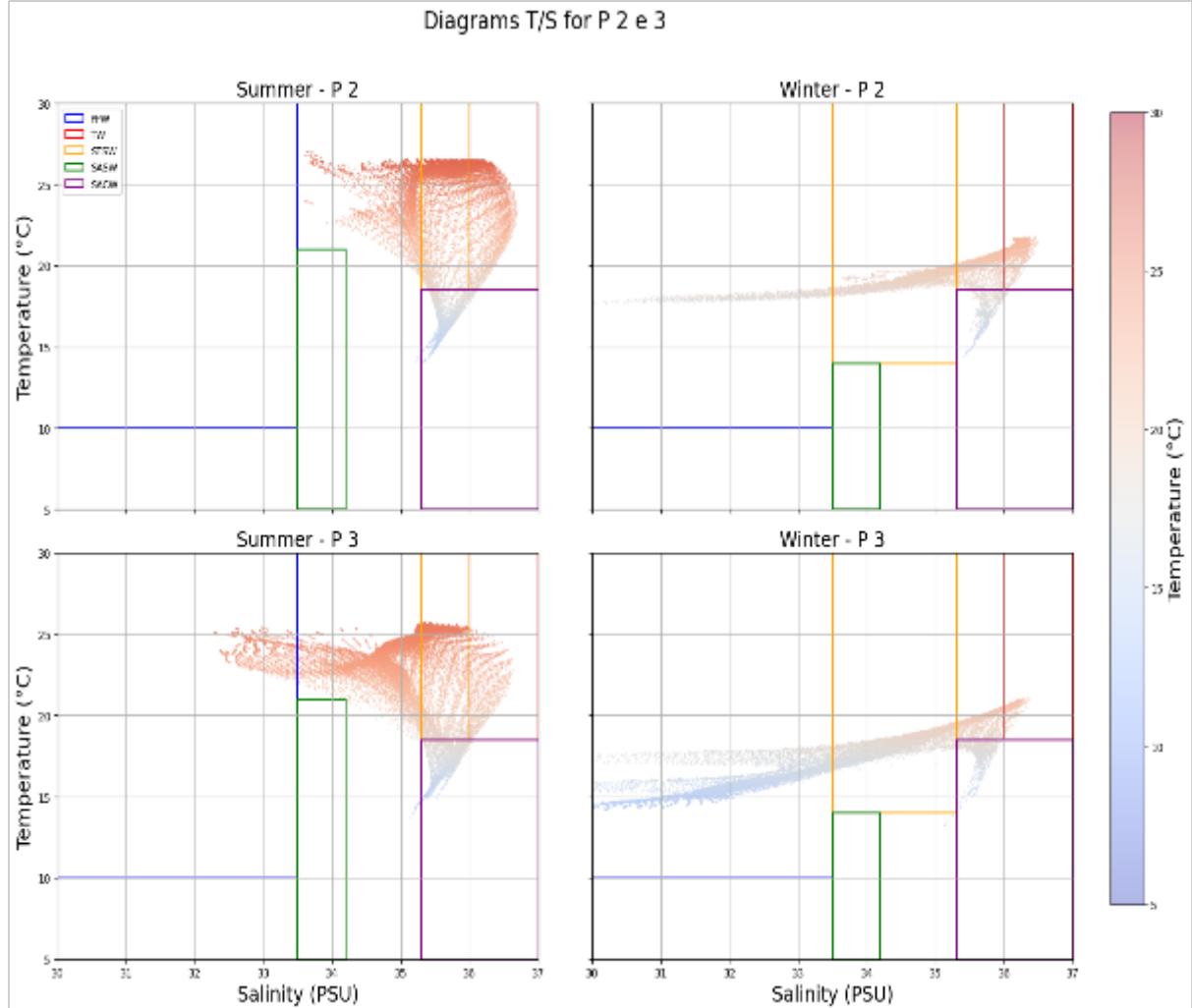


Figure 3: Diagramas T/S dos Pontos 2 e 3 para águas sobre a plataforma continental (max. 200m de profundidade).

Os diagramas T/S para os pontos mais ao sul da plataforma continental (P4 e P5), apresentam uma assinatura clara da influência da PPW nas camadas superficiais, especialmente durante o verão (Figura 4). O predomínio de SSS muito baixas ( $<33.5$  PSU) combinado com SST relativamente elevadas ( $>18$  °C) configura uma estratificação pronunciada na coluna d'água, com acúmulo de águas continentais menos densas na superfície. Essa condição é evidenciada quando o escoamento fluvial se intensifica e a estratificação térmica impede a mistura com massas d'água mais densas e profundas, como a SACW. Durante o inverno, essa estrutura se altera pois a SST diminui em toda a coluna e a

SSS aumenta, refletindo a retração da pluma e a intensificação da Água Subantártica de Plataforma (SASW) somado a mistura vertical induzida por ventos e resfriamento atmosférico. A entrada dessa massa d'água, rica em nutrientes, é crítica para a fertilização da plataforma e pode promover floramentos fitoplânctônicos intensos.

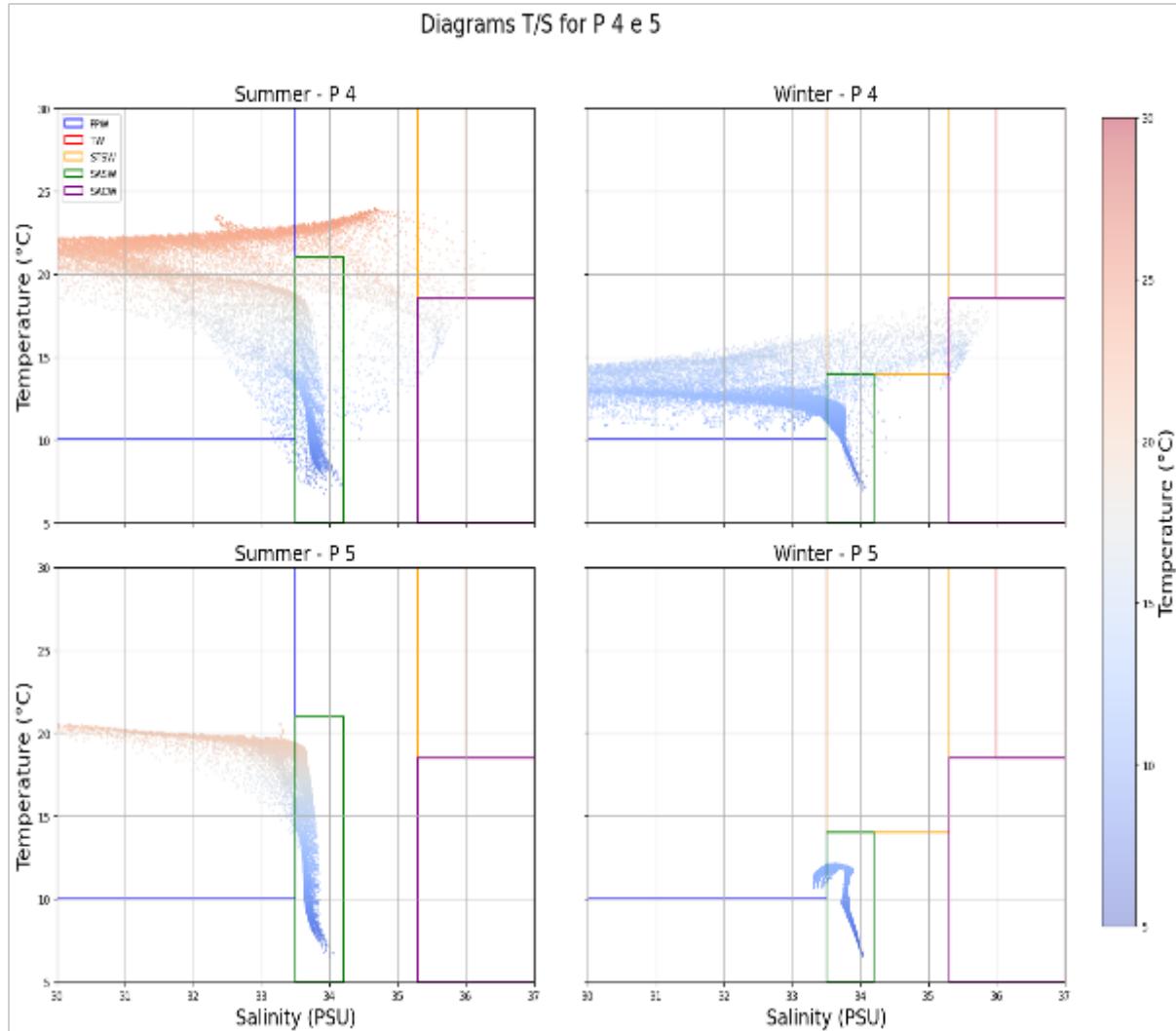


Figure 4: Diagramas T/S dos Pontos 4 e 5 para águas sobre a plataforma continental (max. 200m de profundidade).

Os mapas de médias sazonais mostram características contrastantes para  $p\text{CO}_2$  e SST (Fig. 5 e 2). Durante o verão, os maiores valores de  $p\text{CO}_2$  foram observados no estuário da Prata, nas proximidades da cidade de Buenos Aires e na saída do RP. Nesta época do ano, observamos os menores valores de  $p\text{CO}_2$  próximo a foz do RP (Figura 5a). Sobre a plataforma continental os valores de  $p\text{CO}_2$  acompanham o padrão oceânico, sem reduções ou mudanças significativas em toda a área de grade, variando entre 35 e 45  $\mu\text{atm}$ . No inverno, é observado a diminuição de  $p\text{CO}_2$  sobre a plataforma continental, juntamente com a redução da SST e SSS, com o aumento da chl-a em grande parte da plataforma

continental sul brasileira (SBCS), com valores de pCO<sub>2</sub> entre 25 e 30  $\mu\text{atm}$ . Essa estratificação impede a mistura vertical, limitando a ressurgência de águas mais profundas e, consequentemente, a disponibilidade de nutrientes na superfície.

De forma geral, as concentrações de Chl-a apresentam pequenas variações durante o verão sobre toda a SBCS, com maiores concentrações em águas costeiras e na plataforma interior (prof. < 100m). No período de inverno o bloom fitoplanctônico sobre a SBCS e o Oceano Atlântico Sudoeste (SWAO) é intensificado e chega a valores próximos de 6 mg/m<sup>3</sup> próximo a foz do RP, ou seja, próximo ao P4, sendo os menores valores encontrados em P1 e P2. Espacialmente, a concentração de Chl-a no verão fica marcadamente maior na costa, entre as latitudes 35°S e 37,5°S e na plataforma em regiões mais ao sul (Figura 5b), no inverno esses valores se estendem ao longo da costa podendo alcançar latitudes entre 30°S e 36,5°S, aproximadamente.

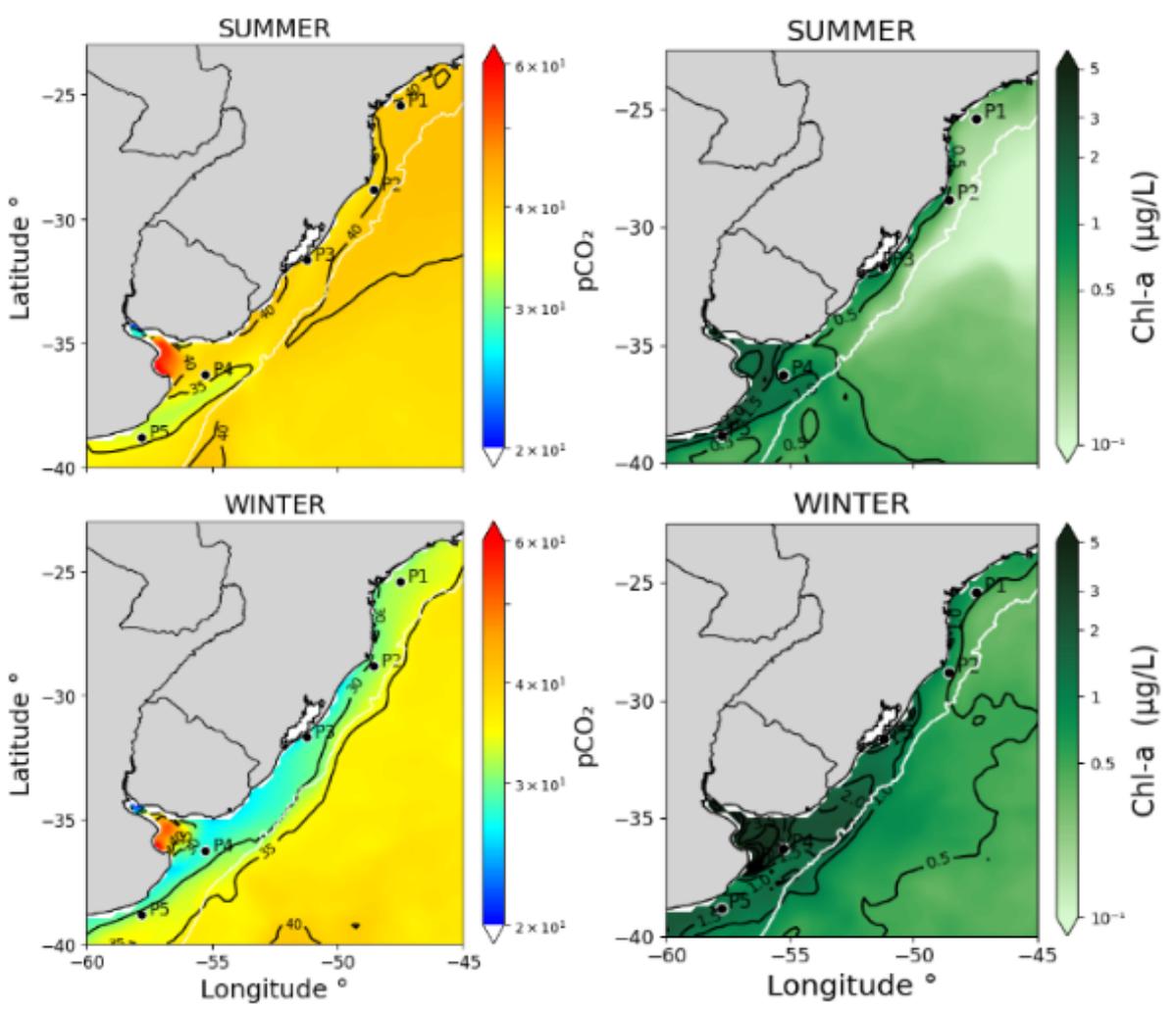


Figure 5: Variação espacial dos dados médios da da  $p\text{CO}_2$ (a esquerda) e Chl-a(a direita) para o verão (Dez-Jan-Fev) (superior) e inverno (Jun-Jul-Ago) (inferior), no período de nov/2020 - jun/2024. Linha batimétrica de 200 metros (linha branca).

### Variabilidade temporal em localidades selecionadas

Nesta sessão serão apresentados os resultados referentes às séries temporais dos parâmetros relevantes (SSS, SST, Chl-a e  $p\text{CO}_2$ ) para cada um dos 5 pontos selecionados ao longo da área de estudo. Cada variável tem o ciclo temporal que abrange do final de 2021 ao meio de 2024.

Ao longo da série temporal de P1, a SSS tem uma baixa variação, alcançando valor máximo de 36.7 e mínimo de 33.9. A SST apresentou uma variação significativa de aproximadamente  $14^\circ\text{C}$ , onde o valor máximo registrado foi de  $29.3^\circ\text{C}$  e o mínimo de  $14.7^\circ\text{C}$ . A Chl-a apresentou uma baixa variação, onde os valores foram de praticamente nulos para  $1.82 \text{ mg/m}^3$ . O  $p\text{CO}_2$  variou pouco mais de  $13 \mu\text{atm}$ , apresentando valor máximo em  $43.9 \mu\text{atm}$  e mínimo de  $30.7 \mu\text{atm}$ . Neste ponto a PPW não se faz presente em nenhuma das estações do ano, durante o período estudado (Figura 8).

O P2 já é uma região que apresenta uma variação um pouco maior da SSS, indicando valor máximo de 36.5 e mínimo de 31.4. Para a SST foi encontrado valor máximo de 27.9°C e mínimo de 14.1°C. A Chl-a se manteve com baixa variação, apresentando valores mínimos próximos do nulo e máximos em 1.3 mg/m<sup>3</sup>. Para o pCO<sub>2</sub> foi registrado valores máximos de próximo a 42.1  $\mu$ atm e mínimo de 28.4  $\mu$ atm. A PPW neste ponto é observada com uma pequena influência apenas para o Inverno (Figura 8).

A partir do ponto 3, a SSS começou a apresentar uma maior variação, onde o valor mínimo encontrado foi de 29.5 e o máximo de 36.1. A SST apresentou valor máximo de 26.5 °C e mínima de 13.1°C. Agora a Chl-a também começa a apresentar uma maior variação entre os valores máximos e mínimos, onde o maior foi de 2.7 mg/m<sup>3</sup> e o menor de 0.2 mg/m<sup>3</sup>. O pCO<sub>2</sub> registrou valor máximo de 42.0  $\mu$ atm e mínimo de 26.4  $\mu$ atm. Este ponto é observado uma grande interferência da PPW, porém apenas no Inverno (Figura 8b).

No P4 a variação temporal de todas as variáveis é marcada com padrões perceptíveis, marcados principalmente pela sazonalidade, a SSS apresenta maior valor de 33.7 e menor valor de 24.4. A SST apresenta uma diferença de aproximadamente 15°C, onde a SST mais elevada foi indicada como 25.2°C e a menor com 10.6°C. A partir desse ponto a Chl-a começa a ter uma variação mais intensa, onde são encontrados os maiores valores dentre os pontos analisados, atingindo valor máximo de 5.5 mg/m<sup>3</sup> e mínimo de 0.2 mg/m<sup>3</sup>. O pCO<sub>2</sub> alcança nesse ponto os valores mais baixos, sendo o valor mínimo de 22.2  $\mu$ atm e máximo de 48.3  $\mu$ atm. Onde se encontra o P4 a PPW tem uma interferência constante, em todas as estações do ano (Figura 8).

O ponto 5 encontra-se sobre a plataforma continental argentina, no qual a PPW passa a ter influência somente nos meses de verão, quando ventos do quadrante nordeste deslocam para sul as águas menos salinas. Onde são encontrados valores de SSS constantes com alguns picos de valores mínimos, sendo o maior valor encontrado 34.11 e o menor valor 26.62. Para a SST foram encontradas as menores SST durante todo o período, onde a maior foi registrada com 23.9°C e menor com 9.9 °C. A Chl-a neste ponto destoa do padrão dos demais pontos, em relação a momento de pico, onde os maiores valores foram encontrados junto com o aumento da SST e do pCO<sub>2</sub> e não nos seus menores valores como ocorre nos demais pontos, foi registrado seu maior valor em 4.1mg/m<sup>3</sup> e menor em 0.33 mg/m<sup>3</sup>. Os valores de pCO<sub>2</sub> neste ponto mantiveram também o padrão, como nos outros pontos, de menores valores no inverno e maiores no verão, onde o maior valor identificado ficou em 34.1  $\mu$ atm e o menor em 26.6  $\mu$ atm. Neste ponto a PPW tem uma maior influência no verão e no inverno sua aparição no ponto é nula ou bem baixa (Figura 8).

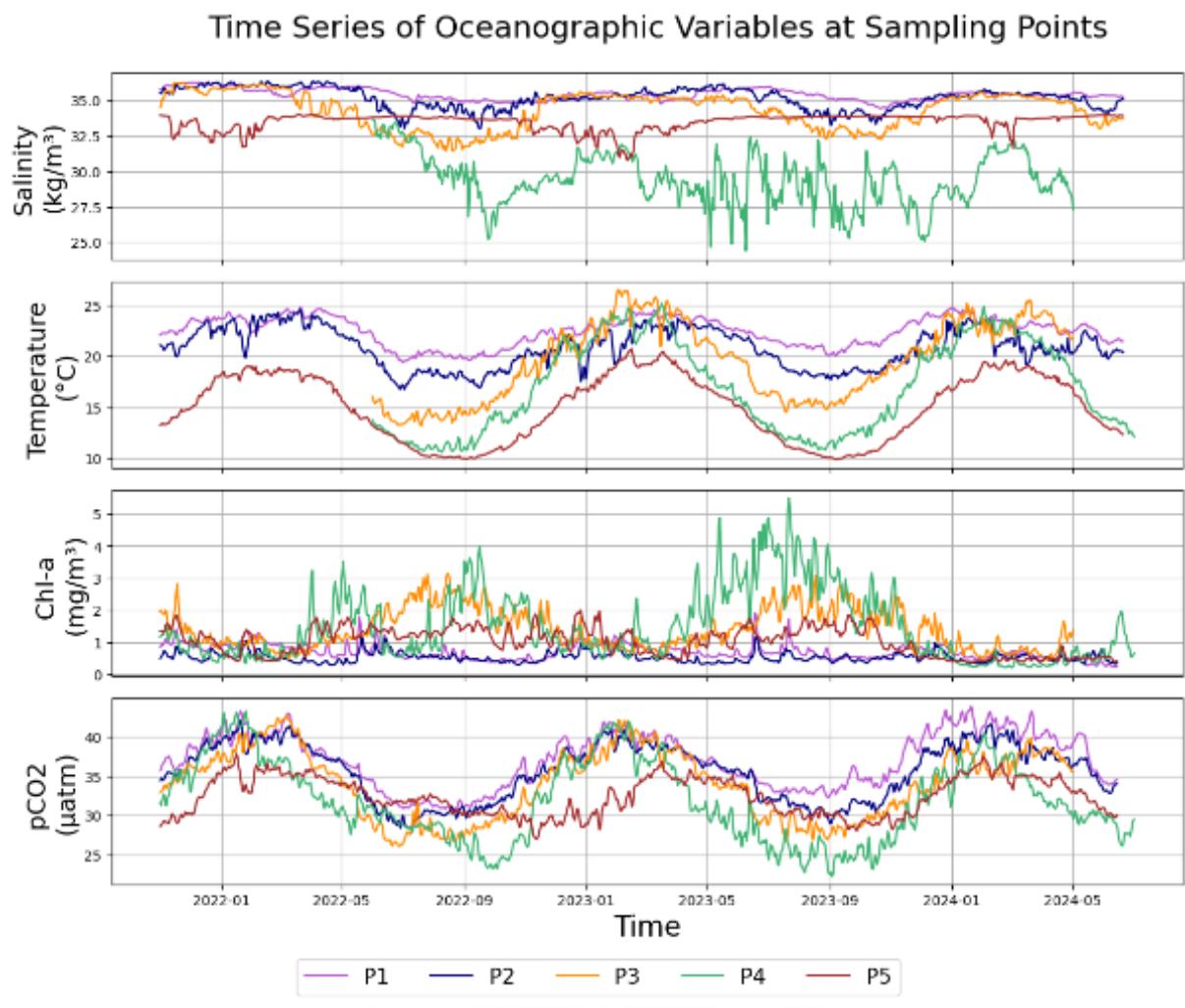


Figure 6: Variação temporal: out/ 2021 - jun/2024 para as variáveis: (a)SSS , (b)SST, (c) Chl-a e (d) pCO<sub>2</sub> em cada ponto amostral.

A correlação positiva do pCO<sub>2</sub> no Ponto 1 ocorre apenas para a variável SST , (Figura 7), de forma mais acentuada no inverno, devido ao aumento da mistura vertical turbulenta sob a plataforma continental. Enquanto para as variáveis SSS e Chl-a a correlação é mínima ou inexistente. No P2, a correlação entre o pCO<sub>2</sub> e a SST se mantém positiva nos meses de inverno, primavera e outono, sem correlação aparente no período do verão (Figura 7). Neste ponto, a correlação com a SSS tende a ser positiva para todas as estações, com uma menor tendência no verão. A Chl-a não apresentou um padrão específico de correlação positiva ou negativa, porém os valores estão direcionados ao negativo.

Devido a alta variação sazonal de Chl-a que ocorre no P3 é possível observar uma correlação tendendo ao negativo, entre a mesma e o pCO<sub>2</sub> (Figura 7). Sendo mais acentuada no verão, enquanto as variáveis de SST e SSS mostram tendências positivas com o pCO<sub>2</sub> mais intenso no inverno.

O P4 apresenta uma correlação do pCO<sub>2</sub> com a SST positiva para primavera, verão e

outono (Figura 7), já a SSS, pela sua alta variação sazonal, não apresentou padrão linear de correlação positiva, mas uma tendência ao positivo para todas as estações do ano. A Chl-a apresentou uma correlação negativa menos intensa que em P3, uma vez que na desembocadura do RP os valores de Chl-a são constantes ao longo do ano e as variações tornam-se menos expressivas. Para o P5 a correlação do pCO<sub>2</sub> com todas as variáveis não apresenta um padrão pré-definido. Indicando apenas uma leve tendência ao positivo para a SST e ao negativo para a Chl-a, enquanto para a SSS ela é quase nula (Figura 7). As oscilações meridionais da pluma do Prata na região P5 não permitem uma correlação sazonal linear, merecendo uma análise espaço-temporal mais complexa.

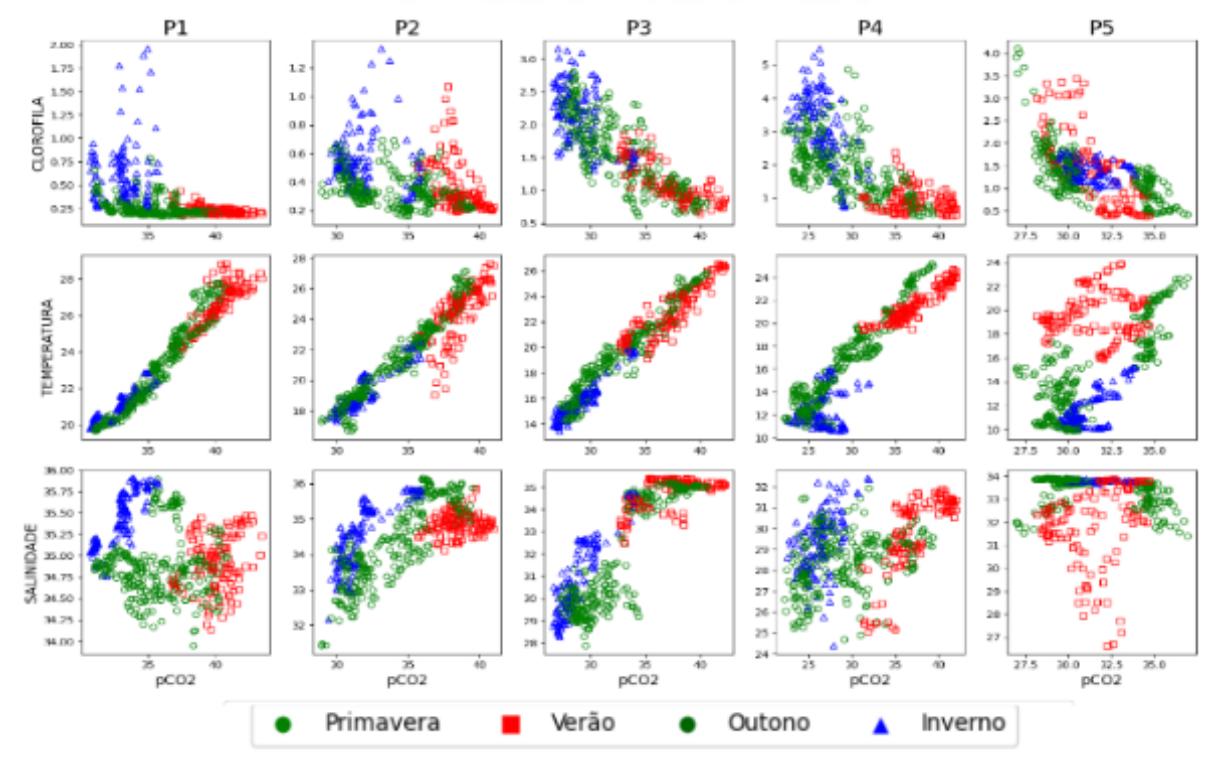


Figure 7: Diagramas de dispersão mostrando a correlação entre o pCO<sub>2</sub> e Chl-a (superior), SST (meio) e SSS(inferior) para cada um dos pontos amostrais (P1-P5), considerando as estações de inverno (triângulos azuis), verão (quadrados vermelhos) e as estações de transição (círculos verdes).

Na análise temporal do P1 ao P5 observamos uma correlação do pCO<sub>2</sub> com a Chl-a quase nula para negativa alcançando valores mínimos em P3 e P4 ( $r = -0.69$ ;  $p < 0.001$ ) e valores máximos em P1 ( $r = 0.29$ ,  $p < 0.001$ ). A correlação com a SST se mantém positiva para todos os pontos, onde seu menor valor de encontra em P5 ( $r = 0.75$  e  $p < 0.001$ ) e o maior em P3 ( $r = 0.91$  e  $p < 0.001$ ). Com a SSS a correlação se apresenta quase nula apenas no P5 ( $r = -0.04$  e  $p < 0.271$ ) e se mantém positiva nos outros pontos, com seu máximo em P3 ( $r = 0.89$  e  $p < 0.001$ ) (Tabela 2).

Table 2: Valor médio das correlações ( $r$ ) em cada ponto amostral para cada variável com o  $p\text{CO}_2$  entre 2021 e 2024.

Variável		P1	P2	P3	P4	P5
<b>Chl a</b>	r	0.29	-0.05	-0.69	-0.69	-0.59
	p<	0.001	0.143	0.001	0.001	0.001
<b>Temp</b>	r	0.88	0.86	0.91	0.90	0.75
	p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Sal</b>	r	0.23	0.77	0.89	0.35	-0.04
	p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.271

Table 3: Valor médio das correlações ( $r$ ) em cada ponto amostral para cada variável com o  $p\text{CO}_2$  para cada estação do ano entre 2021 e 2024.

Estação	Variável		P1	P2	P3	P4	P5
Primavera	<b>Chl a</b>	r	0.60	0.32	-0.26	-0.62	-0.40
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	<b>Temp</b>	r	0.95	0.92	0.79	0.85	-0.09
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.211
	<b>Sal</b>	r	0.34	0.82	0.85	0.30	0.20
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
Verão	<b>Chl a</b>	r	-0.35	-0.34	-0.63	-0.11	-0.79
		p<	0.001	0.001	0.001	0.158	0.001
	<b>Temp</b>	r	0.59	0.52	0.71	0.83	0.48
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	<b>Sal</b>	r	0.02	0.34	0.45	0.71	0.40
		p<	0.734	0.001	0.001	0.001	0.001
Outono	<b>Chl a</b>	r	0.11	-0.30	-0.42	-0.52	-0.02
		p<	0.063	0.001	0.001	0.001	0.751
	<b>Temp</b>	r	0.36	0.49	0.82	0.95	0.79
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	<b>Sal</b>	r	-0.49	0.38	0.78	0.36	-0.32
		p<	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Inverno	<b>Chl a</b>	r	0.12	-0.26	-0.28	-0.75	0.00

	<b>p&lt;</b>	0.106	0.001	0.001	0.001	0.947
<b>Temp</b>	<b>r</b>	0.94	0.90	0.81	0.14	0.41
	<b>p&lt;</b>	0.001	0.001	0.001	0.059	0.001
<b>Sal</b>	<b>r</b>	0.74	0.74	0.79	0.71	-0.22
	<b>p&lt;</b>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

A massa d'água da PPW é caracterizada por SST maiores que 10°C e a SSS inferior ou igual a 33,5 (Piola *et al.*, 2005). Como pudemos observar em nossas figuras 2, 5 e 6, a variação sazonal da PPW (fresh and cold water) é o fator controlador das variáveis físicas, química e biológica, em especial a pressão parcial do CO<sub>2</sub>, uma vez que sua extensão (Figura 8) e estação do ano (Figura 2 e 5), influenciada pelos ventos e SST, apresentam variação significativa destas características. Visto, propomos isolar a massa d'água da PPW espacialmente para avaliar a sua extensão meridional e compreender como o pCO<sub>2</sub> varia nessas águas. Espacialmente, sua posição sazonal varia entre latitudes 39°S e 33,7°S e no inverno varia entre 38°S e 28°S, aproximadamente. Na área sob influência da PPW os valores de pCO<sub>2</sub> variaram significativamente na costa, onde no inverno seus valores foram menores e no verão maiores.

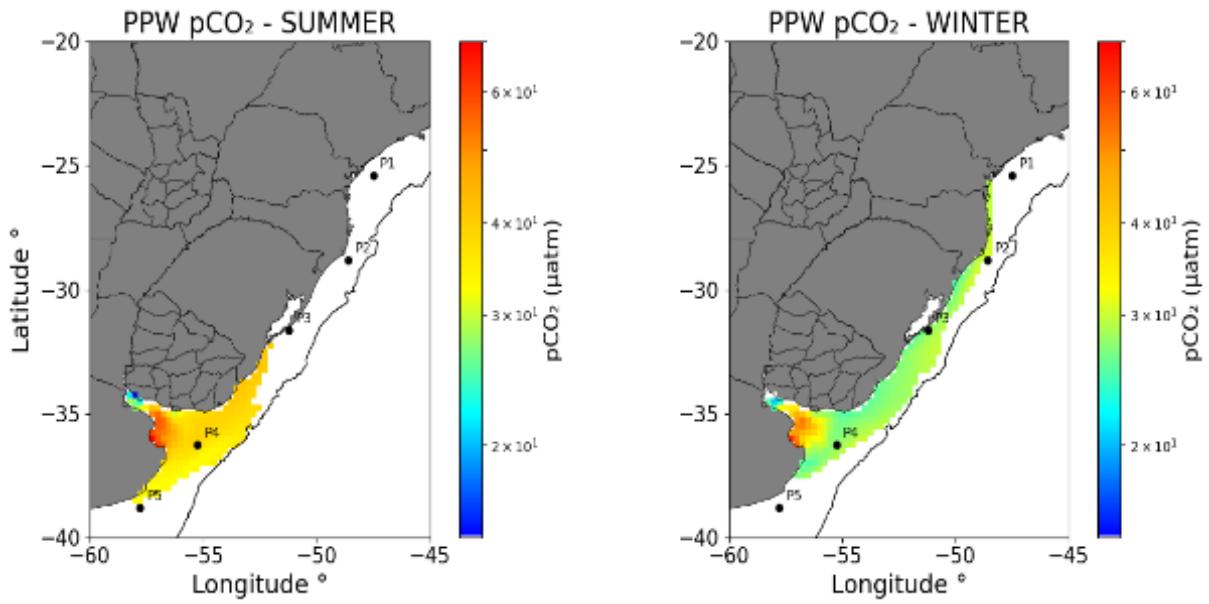


Figure 8: Variação sazonal da extensão da Pluma do Rio da Prata para (a) o verão e (b) o inverno com dados médios de nov/2020 – jun/2024 de pCO<sub>2</sub>. Usando as características dessa PPW adquiridas em (Piola *et al.*, 2000)

## Discussão

A PPW desempenha um papel fundamental na modulação da estrutura termohalina e na estratificação vertical das massas d'água sobre a plataforma continental sudoeste do

Atlântico Sul. Caracterizada por sua baixa SSS e significativa carga de nutrientes, esta pluma interfere diretamente na circulação costeira e na estabilidade da coluna d'água (Piola *et al.*, 2000; Möller *et al.*, 2008). A advecção das águas da pluma é fortemente modulada por mecanismos de forçamento atmosférico sazonais e efeitos iniciais associados ao transporte de Ekman. O avanço sazonal da pluma favorece a formação de uma frente halina bem definida, com implicações biogeoquímicas importantes na região de transição entre as massas de água costeiras e oceânicas. Por outro lado, no verão, o regime local de ventos de nordeste induz o recuo da pluma para o exterior do estuário em direção ao sul (Huret *et al.*, 2005). Esse comportamento sazonal pode ser intensificado por eventos como a anomalia positiva de precipitação na bacia do Prata, que resulta em maior descarga fluvial e expansão da pluma (Piola *et al.*, 2005). Essas oscilações hidrodinâmicas afetam não apenas a distribuição espacial das propriedades físico-químicas da água, mas também a estrutura biológica do sistema.

Licursi *et al.* (2006) mostraram que a PPW está associada a regimes dominados por diatomáceas na borda da pluma, onde a ressuspensão e a mistura promovem a disponibilidade de nutrientes silicatados. Enquanto regiões mais afastadas e estratificadas tendem a favorecer o crescimento de nanofitoplâncton e espécies flageladas como dinoflagelados mixotróficos (Gomez & Bauer, 2000). A composição fitoplanctônica, por sua vez, influencia diretamente a eficiência do sequestro biológico de carbono, dado que diferentes grupos apresentam taxas diferenciadas de exportação de matéria orgânica para o fundo oceânico.

A PPW é rica em nutrientes devido ao aporte fluvial e favorece o crescimento de diatomáceas, como *Skeletonema costatum*, que possuem altas taxas de fixação de carbono e rápida sedimentação, contribuindo para a bomba biológica de carbono. A Água subtropical de Plataforma (STSW), com menor disponibilidade de nutrientes, é dominada por cianobactérias como *Prochlorococcus* e *Synechococcus*, que, apesar de eficientes na fotossíntese, têm menor contribuição para o sequestro de carbono devido à sua pequena biomassa e lenta sedimentação. A intrusão da Água Central do Atlântico Sul (SACW) no verão promove florações de fitoplâncton maiores e mais eficientes na exportação de carbono para as camadas profundas, destacando a importância das mudanças sazonais na dinâmica do carbono na plataforma continental sul-brasileira.

Durante os meses de verão, apenas os pontos P4 e P5 estão sobre influência direta da PPW, enquanto no inverno os pontos atingidos são os P2, P3 e P4. Já o P1 não sofre impacto significativo da PPW (Figura 8) pois está localizado em uma área inshore sobre a plataforma continental mais larga, no qual os processos de circulação são mais lentos e o transporte meridional é menor (Mendonca *et al.*, 2023).

Entre P2 e P3 ocorre um aumento da concentração de Chl-a, mesma região associada ao aumento de nutrientes disponíveis na zona eufótica pela Frente Subtropical de Plataforma (STSF) (Braga *et al.*, 2008; Muelbert *et al.*, 2008; Piola *et al.*, 2008; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2018). Isto ocorre devido ao deságue de rios locais, que são importante

fonte de sílica (Zhang *et al.*, 2020), nutriente que favorece o crescimento de diatomáceas na costa, onde altas concentrações ( $>10 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ) são encontradas (Piola *et al.*, 2000).

Como apresentado na Figura 3b, a plataforma e as desembocaduras do RP e da LP são regiões com maiores concentrações de Chl-a, tanto no verão quanto no inverno (Figura 5). Seu aumento influencia na absorção de CO<sub>2</sub> e causa o crescimento da biomassa de diatomáceas (Carvalho & Kerr, 2021), consumindo CO<sub>2</sub> e reduzindo o pCO<sub>2</sub>, conforme a Figura 5a. Gonçalves-Araujo (2018), apresentou também a importância da advecção das águas do Rio da Prata (RP), ao longo da plataforma continental sul brasileira (SBCS), como sendo crucial para o enriquecimento da biomassa fitoplanctônica por conta do aporte de águas ricas em nutrientes. Tal feição é também observada nesse estudo na Figura 3b. A biomassa elevada, estimulada pela presença da PPW pode suportar uma grande diversidade fitoplancônica na SBCS, como as por exemplo diatomáceas e haptófitas (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2018), espécies frequentemente observadas em regiões com alta absorção de CO<sub>2</sub> (Keys *et al.*, 2018). Esse pode ser um dos motivos de o P4 ser o ponto com maior absorção de CO<sub>2</sub> (Figura 5a).

A figura 2b mostra os padrões sazonais de SSS e evidenciam que o ponto 5 sofre influência da PPW nos meses de verão e outono, enquanto os pontos 3 e 2 estão sob maior influência das condições de inverno e o ponto 4 sofre essa influência durante todo o ano. Este processo ocorre sob influência do regime local de ventos pelo transporte de Ekman, predominantemente acima da termoclina (Mendonca *et al.*, 2017), evidenciando a importância do regime salino (*Figura 2*) sob a chl-a e a nossa variável chave pCO<sub>2</sub>.

Como descrito por Liutti *et al.* (2021), o fluxo de CO<sub>2</sub> no mar é controlado principalmente pela SST, a figura 6 apresenta marcadamente o mesmo padrão, e as correlações médias apresentadas (Tabela 2) não se encontram menores que 0.75 em nenhum ponto amostral. Este processo ocorre devido a advecção de águas frias nessa região, somado a influência das águas levemente menos densas que geram uma redução significativa do pCO<sub>2</sub> nos meses frios em regiões próximas ao nosso P1. Também relacionaram o fluxo de CO<sub>2</sub> com DIC e alcalinidade, os quais são descritos como as variáveis com maior influência na variação do fluxo, após a SST.

A segunda variável de maior influência, observada nos pontos 2 e 3, é a SSS, e nos pontos 1, 4 e 5 a Chl-a. Devido ao distanciamento da foz dos sistemas Prata e Patos, os pontos 1 e 2, tem variações menores nas correlações entre variáveis que nos demais pontos amostrados. Podemos observar que os picos de Chl-a são de escalas inferiores a mensal, durante o inverno (Figura 6), indicando um provável aumento associado à passagem de frentes frias. Relacionado com a mistura entre duas massas d'água que fornecem as condições ideais para o crescimento, figura 3 e 4 (nutrientes, luz, temperatura e aumento da mistura e ressurgência) (Saraceno, *et al.* 2005).

Ao deslocarmos do P1 para o P3 é possível observar que a SSS passa a variar sazonalmente, com isso os valores mínimos de pCO<sub>2</sub> e de SST durante o ano diminuem e os

valores máximos de Chl-a tendem a aumentar. Este processo indica que, para essa região da plataforma, a variação do pCO<sub>2</sub> é dependente da SST e da SSS, e inversamente relacionado à concentração de Chl-a. O P4 está localizado sobre a PPW e por isso sofre influência da mesma em todas as estações do ano. Nesta região foram identificados os menores valores de pCO<sub>2</sub>, os quais estão associados às altas concentrações de Chl-a e baixas SSS e SST, sendo este o ponto com maior variabilidade entre os pontos analisados.

Carvalho & Kerr (2021) e Gonçalves-Araújo *et al.* (2018), afirmam que a baixa SSS é um parâmetro crucial para a estrutura das comunidades fitoplanctônicas. Especialmente com altos índices de nutrientes, pelo aporte terrígeno em uma região de fonte baroclinica associada. Considerando a correlação negativa do fitoplâncton com a SSS, onde as diatomáceas apresentaram a maior eficácia na absorção de CO<sub>2</sub> (Carvalho & Kerr, *et al.* 2021), observamos na figura 7 comportamentos opostos de correlação da SSS e Chl-a com o pCO<sub>2</sub>, o que vai de encontro com o observado por Orselli *et al.* (2019).

Os dados de pCO indicam que as regiões sob influência da PPW apresentam maiores concentrações no verão, quando a pluma é menos extensa e as águas estão mais quentes, e menores valores no inverno, quando a pluma se expande e a SST diminui (Figura 8). Valerio *et al.* (2021), ao investigar o fluxo de CO na Pluma do Amazonas, destacou a influência da latitude na variação da absorção de CO, com maiores liberações associadas a latitudes mais baixas, onde fatores como direção dos ventos, extensão da plataforma, diferentes massas d'água e solubilidade afetam a concentração de CO. Esses padrões também são observados na área de estudo, especialmente no inverno, quando a PPW atinge maior volume (Moller *et al.*, 2008) e as menores concentrações de CO ocorrem nas porções mais ao norte, em latitudes mais baixas, refletindo a interação entre dinâmica física e controle latitudinal da solubilidade (Libes *et al.*, 2009).

Liutti *et al.* (2021) realizaram um estudo próximo ao P3 e observaram um padrão sazonal semelhante ao modelo, com redução dos valores de pCO entre fevereiro e agosto, atingindo valores inferiores a 30  $\mu\text{atm}$ , seguido de elevação na primavera. No entanto, o aumento em seu estudo se estendeu até dezembro, enquanto nossos resultados continuaram crescendo até o final de janeiro. Isto evidencia o efeito da SST sobre o pCO ao longo do Oceano Atlântico Sudoeste (SWAO), com maior intensidade ao sul de 25°S. Na região entre 20° e 29°S, a CB reduz a influência térmica sobre o pCO em até 50%, permitindo que outros fatores associados à PPW exerçam maior controle, dada a advecção de águas com propriedades distintas de SST, SSS e nutrientes. No P5, observou-se uma correlação fraca entre pCO e as variáveis físico-químicas, embora a Chl-a apresente alta correlação negativa, especialmente no verão (Tabela 3), quando predominam águas mais quentes e salinas. Durante o inverno, com a intrusão de Água Subantártica de Plataforma (SASW), esse ponto atua como importante sumidouro de CO na SBCS, devido à maior solubilidade do gás em temperaturas mais baixas. Nesse período, a combinação entre águas frias e ricas em nutrientes favorece a floração fitoplanctônica, onde observamos as elevadas

concentrações de Chl-a e intensificação da absorção de CO<sub>2</sub>.

A SBCS é influenciada indiretamente pela variação da Confluência Brasil-Malvinas, a qual ocorre entre as latitudes 36-50° S, região onde se encontra o P5. Gonzalez-Silveira *et al.* (2006) identificou como sendo região a qual a entrada de uma corrente patagônica sobre plataforma argentina é responsável pela inserção indireta de águas sobre os SBCS. Este processo associado a alta concentração de Chl-a e baixa SST local é responsável por associar as águas costeiras com concentrações moderadas de Chl-a (Gonçalves-Araujo *et al.* 2012). Esta relação está associada a primavera e verão, enquanto no outono e inverno, a limitação luminosa, também sendo fator que interfere na temperatura local, gera uma SST mais baixa ainda, com alta de Chl-a, associando esse fenômeno principalmente a quebra de plataforma, sendo região onde ocorre maior bloom de fito e formação de vórtices, dois fenômenos que interferem na absorção de carbono, como apresentado anteriormente.

## 1 Conclusão

O RP tem sua pluma, a qual é caracterizada por temperaturas maiores que 10°C e SSS menor ou igual a 33.5. Neste trabalho foi possível concluir que, em média, para os anos de 2021 até 2024 sua mínima extensão ao norte chegou a 33°S (verão), a máxima até 28°S (inverno) aproximadamente, ao sul sua extensão máxima chegou a 39°S (verão) e mínima em 37,5°S (inverno) aproximadamente. A Figura 8 apresenta como a pluma percorre a plataforma sazonalmente, gerando uma nítida variação do pCO<sub>2</sub> na região, podemos concluir disso que a PPW é um fator crucial para a diminuição do valor do pCO<sub>2</sub> na costa uma vez que concentra valores menores no verão e dispersa pela costa ao norte essas variações, diminuindo-as mais ainda.

As características da PPW foram associadas com o aumento dos níveis de Chl-a, podendo estar relacionada não somente com a injeção de nutrientes através da PPW mas também com a chegada de águas mais frias, menos salinas e com mais nutrientes da Água Subantártica de Plataforma (SASW) chegando pela CP impulsionando, juntamente com os ventos, a PPW ao longo da costa brasileira, além também que o modelo indicou a intensificação de Chl-a (Figura 5b) na região próxima a LP, o que pode ser responsável pela continuidade de menores valores de pCO<sub>2</sub> a serem impulsionado para Norte. Sendo esta uma característica trazida pela PRP, que indica a afloração de comunidades fitoplancônicas consumidoras de pCO<sub>2</sub>.

É possível identificar que o efeito sazonal da distribuição de correntes interfere na distribuição de Chl-a e pCO<sub>2</sub> ao longo da costa, sendo responsável por uma costa com maior Chl-a no Outono/Inverno, assim com maior capacidade de absorção e consumo do CO<sub>2</sub>, tornando uma região de baixo pCO<sub>2</sub> e indo de encontro com o que foi concluído por Liutti *et al.*, 2021 que menores valores de SST e de SSS diminuem o pCO<sub>2</sub> na superfície do mar.

Por fim, o trabalho pode concluir que os pontos analisados foram de suma importância para entender como ocorre a variação do pCO<sub>2</sub> em cada local, indicou como a PPW afeta a variação, apresentando que em P1 e P2, pontos onde a pluma tem nenhuma ou pouco interferência no inverno, a Chl-a e o pCO<sub>2</sub> não apresentam uma variação sazonal tão marcada significativa quanto P3 e P4, assim como apresenta que no P5 sua variação mais destoante, para essas duas variáveis, ocorre na primavera-verão (Figura 6). Os próximos passos para o trabalho seria adicionar variáveis, que foram identificadas na bibliografia, como modificadores do fluxo de CO<sub>2</sub> na região e como elas interferem na dispersão da PPW, identificando se os mesmos, na região, ajudam a absorver ou a liberar o CO<sub>2</sub> nos oceanos, sendo esses o vento e a formação de vórtices na quebra da plataforma.

## Referências

- AMIOTTE-SUCHET, P.; PROBST, J.-L. A global model for present-day atmospheric/soil CO consumption by chemical erosion of continental rocks (GEM-CO ). *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, v. 47, n. 1–2, p. 273–280, 1995. DOI: 10.1034/j.1600-0889.47.issue1.23.x
- ARRUDA, R.; CALIL, P. H. R.; BIANCHI, A. A.; DONEY, S. C.; GRUBER, N.; LIMA, I.; TURI, G. Air-sea CO fluxes and the controls on ocean surface pCO seasonal variability in the coastal and open-ocean southwestern Atlantic Ocean: a modeling study. *Biogeosciences*, v. 12, n. 19, p. 5793–5809, 2015. DOI: 10.5194/bg-12-5793-2015
- BEUSEN, A. H. W.; BOUWMAN, A. F.; DÜRR, H. H.; DEKKERS, A. L. M.; HARTMANN, J. Global patterns of dissolved silica export to the coastal zone: results from a spatially explicit global model. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 23, GB0A02, 2009. DOI: 10.1029/2008GB003281
- BEUSEN, A. H. W.; BOUWMAN, A. F.; VAN BEEK, L. P. H.; MOGOLLÓN, J. M.; MIDDELBURG, J. J. Global riverine N and P transport to ocean increased during the 20th century despite increased retention along the aquatic continuum. *Biogeosciences*, v. 13, n. 8, p. 2441–2451, 2016. DOI: 10.5194/bg-13-2441-2016.
- BIANCHI, A. A.; PINO, D. R.; PERLENDER, H. G. I.; OSIROFF, A. P.; SEGURA, V.; LUTZ, V.; CLARA, M. L.; BALESTRINI, C. F.; PIOLA, A. R. Annual balance and seasonal variability of sea-air CO fluxes in the Patagonia Sea: their relationship with fronts and chlorophyll distribution. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 114, C03018, 2009. DOI: 10.1029/2008JC004854
- BONOU, F. K.; NORIEGA, C.; LEFÈVRE, N.; ARAUJO, M. Distribution of CO parameters in the Western Tropical Atlantic Ocean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, v. 73, p. 47–60, 2016. DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2016.04.004
- BRAGA, E. S.; CHIOZZINI, V. C.; BERBEL, G. B.; MALUF, J. C.; AGUIAR, V. M.; CHARO, M.; ... EICHLER, B. B. Nutrient distributions over the southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil):

winter–summer aspects. *Continental Shelf Research*, v. 28, n. 13, p. 1649–1661, 2008. DOI: 10.1016/j.csr.2008.03.002

BURRAGE, D.; WESSON, J.; MARTINEZ, C.; PÉREZ, T.; MÖLLER JR., O.; PIOLA, A. Patos Lagoon outflow within the Río de la Plata plume using an airborne salinity mapper: observing an embedded plume. *Continental Shelf Research*, v. 28, n. 13, p. 1625–1638, 2008. DOI: 10.1016/j.csr.2008.03.005

CAI, W.-J. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO sinks or sites of terrestrial carbon incineration? *Annual Review of Marine Science*, v. 3, p. 123–145, 2011. DOI: 10.1146/annurev-marine-120709-142723

CAMPOS, J. D.; LENTINI, C. A.; MILLER, J. L.; PIOLA, A. R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazilian Bight. *Geophysical Research Letters*, v. 26, n. 14, p. 2061–2064, 1999. DOI: 10.1029/1999GL010882

CARVALHO, A. C. O.; KERR, R.; MENDES, C. R. B.; AZEVEDO, J. L. L.; TAVANO, V. M. Phytoplankton strengthen CO uptake in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 195, p. 102476, 2021. DOI: 10.1016/j.pocean.2020.102476

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S. In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (Org.). *The Sea*. New York: John Wiley & Sons, 1998. v. 2, p. 209–251.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. da (org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 20, p. 317–335

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. C10, 1990. DOI: 10.1029/JC095iC10p17877

CHEN, C.-T. A.; BORGES, A. V. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 56, n. 5–7, p. 578–590, 2009. DOI: 10.1016/j.dsr2.2008.12.003

CIOTTI, Á. M.; GARCIA, C. A. E.; JORGE, D. S. F. Temporal and meridional variability of satellite-estimates of surface chlorophyll concentration over the Brazilian continental shelf. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, n. 2, p. 236–253, 2010. DOI: 10.1016/j.pojo?utm\_source=notfound (PDF original)

CIOTTI, Á. M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MÖLLER JR., O. O. Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, v. 15, n. 14, p. 1737–1756, 1995. DOI: 10.1016/0278-4343(94)00091-Z

DONEY, S. C.; FABRY, V. J.; FEELY, R. A.; KLEYPAS, J. A. Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, v. 1, p. 169–192, 2009.

DOI: 10.1146/annurev.marine.010908.163834

DÜRR, H. H.; MEYBECK, M.; HARTMANN, J.; LARUELLE, G. G.; ROUBEIX, V. Global spatial distribution of natural riverine silica inputs to the coastal zone. *Bio-geosciences*, v. 8, n. 2, p. 597–620, 2011. DOI: 10.5194/bg-8-597-2011

FLOMBAUM, P.; GALLEGOS, J. L.; GORDILLO, R. A.; RINCÓN, J.; ZABALA, L. L.; JIAO, N.; MARTINY, A. Present and future global distributions of the marine cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (forthcoming May 2014), PNAS, DOI: 10.1073/pnas.1307701110

FRIEDLINGSTEIN, P.; JONES, M. W.; O'SULLIVAN, M.; ANDREW, R. M.; HAUCK, J.; PETERS, G. P.; PETERS, W.; PONGRATZ, J.; SITCH, S.; LE QUÉRÉ, C.; et al. Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, v. 11, n. 4, p. 1783–1838, 2019. DOI: 10.5194/essd-11-1783-2019

GARGETT, A. E. Physical processes and the maintenance of nutrient-rich euphotic zones. *Limnology and Oceanography*, v. 36, n. 8, p. 1527–1545, dez. 1991. DOI: 10.4319/lo.1991.36.8.1527

GÓMEZ, N.; BAUER, D. E. Diversidad fitoplanctónica en la franja costera sur del Río de la Plata. *Biología Acuática*, n. 19, p. 7–26, 2000. ISSN: 1668-4869

GONÇALVES-ARAUJO, R.; DE SOUZA, M. S.; TAVANO, V. M.; MENDES, C. R.; DE SOUZA, R. B.; SCHULTZ, C.; POLLERY, R. C. Phyto- and protozooplankton assemblages and hydrographic variability during an early winter survey in the Southern Brazilian Continental Shelf. *Journal of Marine Systems*, v. 184, p. 36–49, 2018. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.011

GONÇALVES-ARAUJO, R.; RÖTTGERS, R.; HARAGUCHI, L.; BRANDINI, F. P. Hydrography-driven variability of optically active constituents of water in the South Brazilian Bight: biogeochemical implications. *Frontiers in Marine Science*, v. 6, art. 716, 2019. DOI: 10.3389/fmars.2019.00716

GONZALEZ-SILVERA, A.; SANTAMARIA-DEL-ÁNGEL, E.; MILLÁN-NÚÑEZ, R. Spatial and temporal variability of the Brazil–Malvinas Confluence and the La Plata Plume as seen by SeaWiFS and AVHRR imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 111, C06010, 2006. DOI: 10.1029/2004JC002745

HARTMANN, J.; JANSEN, N.; DÜRR, H. H.; KEMPE, S.; KÖHLER, P. Global CO<sub>2</sub>-consumption by chemical weathering: what is the contribution of highly active weathering regions? *Global and Planetary Change*, v. 69, p. 185–194, 2009. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2009.07.000

HURET, M.; DADOU, I.; DUMAS, F.; LAZURE, P.; GARÇON, V. Coupling physical and biogeochemical processes in the Río de la Plata plume. *Continental Shelf Research*, v. 25, n. 5–6, p. 629–653, mar. 2005. DOI: 10.1016/j.csr.2004.12.006

ITO, R. G.; GARCIA, C. A. E.; TAVANO, V. M. Net sea-air CO<sub>2</sub> fluxes and modelled pCO<sub>2</sub> in the southwestern subtropical Atlantic continental shelf during spring 2010 and summer 2011. *Continental Shelf Research*, v. 119, p. 68–84, 2016. DOI: 10.1016/j.csr.2016.03.013

KEYS, M.; TILSTONE, G.; FINDLAY, H. S.; WIDDICOMBE, C. E.; LAWSON, T.

Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on phytoplankton community biomass, species composition and photosynthesis during an experimentally induced autumn bloom in the western English Channel. *Biogeosciences*, v. 15, n. 10, p. 3203–3222, maio 2018. DOI: 10.5194/bg-15-3203-2018

LACROIX, F.; ILYINA, T.; HARTMANN, J. Oceanic CO<sub>2</sub> outgassing and biological production hotspots induced by pre-industrial river loads of nutrients and carbon in a global modeling approach. *Biogeosciences*, v. 17, n. 1, p. 55–88, 2020. DOI: 10.5194/bg-17-55-2020

LARUELLE, G. G.; DÜRR, H. H.; SLOMP, C. P.; BORGES, A. V. Evaluation of sinks and sources of CO<sub>2</sub> in the global coastal ocean using a spatially-explicit typology of estuaries and continental shelves. *Geophysical Research Letters*, v. 37, L24605, dez. 2010. DOI: 10.1029/2010GL045095 ([agupubs.onlinelibrary.wiley.com](http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com))

LEFÈVRE, N.; AIKEN, J.; RUTLLANT, J.; DANERI, G.; LAVENDER, S.; SMYTH, T. Observations of pCO<sub>2</sub> in the coastal upwelling off Chile: spatial and temporal extrapolation using satellite data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 107, C6, 2002. DOI: 10.1029/2000JC000395

LIBES, S. *Introduction to Marine Biogeochemistry*. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2009.

LICURSI, M.; SIERRA, M. V.; GÓMEZ, N. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America). *Journal of Marine Systems*, v. 62, n. 1–2, p. 35–45, abril-maio 2006. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2006.05.003

LITCHMAN, E.; DE TEZANOS PINTO, P.; EDWARDS, K. F.; KLAUSMEIER, C. A.; KREMER, C. T.; THOMAS, M. K. Global biogeochemical impacts of phytoplankton: a trait-based perspective. *Journal of Ecology*, v. 103, n. 6, p. 1384–1396, novembro 2015. DOI: 10.1111/1365-2745.12440

LIUTTI, C. C.; KERR, R.; MONTEIRO, T.; ORSEL...LLI, I. B. M.; ITO, R. G.; GARCIA, C. A. E. Sea surface CO<sub>2</sub> fugacity in the southwestern South Atlantic Ocean: an evaluation based on satellite-derived images. *Marine Chemistry*, v. 236, art. 104020, 2021. DOI: 10.1016/j.marchem.2021.104020

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, v. 1, n. 4, p. 493–509, 1978.

MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; PIOLA, A. R. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the southwestern Atlantic shelf circulation. *Ocean Science*, v. 6, n. 4, p. 983–995, 2010. DOI: 10.5194/os-6-983-2010

MENDONÇA, L. F. F.; FETTER-FILHO, A. F. H.; ANDRADE, M.; OLIVEIRA, F. S. C.; LINDEMANN, D. S.; FREITAS, R. A. P.; REIS, R. A. N.; LENTINI, C. A. D.; PARISE, C. K.; SANTOS, D. C. Analysis of a coastal-trapped wave generated by the 2016 extra-tropical cyclonic system in the Southern Brazilian continental shelf with COAWST modeling system. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 129, art. 104522, 2023.

DOI: 10.1016/j.jsames.2023.104522

MEYBECK, M.; VÖRÖSMARTY, C. Global transfer of carbon by rivers. *Global Change News Letter*, n. 26, p. 36–37, 1999.

MILLERO, F. J. *Chemical Oceanography*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

MÖLLER JR., O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Continental Shelf Research*, v. 28, n. [suplemento], 2008. DOI: 10.1016/j.csr.2008.03.012

MUELBERT, J. H.; ACHA, M.; MIANZÁN, H. W.; GUERRERO, R. A.; RETA, R.; BRAGA, E. D.; GARCIA, V. M.; BERASATEGUI, A. D.; GOMEZ-ERACHE, M.; RAMÍREZ, F. Biological, physical and chemical properties at the subtropical shelf front zone in the SW Atlantic continental shelf. *Continental Shelf Research*, v. 28, n. 13, p. 1662–1673, 2008. DOI: 10.1016/j.csr.2008.03.003

ORSELLI, I. B. M.; KERR, R.; AZEVEDO, J. L. L.; GALDINO, F.; ARAUJO, M.; GARCIA, C. A. E. The sea-air CO<sub>2</sub> net fluxes in the South Atlantic Ocean and the role played by Agulhas eddies. *Progress in Oceanography*, 2018. DOI: 10.1016/j.pocean.2018.10.006

PADIN, X. A.; VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, M.; CASTAÑOL, M.; VELO, A.; ALONSO-PÉREZ, F.; GAGO, J.; GILCOTO, M.; ÁLVAREZ, M.; PARDO, P. C.; DE LA PAZ, M.; RÍOS, A. F.; PÉREZ, F. F. Sea-air CO<sub>2</sub> fluxes in the Atlantic as measured during boreal spring and autumn. *Biogeosciences*, v. 7, p. 1587–1606, 2010. DOI: 10.5194/bg-7-1587-2010

PEREIRA BRANDINI, F.; NOGUEIRA, M.; SIMIÃO, M.; UGAZ CODINA, J. C.; ALMEIDA NOERNBERG, M. Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight. *Continental Shelf Research*, v. 89, p. 61–75, 2014. DOI: 10.1016/j.csr.2014.03.010

PICCOLO, M. C. Oceanography of the western South Atlantic continental shelf from 33° to 55° S. In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (org.). *The Global Ocean Studies. Regional Studies and Syntheses*, v. 11. New York: Wiley, 1998. p. 253–270.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER JR., O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. M. Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 105, n. C3, p. 6566–6578, 2000. DOI: 10.1029/1999JC000135

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; STEELE, J. H.; THORPE, S. A.; TUREKIAN, K. K. Brazil and Falklands (Malvinas) currents. In: *Ocean Currents*. Dordrecht: Springer, 2001. p. 35–43.

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MÖLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters*, v. 32, L01603, 2005. DOI: 10.1029/2004GL021893

PIOLA, A. R.; ROMERO, S. I.; ZAJACZKOWSKI, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. *Continental Shelf Research*, 2007. DOI: 10.1016/j.csr.2007.02.013

RODRIGUES, C. C. F.; SANTINI, M. F.; BRUNSELL, N. A.; PEZZI, L. P. CO<sub>2</sub> fluxes under different oceanic and atmospheric conditions in the Southwest Atlantic Ocean.