

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
ALEXANDRE VANDERLI BERRI

**DISTRIBUIÇÃO DO BACTERIOPLÂNCTON NA  
PLATAFORMA CONTINENTAL DE SANTA CATARINA  
NO INVERNO DE 2010 SOB INFLUÊNCIA DA FRENTE  
DE PLATAFORMA**

FLORIANÓPOLIS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE OCEANOGRAFIA

**DISTRIBUIÇÃO DO BACTERIOPLÂNCTON NA  
PLATAFORMA CONTINENTAL DE SANTA CATARINA  
NO INVERNO DE 2010 SOB INFLUÊNCIA DA FRENTE  
DE PLATAFORMA**

ALEXANDRE VANDERLI BERRI

Monografia submetida ao Curso de Bacharel em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Luiza Schmitz Fontes Bittencourt

FLORIANÓPOLIS – SC

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE OCEANOGRAFIA

**DISTRIBUIÇÃO DO BACTERIOPLÂNCTON NA  
PLATAFORMA CONTINENTAL DE SANTA CATARINA  
NO INVERNO DE 2010 SOB INFLUÊNCIA DA FRENTE  
DE PLATAFORMA**

ALEXANDRE VANDERLI BERRI

Esta Monografia foi julgada adequada  
para obtenção do Título de Bacharel em  
Oceanografia, e aprovada em sua forma  
final.

Florianópolis, 17 de novembro de 2015.

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Marinez Eymael Garcia Scherer  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

**NOTA**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca  
(Departamento de Geociências/UFSC)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Schmitz Fontes Bittencourt  
(Departamento de Geociências/UFSC)

Prof. Dr. Felipe Mendonça Pimenta  
(Departamento de Geociências/UFSC)

Prof. Dr. Leonardo Rubi Rorig  
(Departamento de Geociências/UFSC)

# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àquele que plantou a semente da curiosidade científica dentro de mim, Vô Paraná.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar à minha família pelo apoio incondicional durante todos estes anos garimpando meus objetivos. A meus pais pela confiança e paciência. À minha mãe, em especial, por todo o apoio durante os momentos mais difíceis. À minha irmã pelo compartilhamento das aventuras e desventuras da vida acadêmica. À minha tia Ivete por me abrigar quando precisei. A meu pai por me incentivar e me ajudar a caminhar com minhas próprias pernas. Gostaria de agradecer especialmente à minha Vó Guida e minha Tia Tere por serem pessoas iluminadas e por terem me apoiado como se fossem minhas próprias mães.

Agradeço a Angela Lessa pelo carinho, companheirismo e paciência durante os momentos mais importantes.

Gostaria também de agradecer à Maria Luiza Fontes e Alessandra Fonseca pela oportunidade, por terem aberto as portas da academia e por me ajudarem a crescer como acadêmico e profissional durante toda minha graduação. Obrigado principalmente pelo apoio na conclusão desta fase, a qual tiveram total influência.

Agradeço pela ajuda do Prof. Dr. Carlos E. Garcia, pela ajuda com as imagens de satélite e delimitação das frentes. Às professoras Andréia S. Freire e Melissa Carvalho pelo apoio nas análises e discussões durante o projeto.

Gostaria por fim de agradecer a todos os amigos que de certa forma ajudaram neste trabalho seja nos embarques, coletas, análises ou só por estarem do meu lado neste momento.

Agradeço a Deus por colocar todas estas pessoas no meu caminho.

## RESUMO

O bacterioplâncton possui um papel imprescindível nos ciclos biogeoquímicos nos oceanos. Deste modo, o conhecimento e entendimento destes diminutos organismos é fundamental. A região de estudo, plataforma continental do estado de Santa Catarina, Brasil, é um ambiente único com feições bem definidas para as diferentes épocas do ano. Tais feições como frentes, meandros e microvórtices se intensificam no inverno. Desta forma, o trabalho objetivou conhecer a distribuição do bacterioplâncton na plataforma continental de Santa Catarina e sua correlação com as frentes de plataforma, feições que já são claramente conhecidas como *hot-spots* nos oceanos. De início ficou evidente a presença de frentes em toda a plataforma, na interface entre a Água da Pluma do Prata e a Água Subtropical de Plataforma, próximas à quebra. Houve um gradiente decrescente de abundância e biomassa bacteriana entre a costa e o oceano aberto; no entanto, o bacterioplâncton apresentou um acúmulo nestas regiões frontais em toda a extensão da plataforma continental. Esse incremento nas zonas frontais foi detectado em todos os transectos se comparado às estações adjacentes e costeiras nos transectos de Babitonga e Campeche. Porém, foram similares aos valores obtidos nas estações costeiras no transecto de Araranguá, o qual sofre uma maior influência da APP. Ficou evidente a importância das frentes sobre aumento na biomassa e abundância para a região, estudos mais detalhados da bioquímica e populações dominantes nestas frentes são necessários para conhecer melhor esta importante feição.

**Palavras chave:** bacterioplâncton, frentes, plataforma continental, Santa Catarina, zonas frontais

## ABSTRACT

The bacterioplankton has an essential role in biogeochemical cycles in the oceans. Thus, the knowledge and understanding of these miniature bodies is crucial. The study area, the continental shelf of Santa Catarina State, Brazil, is a unique environment with well-defined features for different seasons. Features such as fronts, meanders and microeddies intensify in winter. Thus, the study aimed to know the distribution of bacterioplankton in the continental shelf and its correlation with the shelf fronts, features that are already clearly known as hot spots in the oceans. It was evident the presence of fronts across the continental shelf, at the interface between Plata Plume Water and Subtropical Shelf Water, close to the shelf break. A decreasing gradient of abundance and biomass of bacterioplankton was observed between coast and open ocean, however, higher numbers and biomass of bacterioplankton in frontal zones were detected across the continental shelf. This increase in frontal zones was detected in all transects when compared to their adjacent coastal stations at Babitonga and Campeche transects. However, they were similar to values obtained in coastal stations at the transecto of Araranguá, which had a great influence of APP. It was evident the importance of the fronts on increasing biomass and abundance in the region, more detailed studies of biochemistry and dominant populations in these fronts are needed to learn more about this important feature.

**Keywords:** Bacterioplankton, fronts, continental shelf, Santa Catarina, frontal zones

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Região de Estudo e pontos de coleta para os três transectos realizados no inverno de 2010. ....	14
<b>Figura 2</b> - Gráfico TxSxP indicando as massas d'água dominantes sobre a plataforma continental de Santa Catarina no inverno de 2010. Evidencia-se a presença da APP e ASTP em regiões superficiais e a ACAS restrita a regiões mais profundas. ....	18
<b>Figura 3</b> - TSM da área de estudo nos dias 13/08/2010 (A) e 21/08/2010(B), evidenciando a intrusão de uma água mais fria sobre a Plataforma de SC. Pontos amostrais (1,2,3 e 4) nos transectos de Babitonga (B), Campeche (C) e Araranguá (A). ....	19
<b>Figura 4</b> - Imagem para os dias 13/08/2010 (A) e 21/08/2010 (B) da área de estudo (plataforma continental de Santa Catarina) com destaque para as zonas frontais, em vermelho, delimitadas por um gradiente de temperatura maior que 0,2°C/Km. Pontos amostrais (1,2,3 e 4) nos transectos de Babitonga (B), Campeche (C) e Araranguá (A). ....	20
<b>Figura 5</b> - Concentração de nutrientes e clorofila (linhas) juntamente com biomassa bacteriana (em barras) para todos os três transectos. A letra F indica a posição da região frontal para o transecto. ....	22
<b>Figura 6</b> - Concentração de bacterioplâncton (A) e biomassa bacteriana (B) para a região de estudo. As regiões frontais são representadas pela letra "F".	25
<b>Figura 7</b> - Correlação entre abundância bacteriana e o gradiente térmico para todos os pontos amostrais. ....	26
<b>Figura 8</b> - Correlação entre biomassa bacteriana e o gradiente térmico para todos os pontos amostrais. ....	26
<b>Figura 9</b> - Correlação entre biomassa bacteriana e o gradiente térmico excluindo-se as estações costeiras. ....	27
<b>Figura 10</b> - Correlação entre a abundância bacteriana e o gradiente térmico excluindo-se as estações costeiras. Correlação significativa $p < 0.05$ . ....	27

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	IV
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. METODOLOGIA.....	14
2.1. Área de Estudo .....	14
2.2. Amostragem e Análise .....	15
3. RESULTADOS .....	18
3.1. Parâmetros Físicos e Frentes .....	18
3.2. Nutrientes e Clorofila.....	21
3.3. Bacterioplâncton .....	23
4. DISCUSSÃO .....	28
5. SUMÁRIO E CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

Plataformas continentais ocupam somente 7-10% da área total dos oceanos (Laruelle et al 2013). No entanto, são responsáveis por até 25% da produtividade primária global marinha (Wollast et al, 1998), o que equivale a 15 PgC.ano<sup>-1</sup> (Rousseaux e Gregg, 2014). A grande dinâmica de processos hidrográficos temporal e espacialmente torna estudos nas plataformas continentais complexos. Por exemplo, enquanto ecossistemas costeiros marginais emitem 0.5 PgC.ano<sup>-1</sup>, as plataformas continentais removem cerca de 0.33 – 0.36 PgC.ano<sup>-1</sup> (Chen-Tung e Borges, 2009). Por outro lado, plataformas continentais de baixas latitudes, < 30°, emitem aproximadamente 0.1 PgC.ano<sup>-1</sup> para a atmosfera (Bauer et al, 2013). Modelos como estes contam com uma grande incerteza, a qual é ainda maior em plataformas continentais de baixas latitudes (Bauer et al, 2013).

A plataforma continental de Santa Catarina está localizada na Plataforma Continental Sudeste-Sul do Brasil, entre 26 e 29°S de latitude, onde a grande variabilidade espaço-temporal de massas d'água é resultante dos eventos sinópticos originados pelos ventos dominantes ao longo do ano (Piola et al., 2004; Moller et al., 2008; Piola et al., 2008a; Piola et al., 2008b; Campos et al 2013; Brandini et al., 2014). Por exemplo, a presença de uma massa d'água mais quente e oligotrófica no verão e uma intrusão de águas menos salinas e mais frias, ricas em nutrientes vindas do Sul no inverno é observada anualmente. Ainda são notáveis processos de ressurgência em pontos como o Cabo de Santa Marta, durante o verão (Castro et al., 2005). A formação de frentes - estruturas tridimensionais estreitas, causadas por diversos mecanismos na interface entre

regiões que apresentam diferentes características físicas, químicas e biológicas (Acha et al., 2015) na região já foi descrita, com formação de vórtices, meandros e importantes frentes durante todo o ano (Pereira et al., 2009, Brandini et al., 2014; Acha, 2004). Porém, são mais intensos no inverno (Zanella et al., 1998). Nos meses de inverno há o predomínio dos ventos de Sul/Sudeste (Moller et al., 2008; Piola et al., 2005). Estes ventos são responsáveis pela intrusão de águas superficiais diluídas do Rio da Prata (APP) na direção N-NE, vindo a se misturar com a descarga da Lagoa dos Patos (RS) e chegando a latitudes mais baixas, em torno de 25° (Odebrecht e Castello, 2001; Piola et al., 2005; Moller et al., 2008; Pimenta et al., 2005). Esta água mais fria vinda do Sul possui grande importância para a produtividade primária, trazendo importantes nutrientes, como fosfato e silicato, para menores latitudes (Braga et al., 2008).

A localização das frentes parece ter grande importância na relação entre a distribuição de organismos vivos, seja atuando como uma barreira física seja atuando como um atrator de organismos devido à dinâmica e enriquecimento por nutrientes (Acha et al., 2015). Há ainda fortes evidências de correlações entre os estoques pesqueiros e a dinâmica das frentes na região (Andrade, et al., 1993), sendo que o conhecimento desta dinâmica é cada vez mais economicamente importante.

Os padrões de distribuição dos organismos planctônicos são modificados pela presença dessas frentes, movimentos verticais de águas ricas em nutrientes nas áreas frontais tem uma relação direta com a produção fitoplanctônica, sendo a base para a produção nas frentes oceânicas (Acha et al. 2015). Alguns trabalhos evidenciam a presença e acúmulo de organismos planctônicos nestas frentes (Brandini et al., 2014; Franks, 1992; Saraceno et al., 2005) e diversidade

aumentada (Brandão et al. 2015). Num transecto realizado na região em estudo, a frente halina de superfície acumula dinoflagelados, coccolitoforídeos e diatomáceas (Brandini et al 1989). Contudo informações sobre a relação entre as frentes e a distribuição de organismos mais simples, como bacterioplâncton, com tamanho celular entre 0.2 e 2 $\mu$ m ou picoplâncton, são escassas.

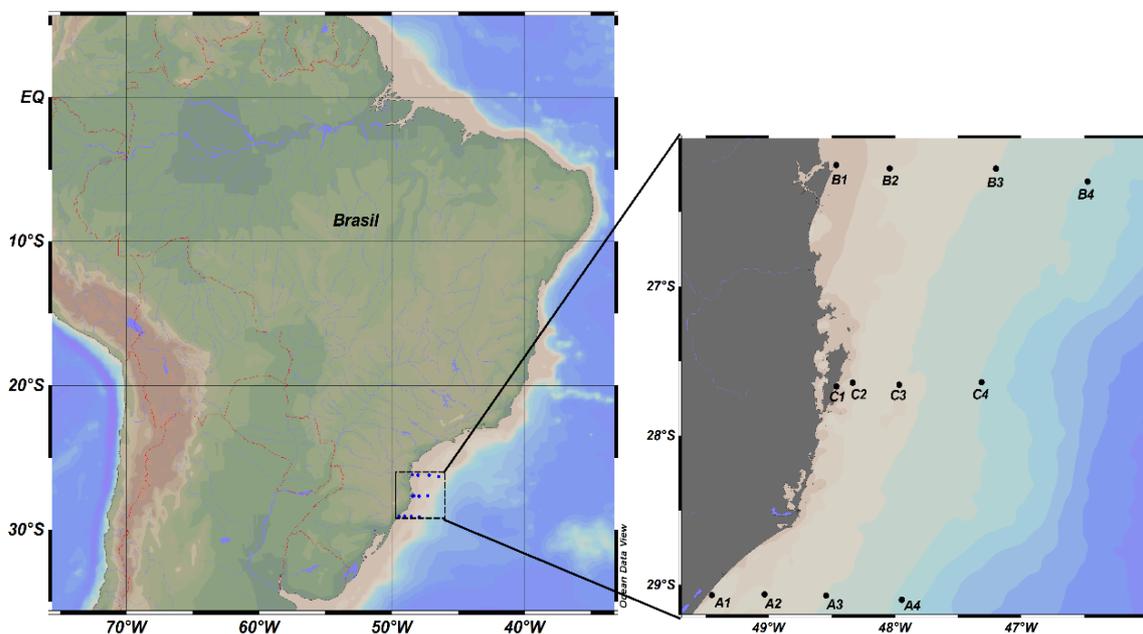
O bacterioplâncton atua em todos os ciclos biogeoquímicos e é o principal integrante na alça microbiana, incorporando o carbono orgânico dissolvido (COD) que seria perdido no sistema (Azam et al., 1983, Azam et al., 1998). Esse mecanismo pode ser aumentado quando associado aos exudatos orgânicos do fitoplâncton (Azam e Malfati, 2007), gerando um acoplamento com a quantidade, estrutura da comunidade fitoplanctônica e disponibilidade de COD (Bergen et al., 2015). Alguns estudos evidenciaram maior produção bacteriana em zonas frontais (Heinänen et al., 1995, Bergen et al., 2015), mas pouco se conhece sobre a dinâmica das populações bacterianas nestas feições.

Assim, espera-se que a biomassa e a densidade de bacterioplâncton aumente nas zonas frontais de plataforma, assim como observado para outros organismos planctônicos na Plataforma Continental de Santa Catarina.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo

O presente estudo foi realizado sobre a plataforma continental do estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil. O cruzeiro oceanográfico foi realizado a bordo do Navio de Pesquisa Soloncy Moura (CEPSUL/ICMBio), em 2010, entre os dias 10 a 27 de agosto. Três transectos foram definidos perpendiculares à costa do estado de Santa Catarina – SC (Figura 1): um transecto mais ao Sul estabelecido na região de Araranguá (29°S), um central ao largo da Ilha do Campeche (Florianópolis, 27,6°S) e um mais ao Norte, a partir da Baía da Babitonga (Joinville 26,2°S).



**Figura 1** - Região de Estudo e pontos de coleta para os três transectos realizados no inverno de 2010.

Em cada transecto foram delimitados quatro pontos amostrais, localizados nas isóbatas de 20, 50, 100 e 200m e denominados de 1 a 4, na ordem crescente

de profundidade, antecidos pelas iniciais de cada transecto (Figura 1). Neste estudo, procurou-se definir uma malha amostral que englobasse desde a região costeira/plataforma interna até a região da plataforma externa/quebra. A coleta das amostras precisou ser dividida em duas etapas devido a condições climáticas desfavoráveis. A primeira foi realizada entre os dias 10 e 14 de agosto e a segunda entre os dias 20 e 24 do mesmo mês.

## **2.2. Amostragem e Análise**

Em cada ponto amostral, os dados de temperatura e salinidade foram obtidos, com o uso de CTD, para compor o gráfico de temperatura x salinidade (TS). Para evidenciar as massas d'água presentes na região de estudo, utilizou-se dos intervalos termohalinos propostos por Piola et al. (2000) e Moller et al. (2008).

A delimitação das frentes termais foi estabelecida a partir de imagens de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtidas através de imagens de satélite de resolução de 1km com o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo do satélite AQUA. Escolheu-se duas imagens para o período de estudo, dias 13 e 21 de agosto, que apresentavam a menor cobertura de nuvens, permitindo melhor visualização da área de estudo e cálculo das regiões frontais. Pixels indicados como nuvens ou que apresentaram erros foram excluídos das imagens TSM antes das frentes serem delimitadas. Essa delimitação de frentes foi feita utilizando-se o Software SeaDAS (NASA, v.6.4), onde primeiramente foram excluídas as interferências e em seguida aplicados filtros de gradiente Sobel E-W e média/passa-baixa para evidenciá-las (Zanella

et al. 1998). A delimitação da zona frontal foi utilizada baseada nos critérios propostos por Fedorov (1983) que assumem valores de gradientes para regiões frontais de duas ordens de grandeza maiores que os gradientes médios. Para regiões tropicais e temperadas os gradientes médios variam entre  $2 \times 10^{-3}$  e  $4 \times 10^{-3}$  °C/km (Fedorov, 1983). Deste modo utilizou-se o gradiente mínimo para detecção de frentes como 0,2°C/km. Cada ponto amostral foi identificado e os gradientes dos pixels que os continham foram considerados como o gradiente do ponto amostral.

Os pontos foram analisados em imagens de satélite diferentes para os cálculos das frentes, sendo os pontos B1, B2, B3, B4, C1 e C2 amostrados na primeira etapa, considerando a imagem do dia 13/08 e os pontos C3, C4, A1, A2, A3 e A4 amostrados na segunda etapa, considerando a imagem do dia 21/08. Decidiu-se escolher esta abordagem devido à dinâmica destas feições.

A água foi amostrada com garrafas de Van Dorn de 5 L, provida de fechamento vertical. A amostra para análise da biomassa fitoplanctônica e concentração de nutrientes foi acondicionada em frasco de polietileno previamente lavado, sendo resfriada em caixa térmica e ao abrigo da luz até filtração na embarcação. As filtrações foram feitas em microfiltros de fibra de vidro (0,5 µm de porosidade e 47 mm de Ø). Os filtrados destinados às análises de nutrientes foram imediatamente congelados à -18°C até chegada em laboratório.

As concentrações de nitrato+nitrito, amônia, fosfato e silicato foram feitas utilizando-se de métodos colorimétrico de acordo com Grasshoff et al. (1999). As análises foram feitas em espectrofotométricos Micronal (Modelo AJX-1600),

com cubetas de 5cm de passo óptico. Os pigmentos fitoplanctônicos dos filtros foram extraídos em acetona 90 % (v/v) por 18h a 4°C no escuro. A absorvância dos extratos foi lida em espectrofotômetro e a determinação da concentração de Clorofila a foi feita baseada nas equações de SCOR-Unesco (1966).

A densidade e biomassa bacterianas foram analisadas a partir de amostras fixadas a bordo com formaldeído 2% (concentração final) imediatamente após coleta. A densidade bacteriana (células/L) foi determinada após filtração em laboratório de uma alíquota de 2mL através de membranas de polycarbonato escurecidos de 0,2µm de porosidade. As amostras foram coradas com DAPI (4',6-diamidino-2-phenylindole) (Porter and Feig, 1980). Após o processo de filtragem, os filtros foram montados em lâminas e as células contadas em microscópio de epifluorescência modelo Olympus Bx40-FL. O biovolume bacteriano (µm<sup>3</sup>) foi calculado usando-se o algoritmo sugerido por Massana et al. (1997). A biomassa bacteriana (fgC/célula) foi estimada usando-se o algoritmo proposto por Norland (1993), baseando-se no biovolume:  $B = 120 \times V^{0.72}$ , onde B = biomassa, V = biovolume e 120 = fator de conversão para carbono (fgC/µm<sup>3</sup>).

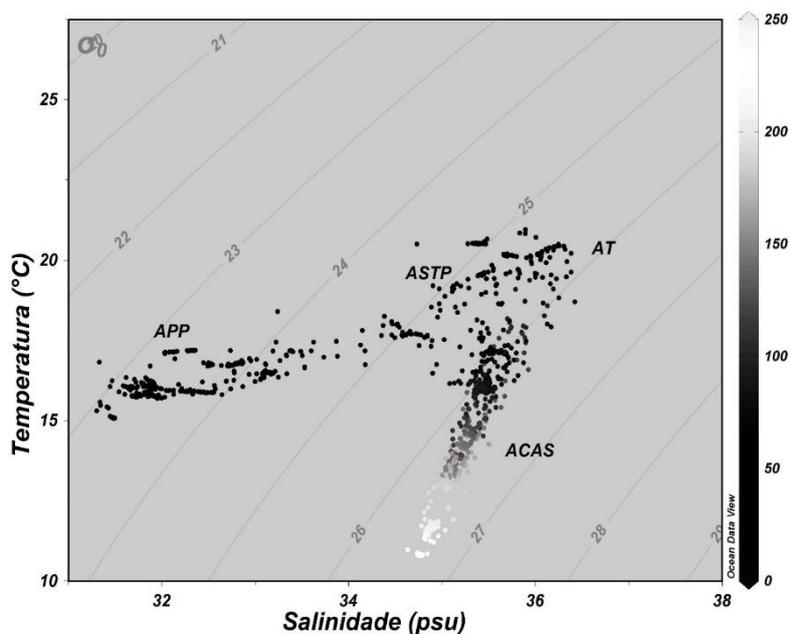
Todos os dados foram plotados utilizando-se o programa Ocean Data View ODV 4.5.1 (SCHLITZER, 2008). Gráficos de dispersão e parâmetros de correlação foram calculados para analisar a correlação entre os dados bióticos e abióticos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Parâmetros Físicos e Frentes

No inverno de 2010, observou-se a presença de massas d'água relacionadas com a Água Tropical (AT), Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água da Pluma do Prata (APP).

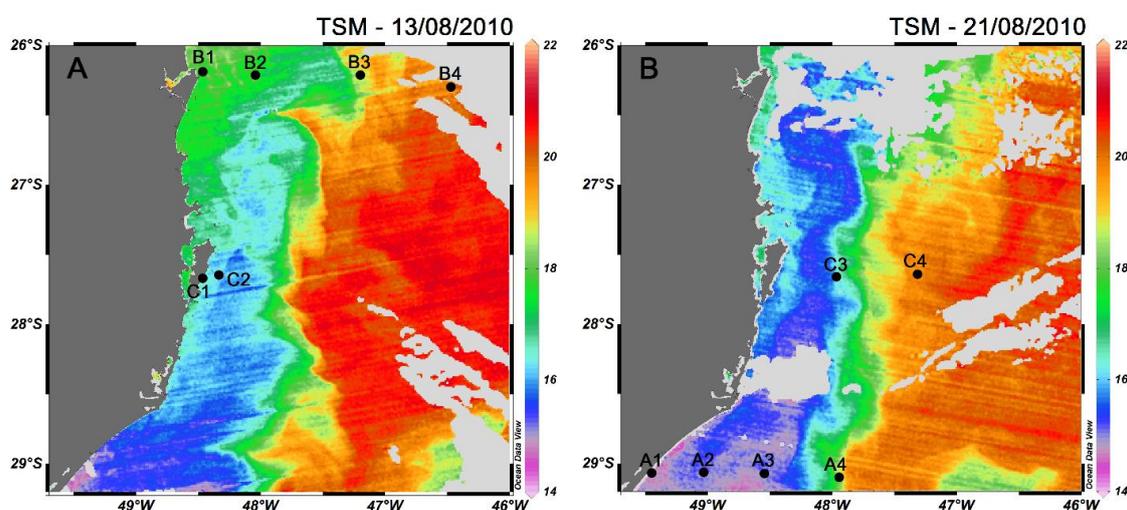
A plataforma continental de SC apresentou, de forma geral, uma água com baixa salinidade  $S < 34,6$  e temperatura  $T < 18,5^{\circ}\text{C}$ . Os menores valores de temperatura e salinidade foram observados para o transecto Araranguá, na estação mais costeira (A1) com a salinidade foi de 31,03 e a temperatura foi de  $15,51^{\circ}\text{C}$ . As águas superficiais da plataforma apresentaram valores termohalinos próximos dos valores descritos para a APP. Esta massa ficou bastante evidenciada no gráfico TxSxP (Figura 2), dominando a plataforma no período amostral.



**Figura 2** - Gráfico TxSxP indicando as massas d'água dominantes sobre a plataforma continental de Santa Catarina no inverno de 2010. Evidencia-se a presença da APP e ASTP em regiões superficiais e a ACAS restrita a regiões mais profundas.

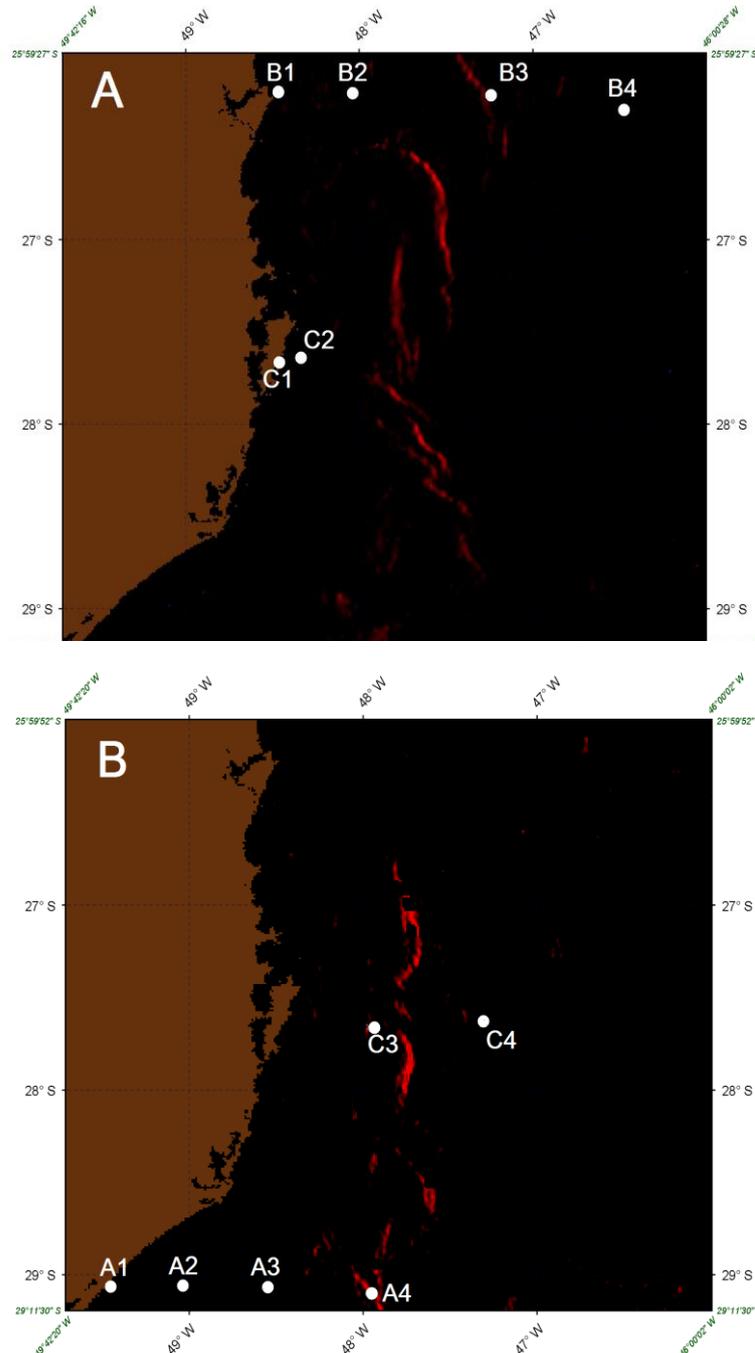
O sinal da ACAS ficou restrito a grandes profundidades na quebra da plataforma, abaixo dos 150m, não chegando em nenhum momento próxima à superfície. A AT ficou confinada em pontos de subsuperfície próximo à quebra de plataforma nos transectos Campeche e Babitonga. Já a ASTP cobriu boa parte da área externa da plataforma continental a partir do transecto de Campeche e teve influência nas estações C4 e B4 com valores de temperatura de 20.26°C e 18.94°C e salinidade de 35.56 e 35.70, respectivamente.

As imagens de TSM evidenciam esta cobertura de águas mais frias para a plataforma continental de Santa Catarina nos dias 13/08/2010 (Figura 3A) e 21/08/2010 (Figura 3B), evidenciando a interface entre as águas mais frias da APP e mais quentes da ASTP. Observa-se águas mais frias no gráfico do dia 21 em relação ao dia 13, assim como uma maior intrusão em direção a norte.



**Figura 3** - TSM da área de estudo nos dias 13/08/2010 (A) e 21/08/2010(B), evidenciando a intrusão de uma água mais fria sobre a Plataforma de SC. Pontos amostrais (1,2,3 e 4) nos transectos de Babitonga (B), Campeche (C) e Araranguá (A).

Foram localizadas frentes em toda a plataforma continental do estado, onde todos os três transectos apresentaram pelo menos um ponto dentro de uma zona frontal (Figura 4), sendo eles os pontos A4, C3 e B3 com gradientes de  $0,57^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,  $0,38^{\circ}\text{C}/\text{km}$  e  $0,22^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , respectivamente.



**Figura 4** - Imagem para os dias 13/08/2010 (A) e 21/08/2010 (B) da área de estudo (plataforma continental de Santa Catarina) com destaque para as zonas frontais, em vermelho, delimitadas por um gradiente de temperatura maior que  $0,2^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ . Pontos amostrais (1,2,3 e 4) nos transectos de Babitonga (B), Campeche (C) e Araranguá (A).

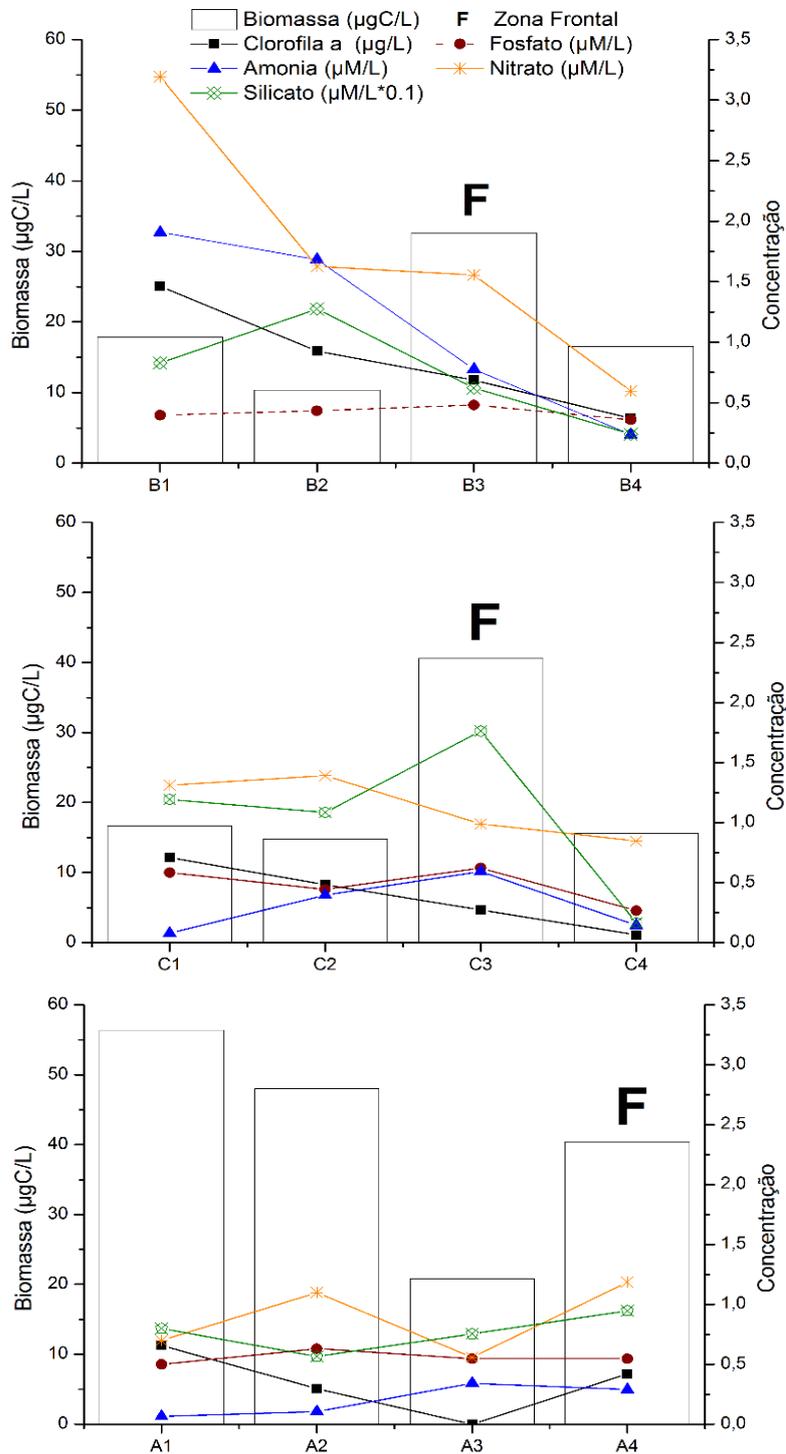
Os menores gradientes encontrados foram nos pontos C2, B4 e A3 com 0,01°C/km, 0,01°C/km e 0,02°C/km respectivamente.

### 3.2. Nutrientes e Clorofila

As maiores concentrações de silicato estiveram associadas as águas de maior influência costeiras e área de frente, os máximos foram encontrados nos pontos C3, B2 e C1, com 17,62µM, 12,75 µM e 11,93µM, respectivamente. Os menores valores foram observados nas águas mais afastadas da costa, nos pontos C4 (1,66 µM) e B4 (2,41µM).

As concentrações de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) variaram entre 0,07µM e 1,91µM , com o mínimo no ponto A1 e o máximo no B1. A forma reduzida do nitrogênio ( $\text{NH}_4^+$ ) somente predominou sobre a forma oxidada (nitrato,  $\text{NO}_3^-$ ) no ponto B2, representando 51% do *pool* de nitrogênio, seguido do ponto B1 e C3 com 37%. Os maiores valores de amônio foram encontrados no transecto da Babitonga, nos pontos B1 (1,91µM), B2 (1,68µM) e B3 (0,78µM), enquanto as estações mais costeiras dos transectos Araranguá e Campeche, A1 e C1, apresentaram concentrações de somente 0,07 e 0,08µM, respectivamente. A distribuição média de amônio por transecto foi decrescente do norte ao sul, sendo Babitonga com uma média de  $1,15 \pm 0,78\mu\text{M}$ , Campeche com  $0,30 \pm 0,24\mu\text{M}$  e Araranguá com  $0,20 \pm 0,14\mu\text{M}$ . No entanto, o  $\text{NO}_3^-$  foi a forma de nitrogênio predominante, representando  $74,6 \pm 14,4 \%$  do total. As concentrações de nitrato variaram entre 0,56 e 3,19 µM (Figura 5), tendo os valores mais elevados no transecto da Babitonga, pontos B1, B2, B3 (3,19µM, 1,63µM e 1,56µM, respectivamente), e as menores nos pontos A3 e B4 (0,56µM, 0,60µM, respectivamente) (Figura 5). Assim como para amônio, os maiores valores médios foram observados no

transecto da Babitonga,  $1,74 \pm 1,07 \mu\text{M}$ , seguidos pelo Campeche,  $1,13 \pm 0,26 \mu\text{M}$  e Araranguá,  $0,88 \pm 0,30 \mu\text{M}$ .



**Figura 5** - Concentração de nutrientes e clorofila (linhas) juntamente com biomassa bacteriana (em barras) para todos os três transectos. A letra F indica a posição da região frontal para o transecto.

O fosfato foi menor em pontos amostrais mais afastados da costa, como os pontos C4 e B4, com  $0,27\mu\text{M}$  e  $0,36\mu\text{M}$ , respectivamente. Por outro lado, os pontos próximos da costa dos transectos Campeche e Araranguá apresentaram os maiores valores, C1 ( $0,62\mu\text{M}$ ), C3 ( $0,63\mu\text{M}$ ) e A2 ( $0,58\mu\text{M}$ ). O padrão de distribuição das médias de fosfato por transecto foi inversa do observado para nitrogênio, onde o maior valor foi observado em Araranguá  $0,56 \pm 0,05\mu\text{M}$ , seguido por Campeche,  $0,48 \pm 0,16\mu\text{M}$  e Babitonga  $0,42 \pm 0,05\mu\text{M}$  (Figura 5). No geral, a razão NP foi baixa em todos os pontos amostrais, sendo o maior calculado para os três pontos iniciais do transecto da Babitonga, B1, B2 e B3 com 8, 5,5 e 3,1, respectivamente. A mínima razão foi encontrada no ponto mais costeiro do transecto de Araranguá com 0,83. Os valores de clorofila a variaram entre 0,06 e  $1,46\mu\text{g/L}$  para a área de estudo, sendo que os maiores valores ocorreram próximos da costa nos transectos da Babitonga, B1 ( $1,46\mu\text{g/L}$ ) e B2 ( $0,93\mu\text{g/L}$ ), e no Campeche (C1 com,  $0,71\mu\text{g/L}$ ). Novamente o padrão de distribuição dos valores médios de clorofila a por transecto foi semelhante ao observado para as formas inorgânicas de nitrogênio, com maior média na Babitonga,  $0,86 \pm 0,46\mu\text{g/L}$ , seguidos pelo Campeche,  $0,38 \pm 0,28\mu\text{g/L}$  e Araranguá,  $0,34 \pm 0,27\mu\text{g/L}$ .

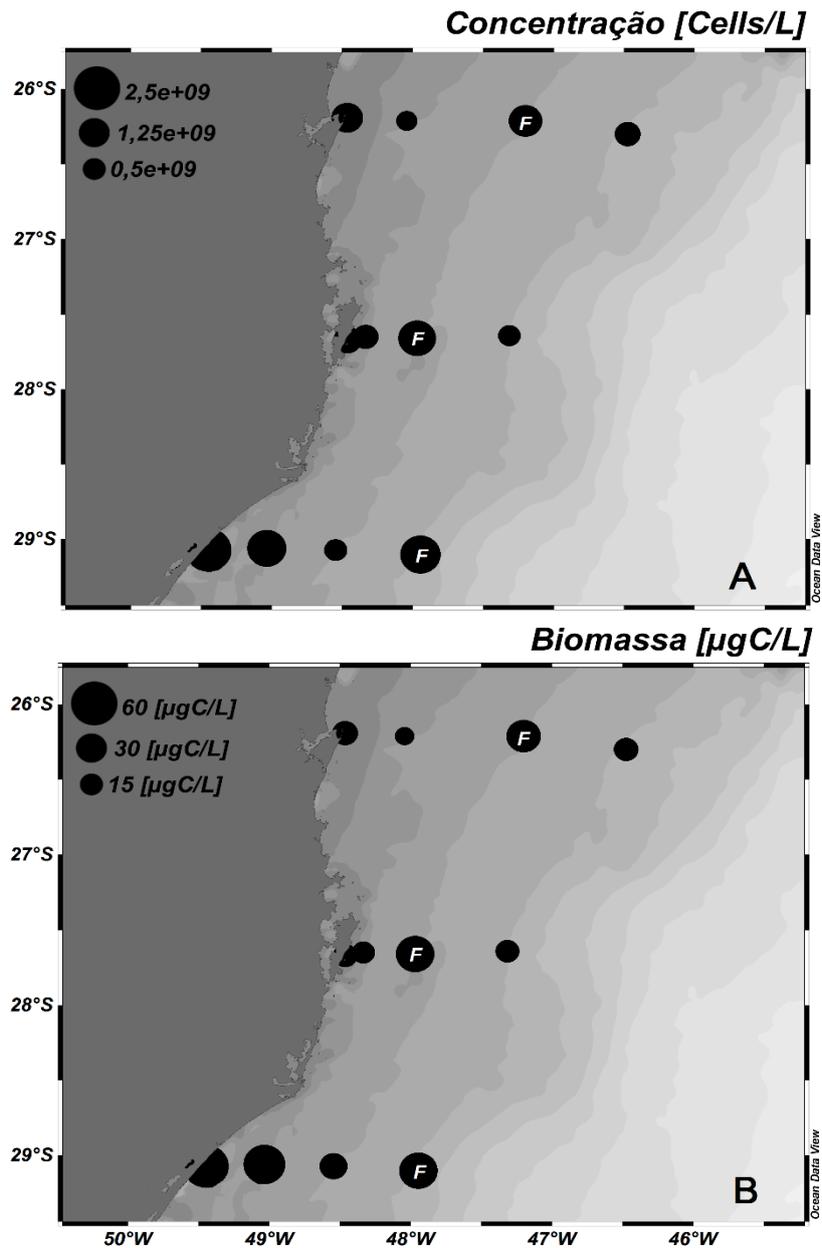
### **3.3. Bacterioplâncton**

A distribuição do bacterioplâncton ao longo dos três transectos foi diferenciada em termos de distribuição costa-oceano. Para o transecto de Araranguá, a máxima abundância de bacterioplâncton foi na região costeira, A1, com um valor de  $2,42 \times 10^9$  células/L (Figura 6A), seguido por A2, com  $1,74 \times 10^9$  células/L. O ponto A3 teve a menor abundância do transecto Araranguá, com

6,09 x10<sup>8</sup> células/L, mas no ponto mais exterior, A4, onde se localiza a zona frontal observou-se novamente um aumento no número de células, com 1,87 x 10<sup>9</sup> células/L. Já para o transecto do Campeche, diferentemente do de Araranguá, a região costeira apresentou um menor densidade, 9,16x10<sup>8</sup> células/L, no ponto C1. O ponto C2 apresentou um valor ainda menor, 7,50 x 10<sup>8</sup> células/L, e o ponto C3 localizado na região frontal apresentou o máximo valor, 1,63 x 10<sup>9</sup> células/L. Novamente, fora da zona frontal, a mínima abundância do transecto ocorreu no ponto C4, com 5,75 x 10<sup>8</sup> células/L. O transecto de Babitonga apresentou novamente uma abundância mais elevada no ponto mais costeiro como observado em Araranguá, 1,13x10<sup>9</sup> células/L no ponto B1. Já no ponto B2, uma abundância mínima de 4,95 x 10<sup>8</sup> células/L foi observada, seguida pela máxima abundância do transecto no ponto B3, onde se localiza a frente, 1,28 x 10<sup>9</sup> células/L. O ponto mais afastado da costa, fora da zona frontal, B4, voltou a apresentar valor bem baixos, de 7,71 x 10<sup>8</sup> células/L.

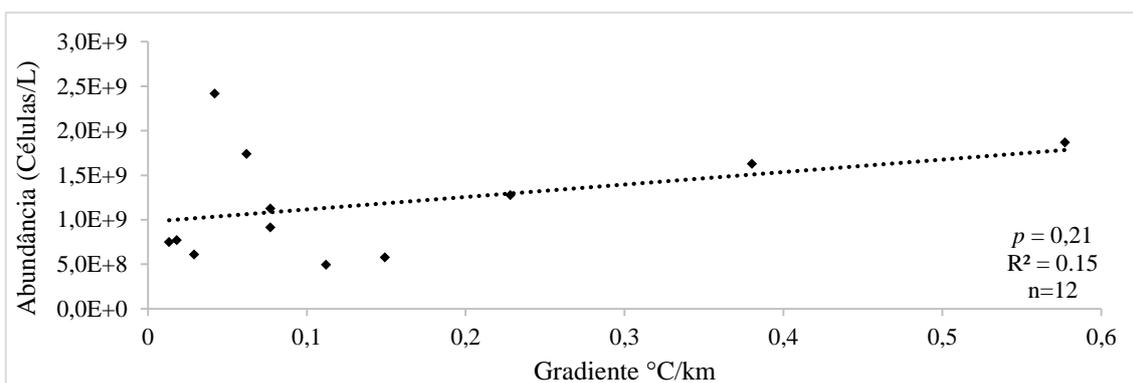
No geral, a biomassa acompanhou o padrão observado para abundância do bacterioplâncton. Assim como para a abundância, a biomassa foi maior na região mais costeira para o transecto de Araranguá com 56,41µgC/L (Figura 6B). O segundo ponto apresentou um valor de 48,00 µgC/L, diminuindo para 20,77 µgC/L no ponto A3 e voltando a subir para 40,43 µgC/L no ponto A4, onde se localiza a zona frontal. No transecto do Campeche, a biomassa de bacterioplâncton apresentou valores mais baixos nos pontos mais próximos da costa, quando comparado ao transecto de Araranguá (16,66 e 14,78 µgC/L para os pontos C1 e C2, respectivamente). O ponto localizado na zona frontal, C3, apresentou o maior valor do transecto, ou seja 40,55 µgC/L. O último ponto, C4, fora da frente, apresentou de volta biomassa mais baixa, semelhante aos mais

costeiros (15,60  $\mu\text{gC/L}$ ). No transecto da Babitonga, a biomassa no ponto mais costeiro, B1, foi de 17,88  $\mu\text{gC/L}$  e caiu para 10,35  $\mu\text{gC/L}$  no ponto B2, apresentando o máximo de 32,62  $\mu\text{gC/L}$  no ponto B3, dentro da zona frontal. Mais uma vez, o ponto mais afastado da costa e fora da zona frontal teve uma biomassa baixa, 16,51  $\mu\text{gC/L}$ .



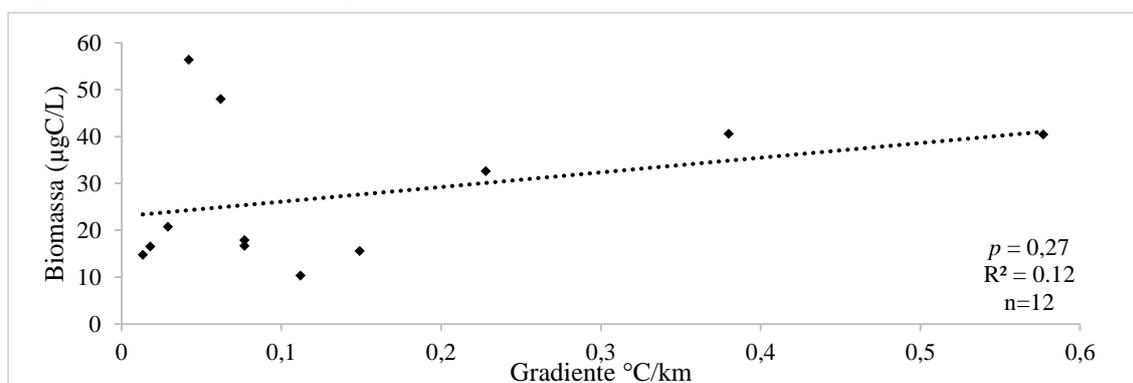
**Figura 6** - Concentração de bacterioplâncton (A) e biomassa bacteriana (B) para a região de estudo. As regiões frontais são representadas pela letra "F".

A relação entre a abundância e biomassa do bacterioplâncton e o gradiente térmico para cada ponto amostral foi positiva. Os dados de abundância bacteriana apresentaram um  $R^2$  de 0,15, porém não apresentaram uma correlação significativa  $p > 0,05$  (Figura 7).



**Figura 7** - Correlação entre abundância bacteriana e o gradiente térmico para todos os pontos amostrais.

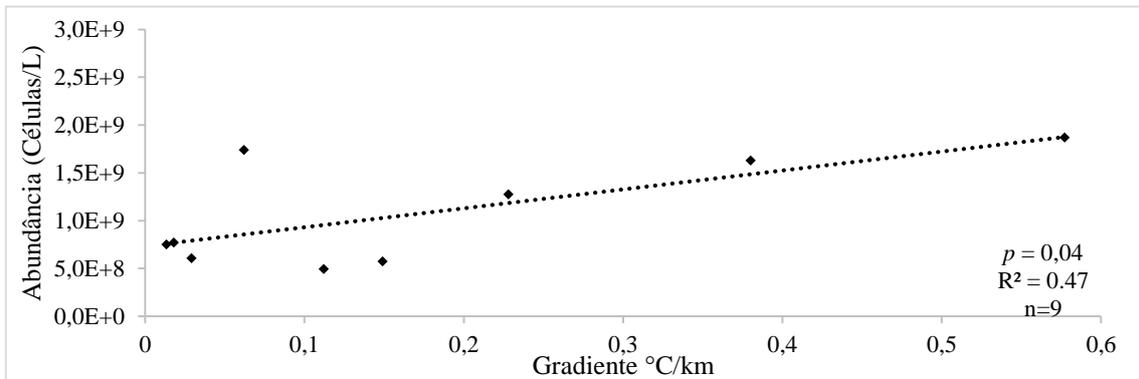
Para a biomassa, obteve-se um  $R^2$  de 0,12, onde a correlação não foi significativa,  $p > 0,05$  (Figura 8).



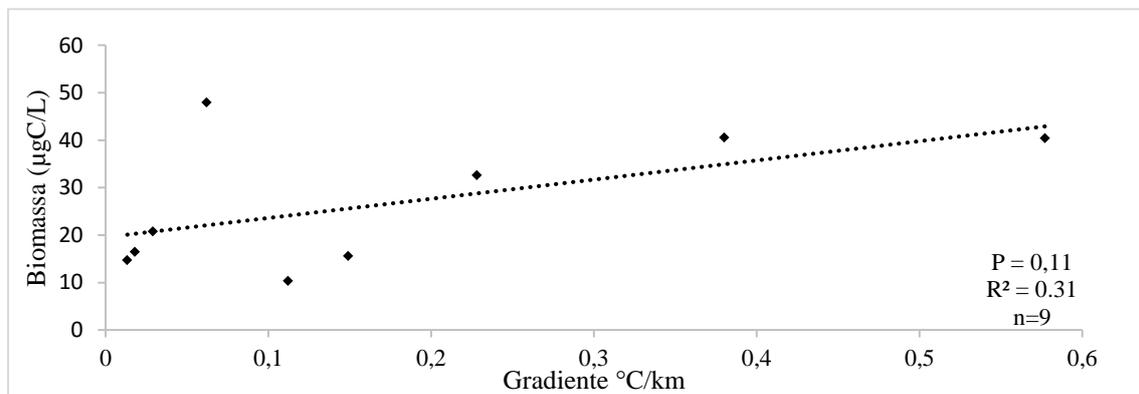
**Figura 8** - Correlação entre biomassa bacteriana e o gradiente térmico para todos os pontos amostrais.

Removendo as três estações costeiras, A1, C1 e B1, das análises, a correlação entre abundância de células e o gradiente térmico apresentou um  $R^2$  igual a 0,47, sendo significativa,  $p < 0,05$  (Figura 10). O índice de correlação de Pearson foi de 0,69, indicando uma forte correlação entre a abundância bacteriana e o gradiente térmico. No entanto, a correlação entre a biomassa bacteriana e o gradiente

térmico apresentou um maior valor de  $R^2$  de 0,31, contudo apesar de maior, ainda não foi significativa  $p = 0,11$  (Figura 9).



**Figura 10** - Correlação entre a abundância bacteriana e o gradiente térmico excluindo-se as estações costeiras. Correlação significativa  $p < 0,05$ .



**Figura 9** - Correlação entre biomassa bacteriana e o gradiente térmico excluindo-se as estações costeiras

## 4. DISCUSSÃO

As zonas frontais presentes na plataforma continental de Santa Catarina se mostraram como importantes acumuladoras da biomassa do bacterioplâncton. A interação entre as frentes e os microrganismos marinhos é um estudo relativamente recente. A partir da década de 70 foi sendo observada uma correlação entre as regiões frontais e a grande e persistente abundância biológica de organismos fitoplanctônicos (Pingree et al. 1975). Sendo que eventos de marés vermelhas vieram a ser costumeiramente associadas a estas feições (LeFévre, 1986; Sournia, 1994). A partir de diversos estudos ficou cada vez mais clara a correlação das frentes com aumento na concentração de organismos planctônicos nestas regiões, sendo que podemos comparar as frentes como oásis no meio dos oceanos (Acha, 2015).

As frentes aqui observadas apresentam elevadas concentrações de células do bacterioplâncton e de nutrientes, principalmente os silicato e nitrato, sendo estas em escala comparável às áreas sob forte influência da APP e Água da Pluma da Babitonga (APB). Esta característica reforça a importância da frente sob o aspecto biogeoquímico, como região que apresenta uma grande abundância biológica devido à produtividade local (Fournier et al., 1979) ou por acúmulo mecânico devido ao transporte de material particulado e dissolvido por processos físicos associados a convergência de massas da água (Olson & Backus, 1985).

De maneira geral, a APP teve um claro padrão de distribuição sentido sul-norte, onde foi detectada claramente em 7 dos 8 pontos amostrais nos transectos mais ao sul – Campeche e Araranguá, e perdendo suas características mais ao

norte, no transecto de Babitonga, com águas já nos limites superiores de temperatura e salinidade da APP, indicando uma maior diluição em relação aos pontos amostrais mais ao sul. O ponto mais próximo à desembocadura da Baía da Babitonga (B1) apresentou os parâmetros termohalinos semelhantes aos da APP descritos para a região de Itajaí (SC), localizada sob a latitude de  $-26,9^{\circ}$ , contudo suas características químicas indicam que se trata de uma outra massa de água. Esta água (B1) apresentou maior concentração de nitrato e de amônio, e menor de fosfato e silicato em relação aos demais pontos amostrais sob influência da APP, como mostrado por trabalhos pretéritos na região (Braga et al., 2008). Ou seja, este ponto deve estar sob forte influência das águas da Pluma da Baía da Babitonga (APB) e não do sinal da APP. Isto se deve principalmente pela deflexão para o oceano aberto da APP após a região da Ilha de Santa Catarina (Piola et al., 2004; Pereira et al., 2009), que fica evidenciada pela imagem TSM do dia 13/08/2010, mostrando as águas mais frias se afastando da costa e aumentando a temperatura superficial do mar em direção ao norte, onde localiza-se o transecto da Babitonga. Esta tendência foi observada por outros autores (Moller et al., 2008; Piola et al., 2008b), onde a diminuição da extensão da APP na plataforma de SC ocorreu em direção ao norte, se afastando da costa a partir da Ilha de Santa Catarina.

A zona frontal descrita em superfície próximo à quebra da plataforma no Sul do Brasil, interface entre as águas da APP e a ASTP (Pereira et al., 2009; Zanella et al., 1998), foi observada pelas imagens de satélite da TSM em todos os três transectos, sendo que a intensidade do gradiente da frente diminuiu para as latitudes menores, em direção ao transecto da Babitonga.

De maneira geral, o gradiente decrescente de abundância e biomassa de microrganismos sentido costa-oceano foi observado neste estudo. Porém, a relação entre as frentes e os parâmetros bacterianos foi tão marcante que somente o transecto de Araranguá, que apresentou uma forte influência costeira nos pontos A1 ( $2,42 \times 10^9$  Cells/L e  $56,41 \mu\text{gC/L}$ ) e A2 ( $1,74 \times 10^9$  Cells/L e  $48,00 \mu\text{gC/L}$ ) não teve seu máximo na região frontal ( $1,87 \times 10^9$  Cells/L e  $40,43 \mu\text{gC/L}$ ). Os pontos mais costeiros do transecto de Araranguá apresentaram baixos valores de temperatura e salinidade, sendo que o ponto A1, teve os menores valores termohalinos para todos os pontos amostrados com temperatura de  $15,51^\circ\text{C}$  e salinidade igual a 31,03, apresentando uma maior influência da APP. A Água da Pluma do Prata parece exercer uma importante contribuição para a comunidade bacteriana uma vez que os dois transectos mais ao Sul apresentaram maiores valores médios de células ( $2,42 \times 10^9$  Cells/L  $\pm$   $6,89 \times 10^8$  Cells/L) e biomassa ( $31,65 \mu\text{gC/L}$   $\pm$   $16,57 \mu\text{gC/L}$ ). O transecto Araranguá ( $41,40 \mu\text{gC/L}$   $\pm$   $15,22 \mu\text{gC/L}$ ) apresentou mais que o dobro da biomassa média apresentada pelo transecto de Babitonga ( $19,34 \mu\text{gC/L}$   $\pm$   $9,44 \mu\text{gC/L}$ ). Além disto, dados recentes mostram que os valores de biomassa bacteriana e abundância celular são cerca de 10 vezes maiores no inverno, com a presença da APP na plataforma de SC, em comparação com o verão, onde há o predomínio de águas mais quentes e oligotróficas (Fontes et al., em publicação), evidenciando sua importância para o bacterioplâncton na região.

O incremento de microrganismos nas regiões de interface entre massas d'água com características similares às encontradas para nossa região, com uma massa d'água fria e mesotrófica e uma massa mais quente e oligotróficas,

já foram evidenciadas (Taylor et al., 2012). Estas frentes formam intensos gradientes entre as características biogeoquímicas de ambas as massas.

O bacterioplâncton na região frontal possui um importante papel na ciclagem de nutriente e na fixação de carbono. As regiões frontais apresentam intensa incorporação de carbono pelas bactérias e apresentam as maiores taxas de crescimento bacteriano, além de suportarem grandes quantidades de outros microrganismos que dependem diretamente da remineralização dos nutrientes (Samo et al., 2012; Wambeke et al., 2004; Heinanen,1995). Alguns trabalhos indicam ainda que há uma predominância de bactérias heterotróficas nas regiões frontais e mínimos de autotróficas em relação as massas d'água adjacentes que formam a frente (Taylor et al, 2012; Samo et al., 2012).

Com exceção da região frontal do transecto de Araranguá, a clorofila não esteve correlacionada com o aumento do bacterioplâncton. O bacterioplâncton nem sempre está associado ao máximo de clorofila nas regiões frontais, porém de forma geral, os blooms de fitoplâncton estimulam um incremento na biomassa bacteriana, que pode inclusive sobrepor a biomassa fitoplanctônica nestas regiões (Verheye-Dua et. al, 1988). Em alguns casos, as bactérias heterotróficas possuem um incremento posterior associado ao decaimento dos blooms de cianobactérias e outros componentes do fitoplâncton nas regiões frontais (Heinanen,1995). Esta presença das bactérias heterotróficas pode ajudar a sustentar a produção regenerada e estimular a manutenção na produtividade local associada às frentes.

Todos os pontos amostrados nas regiões frontais apresentaram incrementos nos nutrientes em relação aos pontos adjacentes, sendo que alguns

pontos apresentaram os máximos de nutrientes para os transectos. Evidenciou-se os máximos de fosfato nas frentes para os transectos de Babitonga e Campeche, máximos de silicato para os transectos de Campeche e Araranguá e os máximos de nitrato para o transecto de Araranguá. Este aumento pode estar associado tanto à advecção de nutrientes nas frentes pela circulação vertical (Acha, 2015) quanto pela mineralização pela atividade bacteriana (Azam et al. 2007). Já o aumento de silicato nas zonas frontais de Araranguá e do Campeche, este último, inclusive, possuindo a maior concentração para todos os pontos amostrais, pode estar associado à decomposição bacteriana de diatomáceas (Azam et al. 2007; Bidle et al. 1999) após o decaimento destas populações que comumente tendem a se acumular nas regiões frontais (Brandini et al., 2014; Acha, 2015; Taylor, 2012).

As frentes ainda podem ser importantes regiões de assembleia de diferentes comunidades bacterianas. Como demonstrados por Taylor (2012), as regiões frontais marcam uma clara divisão entre grupos bacterianos dominantes, apresentando grupos dominando águas quentes e oligotróficas (*Prochlorococcus*) de um lado da frente e outro grupo dominante nas águas frias e mesotróficas (*Synechococcus*) do outro lado da zona frontal.

O conhecimento da dinâmica destas populações nas zonas frontais é fundamental para a caracterização da atividade do bacterioplâncton na região. Não existem estudos sobre a distribuição para nossa costa, deste modo há uma lacuna no entendimento deste importante grupo na zona frontal. A caracterização de qual metabolismo é dominante, se autotrófico ou heterotrófico é de suma importância para a caracterização dos fluxos de carbono nestas importantes regiões.

## 5. SUMÁRIO E CONCLUSÃO

O presente estudo buscou evidenciar a influência das frentes entre massas d'água na plataforma continental do estado de Santa Catarina na distribuição da biomassa e abundância bacteriana.

Foi constatada a presença de águas frias provenientes da APP sobre toda a plataforma, com uma diminuição da extensão e distribuição em direção ao norte, sendo que houve um acréscimo na temperatura e salinidade em direção a norte, evidenciando uma maior mistura das águas da APP.

Foram identificadas frentes por toda a plataforma continental em um eixo N-S bem definido. Estas frentes foram formadas na interface entre Água da Pluma do Prata e a Água Subtropical de Plataforma, sendo que estas frentes ficaram localizadas próximas da quebra da plataforma e próximas à isóbata de 100m em alguns pontos. Os gradientes destas frentes diminuíram em direção a norte, tendo o transecto de Araranguá apresentado o maior gradiente com 0,58°C/Km, seguido de Campeche e Babitonga com 0,38°C/Km e 0,23°C/Km respectivamente.

Ficou clara a relação das zonas frontais com incremento de biomassa e abundância bacteriana, sendo que todos os três pontos localizados dentro das zonas frontais apresentaram altos valores de biomassa e abundância bacteriana quando comparados com os pontos adjacentes. As maiores concentrações e biomassa das zonas frontais foram encontradas na região de Araranguá, com  $1,87 \times 10^9$  cells/L e 40,43 µgC/L, seguido do ponto do transecto do Campeche com concentração de  $1,63 \times 10^9$  cells/L e 40,55 µgC/L e por fim a frente localizada no

transecto da Babitonga com concentração de  $1,28 \times 10^9$  cells/L e biomassa de 32,62 ugC/L.

Esta maior abundância pode estar relacionada com processos de enriquecimento locais por advecção de águas profundas ou mesmo pelo acúmulo mecânico destes organismos nas zonas frontais. Houve também uma clara influência costeira nos pontos mais próximos da costa do transecto de Araranguá e Babitonga, sendo influenciados pelo aporte de águas mais ricas da APP para Araranguá e influência das águas da Baía da Babitonga para a região mais ao norte.

Os valores máximos de nutrientes em diferentes pontos das zonas frontais podem ter correlação com as atividades bacterianas de degradação de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes nestes pontos, estudos mais aprofundados sobre a comunidade bacteriana e fitoplanctônica devem ser feitos para confirmar esta hipótese.

As zonas frontais se comportam como *hot-spots* de bacterioplâncton em regiões originalmente oligotróficas. A contribuição do bacterioplâncton tanto para a produtividade primária quanto para a ciclagem de nutrientes é indiscutível, sendo imprescindíveis para a cadeia alimentar nos oceanos. São poucos os estudos sobre a correlação dos parâmetros biológicos e as zonas frontais para a costa brasileira. A correlação entre o bacterioplâncton e estas frentes, inclusive, nunca foi estudada para nossa costa. Deste modo ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a interação das assembleias microbianas e a biogeoquímica nas regiões frontais na plataforma continental do estado de Santa Catarina.

## 6. REFERÊNCIAS

- ACHA, E.M.; MIANZAN, H.W.; GUERRERO, R.A.; FAVERO, M.; BAVA, J. (2004);** Marine fronts at the continental shelves of austral South America. *Journal of Marine Systems* 44:83-105.
- ACHA, E.M.; PIOLA, A.; IRIBARNE, O.; MIANZAN, E. (2015);** Ecological Processes at Marine Fronts: Oases in the Ocean. Springer, Cham.
- ANDRADE, H.A.; BELÉM, A.L.; GARCIA, C.A.E. (1993);** Distribuição espaço-temporal de feições térmicas e pesca de bonito na região sudeste e sul do Brasil. *Anais do VII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*.
- AZAM, F.; MALFATTI, F. (2007);** Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*. 5:782-791.
- AZAM, F. (1983);** The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10:257–263 (1983).
- AZAM, F. (1998);** Microbial control of oceanic carbon flux: the plot thickens. *Science* 280:694–696
- BAUER, J.E.; CAI, W.; RAYMOND, P.A.; BIANCHI, T.S.; HOPKINSON, P.S.; REGNIER, P.A.G. (2013);** The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature Review* 504:61-70
- BERGEN, B.; HERLEMANN, D.P.R.; JÜRGENS, K. (2015);** Zonation of bacterioplankton communities along aging upwelled water in the northern Benguela upwelling. *Frontiers in Microbiology* Vol 6
- BIDLE, K.D.; AZAM, F. (1999);** Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature* 397:508–512.
- BRAGA, E.S.; CHIOZZINI, V.C.; BERBEL, G.B.B.; MALUF, J.C.C.; AGUIAR, V.M.C.; CHARO, M.; MOLINA, D.; ROMERO, S.I.; EICHLER, B.B. (2008);** Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter– summer aspects. *Continental Shelf Research* 28:1649–1661.
- BRANDINI, F.P.; JÚNIOR, M.N.; SIMIÃO, M.; CODINA, J.C.U.; NOERNBERG, M.C.A. (2014);** Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight. *Continental Shelf Research* 89:61–75.

- BRANDINI, F.P.; MORAES, C.L.B.; THAMN, C.A.C. (1989);** Shelf break upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of subtropical nano-and microplankton community off Southeastern Brazil. In: Brandini, F.P.(Ed.), Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton .Editorada UFPR, Curitiba,pp. 47–55.
- BRANDÃO, M.C.; GARCIA, C.A.E.; FREIRE, A.S. (2015);** Large-scale spatial variability of decapod and stomatopod larvae along the South Brazil Shelf Continental Shelf Research 107 11–23
- CAMPOS, P.C.; MÖLLER, O. O.; PIOLA, A.R.; PALMA, E.D. (2013);** Seasonal variability and coastal upwelling near Cape Santa Marta (Brazil). Journal Of Geophysical Research: Oceans, VOL. 118:1420–1433
- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. (2005);** “A Plataforma Continental Sudeste”. In: Estrutura Termohalina e Circulação da Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e Chuí (RS) cap I.. O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- CHEN-TUNG, A.C.; BORGES, A.V. (2009);** 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, 8-10:578-590
- FEDOROV, K.N. (1983);** Lecture and Notes on Coastal and Estuarine Studies. The Physical Nature and Structure of Oceanic Fronts. Spring-Verlag.
- FONTES, M.L.S.; BERRI, A.V.; CARVALHO, M.; FONSECA, A.L.O.; FREIRE, A.S.; ANTÔNIO, R.V. (2015);** Bacterioplankton dynamics on the south-southeastern Brazilian shelf off Santa Catarina (26 to 29°S). Em processo de finalização.
- FOURNIER, R. O.; VAN DET, M.; WILSON, J. S.; HARGRAVES, N. B. (1979);** Influence of the shelf-break front off Nova Scotia on phytoplankton standing stock in winter. J. Fish. Res. Bd Can. 36: 1228-1237
- FRANKS, P.J.S. (1992);** Sink or swim: accumulation of biomass at fronts. Mar. Ecol. Prog. Ser., 82:1–12.
- FRANKS, P.J.S. (1992);** Phytoplankton blooms at fronts: patterns, scales, and physical forcing mechanisms. Reviews in Aquatic Sciences. 6:121-137.

- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (1999);** Methods of seawater analysis, 3 ed. Weinheim: Wiley-VCH, New York, USA.
- HEINANEN, A.; KONONEN, K.; KUOSA, H. (1995);** Bacterioplankton growth associated with physical fronts during a cyanobacterial bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 116, 233–245
- LARUELLE, G.G.; DÜRR, H.H.; LAUERWALD, R.; HARTMANN, J.; SLOMP, C.P.; GOOSSENS, N.; REGNIER, P.A.G. (2013);** Global multi-scale segmentation of continental and coastal waters from the watersheds to the continental margins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17:2029-2051
- LE FÈVRE, J. (1986);** Aspects of the biology of frontal systems. *Advances in Marine Biology* 23:163-299
- MASSANA, R.; GASOL, J.M.; BJORNSEN, P.K.; BLACKBURN, N.; HAGSTROM, A.; HIETANEN, S.; HYGUM, B.H.; KUPARINEN, J.; PEDROSALIO, C.; (1997);** Measurement of bacterial size via image analysis of epifluorescence preparations: description of an inexpensive system and solutions to some of the most common problems. *Scientia Marina* 61:397-407.
- MOLLER, O.O.; PIOLA, A.R.; FREITAS, A.C.; CAMPOS, E.J.D. (2008);** The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28:1607– 1624.
- NORLAND, S. (1993);** The relationship between biomass and volume of bacteria, in: KEMP, P.F., Sherr, B.F., Sherr, E.B., Cole, J.J. (Eds.), *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*. Lewis Publishers, 303-307.
- ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P.; (2001);** The convergence ecosystem in the Southwest Atlantic. In: Seeliger, U., Kjerfve, B. (Eds.), *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Ecological Studies, vol. 144. Springer, Berlin, pp. 147– 166.
- OLSON, D. B.; BACKUS, R. H. (1985);** The concentrating of Organisms at Fronts: A cold-water Fish and a Warm-core Gulf Stream Ring. *J. Mar. Res.*, vol. 43, págs. 113-137.
- PEREIRA, M.D.; SCHETTINI, C.A.F.; OMACHI, C.Y. (2009);** Caracterização De Feições Oceanográficas Na Plataforma De Santa Catarina Através de Imagens Orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica* 27(1):81-93.

- PIMENTA, F.M.; CAMPOS, E.J.D; MILLER, J.L.; PIOLA, A.R. (2005);** Estudo numérico da influência da descarga fluvial e dos ventos sobre a dinâmica da pluma do Rio da Prata. BRAZILIAN JOURNAL OF OCEANOGRAPHY, 53(3/4):129-146, 2005
- PINGREE, R.D.; PUGH, P.R.; HOLLIGAN, P.M.; FORSTER, G.R. (1975);** Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. Nature 258:672–677
- PIOLA, A.; MOLLER JR, O.; GUERRERO, R.; CAMPOS, E. (2008A);** Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. Continental Shelf Research 28, 1639-1648.
- PIOLA, A.; ROMERO, S.; ZAJACZKOVSKI, U. (2008B);** Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. Continental Shelf Research 28, 1556-1567.
- PIOLA, A.R.; CAMPOS, E.J.D.; JR., O.O.M.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. (2000);** Subtropical Shelf Front off eastern South America. Journal of Geophysical Research 105, 6565-6578.
- PIOLA, A.R.; JR., O.O.M.; PALMA, E.D. (2004);** El impacto del Plata sobre el océano Atlántico. Ciencia Hoy 14:28-38.
- PIOLA, A.R.; MATANO, R.P.; PALMA, E.D.; MOLLER, O.O.; CAMPOS, E.J.D. (2005);** The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. Geophysical Research Letters 32, L01603.
- PORTER, K.G.; FEIG, Y.S. (1980);** The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. Limnology and Oceanography 25:943-948
- ROUSSEAU, C.S.; GREGG, W.W. (2014);** Interannual variation in phytoplankton primary production at a global scale. Remote Sensing 6:1-19
- SAMO, T.J.; PEDLER, B.E.; BALL, I.G. (2012);** Microbial distribution and activity across a water mass frontal zone in the California Current Ecosystem. J. Plankton Res., 34, 802– 814.
- SARACENO, M.; PROVOST, C.; PIOLA, A.R. (2005);** On the relationship between satellite-retrieved surface temperature fronts and chlorophyll a in the western South Atlantic - art. no. C11016. Journal of Geophysical Research Oceans, 110 (C11), p. NIL\_143-NIL\_158
- SCOR-UNESCO (1966);** Determinations of photosynthetic pigments in seawater, Monographs on oceanographic methodology. UNESCO Publications, Paris, pp. 11-18.
- SCHLITZER, R. (2008);** Ocean Data View, version 4.5.0. <http://odv.awi.de/>

- SOURNIA, A. (1994);** Pelagic biogeography and fronts. *Prog Oceanogr* 34:109–120
- TAYLOR, A.G.; GOERICKE, R.; LANDRY, M.R.; SELPH, K.E.; WICK, D.A.; ROADMAN, M.J. (2012);** Sharp gradients in phytoplankton community structure across a frontal zone in the California current ecosystem. *J Plankton Res* 34(9):778–789
- VAN WAMBEKE, F.; LEFÈVRE, D.; PRIEUR, L. (2004);** Distribution of microbial biomass, production, respiration, dissolved organic carbon and factors controlling bacterial production across a geostrophic front (Almeria-Oran, SW Mediterranean Sea). *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 269, 1–15.
- VERHEYE-DUA, F.; LUCAS, M. I. (1988);** Southern Benguela frontal region. I. Hydrology, phytoplankton and bacterioplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 47:211-280
- WOLLAST, R. (1998);** Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean. In:Brink, K.H., Robinson, A.R. (Eds.), *The Sea*, Vol. 10. John Wiley & Sons, New York, pp. 213–252
- ZANELLA, J.I.F.; GONÇALVES, G.A; JÚNIOR, O.M. (1998);** Análise Da Variação Espaço-Temporal Das Frentes Térmicas De Quebra De Plataforma E Feições Associadas No Oceano Atlântico Sul-Occidental Entre 25°S E 37°S. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 861-871.

