

Francisco Palma Travassos Neto

Influência da descarga fluvial e do vento sobre os parâmetros medidos pela boia SiMCosta-SC01, localizada na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (SC).

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos A. E. Garcia

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Travassos Neto, Francisco Palma
Influência da descarga fluvial e do vento sobre
os parâmetros medidos pela boia SiMCosta-SC01,
localizada na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo
(SC). / Francisco Palma Travassos Neto ;
orientador, Carlos Alberto Eiras Garcia, 2019.
75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Ecossistemas marinhos e
costeiros. 3. Marinha Biológica do Arvoredo. 4.
Propriedades meteo-oceanográficas. 5. Monitoramento
ambiental. I. Garcia, Carlos Alberto Eiras . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Oceanografia. III. Título.

Francisco Palma Travassos Neto

**INFLUÊNCIA DA DESCARGA FLUVIAL E DO VENTO SOBRE
OS PARÂMETROS MEDIDOS PELA BOIA SIMCOSTA-SC01,
LOCALIZADA NA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO
ARVOREDO (SC).**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de
“Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-
graduação em Oceanografia

Florianópolis, 04 de abril de 2019.

Prof. Dr. Antônio Henrique da Fontoura Klein
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Alberto Eiras Garcia
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Osmar Olinto Moller Jr.
Membro Externo
Universidade Federal do Rio Grande

Profa. Dra. Juliana Leonel
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a minha irmã
Thais e aos meus amados sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Mar COI-INCT (Mar Centro de Oceanografia Integrada), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira).

As dificuldades são simplesmente coisas na qual
devemos superar.
(Ernest *Shackleton*)

RESUMO

As regiões costeiras são fertilizadas por massas de água ricas em nutrientes em decorrência de diversos fatores, dentre eles: descarga fluvial, ressurgência costeira, marés, intensidade e direção do vento. Neste trabalho avaliou-se as informações horárias providas por diversos sensores acoplados a uma plataforma flutuante (boia SiMCosta SC-01), capazes de medir grandezas oceanográficas superficiais (~0,5m) como temperatura, salinidade, turbidez, matéria orgânica dissolvida colorida e concentração de clorofila-a, e também as meteorológicas direção e velocidade do vento (~2m). A boia foi fundeada em fevereiro de 2017 na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (ReBio), próximo da Ilha de Santa Catarina (SC). Dados de descarga do Rio Tijucas (a 14 km de distância da boia), dados meteorológicos de estações vizinhas, imagens de satélites (concentração de clorofila-a e temperatura superficial da água do mar) foram utilizados para investigar a influência das águas fluviais na área da ReBio através de análise de séries temporais no domínio do tempo e frequência. Previamente, dados providos pelos sensores da boia SC-01 foram comparados com dados do sensor/satélite MODIS/Aqua, apresentando bons resultados. Os resultados da análise de alta frequência das séries indicam variabilidade marcante nos ciclos diurno e semi-diurno, além de oscilações nas frequências ao redor de 1/70 a 1/50h (períodos de 2-3 dias), provavelmente associadas ao intervalo de tempo necessário para as águas do Rio Tijucas atingirem a ReBio. As conclusões do trabalho mostram que a região de estudo está sujeita à influência de águas de origem fluvial que refletem nos parâmetros oceanográficos, porém restritas a determinadas condições de descarga e de vento.

Palavras-chave: Reserva Marinha Biológica do Arvoredo, séries temporais, propriedades meteo-oceanográficas, ecossistema marinho costeiro

ABSTRACT

Coastal regions are fertilized by nutrient-rich water bodies due to several factors: river discharge, coastal resurgence, tides, intensity and direction of the wind. This work evaluated the hourly information of a floating platform (buoy SiMCosta SC-01) with several attached sensors, which are able to measure temperature, salinity, turbidity, dissolved organic matter and chlorophyll-a concentration, direction and wind speed. The buoy was funded in the Arvoredo Marine Biological Reserve (ReBio), near Santa Catarina Island (SC), in February 2017. Discharge of the Tijucas River (approximately 14 km from the buoy), remote sensing (surface chlorophyll a and sea surface temperature) images and wind data from neighbouring meteorological stations were also used to investigate the influence of river waters in the ReBio area in time and frequency domain. Previously, chlorophyll a sea surface temperature data provided by buoy sensors SC-01 were compared with MODIS/Aqua satellite data. Spectral analysis of the high-frequency time series indicates markedly semi-diurnal and diurnal cycles, but also oscillations in the 1/70 to 1/50h range (periods of 2-3 days), probably associated to the time interval for fluvial waters of the Tijucas River to reach the ReBio area. It was concluded that the region of study is subject to the influence of waters of fluvial origin that reflect on the oceanographic parameters measured by the buoy's sensors, but restricted to certain discharge and wind conditions.

Keywords: Marine Biological Reserve of Arvoredo, time series, metocean properties, marine coastal ecosystem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Localização da área de estudo.....	29
Figura 2 - Boia meteo-oceanográfica SiMCosta SC-01, fundeada na ReBio em 22/02/2017.....	33
Figura 3–Pseudo <i>match-ups</i> entre os dados de (a) concentração de clorofila-a e (b) temperatura superficial do mar, obtidos por satélites e sonda multiparamétrica	42
Figura 4 – Dispersão entre as variáveis entre as componentes zonal (U) dos ventos para o período de 23/03/17 a 23/06/17:A) SiMCosta x METAR; B) SiMCosta x INMET; C) SiMCosta x SYNOP e D) SiMCosta x BDMET E) SiMCosta x Valores estimados. F) METAR x SYBOP	44
Figura 5 – Dispersão entre as variáveis entre as componentes meridional (V) dos ventos para o período de 23/03/17 a 23/06/17:A) SiMCosta x METAR; B) SiMCosta x INMET; C) SiMCosta x SYNOP, D) SiMCosta x BDMET, E) SiMCosta x Valores estimados. F) METAR x SYBOP	44
Figura 6 – Séries temporais das componentes de vento (a) U (b) V de 23 de março a 25 de abril de 2017. A série “estimados” significa a série da boia SiMCosta SC-01 após regressão linear múltipla.....	47
Figura 7 – Climatologia (2003-2017) da temperatura superficial dos oceanos (TSM), obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, na região de 25 a 30 ⁰ S e 45 a 50 ⁰ W. A) Janeiro; B) Fevereiro; C) Março; D) Abril; E) Maio; F) Junho; G)Julho; H) Agosto; I) Setembro;J) Outubro; K) Novembro; L) Dezembro	49
Figura 8 – Climatologia (2003-2017) do log ₁₀ da concentração de clorofila-a superficial dos oceanos, obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, na região de 25 a 30 ⁰ S e 45 a 50 ⁰ W. A) Janeiro; B) Fevereiro; C) Março; D) Abril; E) Maio; F) Junho; G)Julho; H) Agosto; I) Setembro;J) Outubro; K) Novembro; L) Dezembro.....	50
Figura 9–Variabilidade temporal da A) concentração de clorofila-a e B) temperatura superficial do mar, obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, no local de fundeio da boia SiMCosta SC01.	52
Figura 10– Variabilidade temporal da concentração de clorofila-a e das vazões dos rios Itajaí-Açu e Rio Piquiri (afluente do Rio Paraná) durante o período de novembro de 2014 a outubro de 2017. Os dados possuem resolução temporal de 8 dias.	54
Figura 11 - Séries temporais dos parâmetros A) Temperatura, B) Salinidade, C) CDOM, D) Turbidez E) CHLA E) Oxigênio dissolvido F) Descarga Fluvial G) Vento zonal H) Vento meridional.	57

Figura 12– Diagramas A) TS-CHL-A, B) TS-CDOM, C) TS-turbidez D)TS-tempo, durante o período de 23/03/2017 a 23/06/2017. 59

Figura 13 –Imagem MODIS de “cor verdadeira” de 02 de junho de 2017. A imagem mostra a região da ReBio (em vermelho) e a posição da boia SiMCosta SC-01 (círculo amarelo). A imagem foi adquirida no período vespertino..... 60

Figura 14–Evolução temporal do vento onde a linha vermelha vertical indica o dia 02/06/2019 às 00h00. O satélite Aqua passa no período da tarde neste local..... 61

Figura 15–Correlação cruzada entre as séries padronizadas de vazão com A) temperatura; B)salinidade; C) CDOM, D) turbidez; E)concentração de clorofila-a e F) oxigênio dissolvido. As linhas vermelhas horizontais indicam os limites máximo e mínimo para as correlações serem estatisticamente significativas. 63

Figura 16 –Variância explicada(em %) dos 7 (sete) primeiros modos da PCA e a variância acumulada. 64

Figura 17 – A) Diagrama dos dois primeiros modos da PCA. A variância acumulada nos dois primeiros eixos é de 52% e B) o zoom centralizado deste mesmo gráfico. 65

Figura 18 - Densidade espectral de potência das séries temporais (evento E1) com dados padronizados, A) temperatura; B) salinidade; C) CDOM; D) turbidez; E) CHL-A; F) oxigênio dissolvido G) descarga fluvial; H) componente zonal do vento e I) componente meridional do vento..... 61

Figura 19–Densidade espectral de potência das séries temporais (evento E2), com dados interpolados e padronizados, A) temperatura; B) salinidade; C) CDOM; D) turbidez; E) CHL-A; F) oxigênio Dissolvido; G) descarga fluvial; H) componente zonal do vento e I) componente

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculos estatísticos de comparação entre parâmetros oceanográficos, obtidos por satélites e a sonda multiparamétrica.....	41
Tabela 2 – Medidas estatísticas de comparação entre as séries de vento: A) SiMCosta x METAR, B) SiMCosta x INMET, C) SiMCosta x SYNOP, D) SiMCosta x BDMET, E) METAR x SYNOP e F) METAR x SYNOP.....	45
Tabela 3 - Estatística básica das séries temporais das variáveis ambientais coletadas pela boia SiMCosta SC-01. Os valores do máximo, mínimo, média e desvio padrão são apresentados por evento.....	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	26
2.1 OBJETIVO GERAL	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
2.3 ÁREA DE ESTUDO	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 CONJUNTO DE DADOS	31
3.1.1 Dados de sensoriamento remoto- MODIS/Aqua	31
3.1.2 Boia meteo-oceanográfica SiMCosta SC01	33
3.1.4 Ventos de estações meteorológicas	36
3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS	37
3.2.1 Pré-processamento de dados	37
3.2.2 Métodos de interpolação dos dados	38
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 Comparação entre SiMCosta SC-01 com outras fontes	41
4.1.1 Consistência dos dados de sensoriamento remoto	41
4.1.2 Avaliação das informações de vento da boia SiMCosta SC-01	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	48
4.2.1 Variabilidade espacial da temperatura superficial do mar e da concentração de clorofila-a	48
4.2.2 Variabilidade temporal de temperatura superficial do mar e concentração de clorofila-a no local da boia SiMCosta SC-01	52
4.2.3 Variabilidade dos componentes oceanográficos amostradas em alta-frequência da boia SiMCosta SC-01	56
4.2.4 Covariância normalizada (correlação cruzada) entre as séries temporais	62
4.2.5 Análise de componentes principais	64
4.2.6 Densidade espectral de potência	67
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A– Mapa altimétrico da região costeira de SC e localização de plataforma de coleta de dados utilizados	

**neste trabalho, lembrando que a localização geográfica da
estação METAR é a mesma da estação SYNOP. 79**

1. INTRODUÇÃO

A variação de processos físicos e químicos nos oceanos podem ter origem em diferentes fontes naturais ou antrópicas (SANTOS et al., 2001). Pouco se sabe sobre os processos nos oceanos, a princípio, para a compreensão de um processo ou fenômeno neste ambiente é necessário investigá-lo, conhecer seu comportamento e verificar se há mudanças ao longo do tempo e, geralmente, isso é feito através de observações sistemáticas por longo período de tempo.

As regiões costeiras são fertilizadas por massas de água ricas em nutrientes oriundas de diversas fontes (LALLI e PARSONS 1997). O enriquecimento de águas costeiras pode ser em decorrência de diversos fatores, entre os quais podemos citar a descarga fluvial, variações da maré, ondas de superfície, ressurgência costeira e campo de ventos (SCHETTINI, 2002).

Por exemplo, quanto maior for a intensidade e a duração de um evento de chuva, maior a quantidade de água armazenada na bacia de drenagem, resultando na elevação do nível dos rios ali presentes (NEZLIN e DIGIACOMO, 2005). Quando o fluxo de um canal se encontra em momentos de elevadas descargas, a quantidade de material particulado e dissolvido na água geralmente se eleva (WARD e ELLIOT, 1995; BRODIE et al., 2003) devido ao escoamento superficial da água da chuva que passa por um processo de enriquecimento de nutrientes, causado pelo arraste e solubilização de nutrientes da superfície do solo (LIMA, 1988). Atividades antrópicas, como a urbanização e agricultura, influenciam a carga de nutrientes recebidos pelos corpos de água continentais (DAUER et al., 2000; BRODIE et al., 2003) e, portanto, ao atingir zonas costeiras afetam as características da água do mar.

A variabilidade das características da água do mar ocorre também devido a sistemas meteorológicos onde ventos fortes, caso mantidos por longos períodos, perturbam os setores costeiros de diferentes maneiras (BUITRAGO e ANFUSO, 2011). O regime de ventos podem induzir a ressurgência costeira, ou seja, o movimento das águas para regiões *offshore* resultam que as águas de fundo, ricas em nutrientes aflorem na superfície. Estes, entre tantos outros efeitos, agem sobre a estrutura das massas de água costeiras, os quais exibem importantes flutuações em diferentes escalas de tempo e espaço (GRÉMARE et al., 2003).

A Plataforma Continental Sul-Sudeste brasileira é um sistema marinho bastante complexo, resultado da ação combinada de correntes, ventos, marés, entre outros, assim como da descarga de águas

continentais principalmente do Rio La Plata, que possui uma descarga média de $23.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e máximos de $60.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ associados ao El Niño e, em menor magnitude, diversos sistemas estuarinos ao longo da costa sul-sudeste.

Nas regiões tropicais, condicionadas por uma elevada radiação solar com taxas de evaporação maiores que a precipitação, ocorre a formação de massa de água com as seguintes características: elevada temperatura e salinidade e baixa concentração de nutrientes, comumente denominadas de Águas Tropicais (AT) (EMÍLSSON, 1961).

No oceano Atlântico Sul, a AT é transportada ao longo da plataforma brasileira pela Corrente do Brasil (CB), fluindo em direção sul paralelamente à quebra da plataforma (MIRANDA et al 1998), com profundidades que podem atingir até 180 m (ROSSI-WONGTSCHOWSKI et al 2006).

Ao redor de 39°S , há o encontro de distintas massas de água, trazidas pela CB e pela Corrente das Malvinas (CM), região denominada de Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Nesta mesma região uma massa de água densa se forma, denominada de Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) (STRAMMA e SCHOTT, 1999). Parte da ACAS flui no sentido anti-horário, de forma a encontrar a plataforma sul-sudeste brasileira.

Ao encontrar a região próxima da plataforma brasileira, a ACAS flui abaixo da AT (transportada pela CB) em profundidades entre 200 e 500 m (na proximidade da quebra da plataforma), com temperaturas entre 10 e 20°C e salinidade entre 35 e 36 (SILVEIRA, 2008). A ACAS é considerada uma massa de água rica em nutrientes, possuindo baixas concentrações de oxigênio, que eventualmente aflora na superfície quando águas superficiais próximas aos continentes são transportadas para mar aberto. Este efeito é conhecido como ressurgência e na costa sul do Brasil é estimulado em condições de ventos provenientes do quadrante NE (ACHA et al., 2004).

Ao longo de seu percurso, as massas de água oceânicas se misturam e progressivamente diminuem em semelhança desde a sua formação. Nas proximidades da costa, especialmente se existirem estuários, as misturas de águas derivadas dos continentes com águas oceânicas adjacentes formam as Águas Costeiras (SILVA et al. 2005).

Na região do Atlântico Sudoeste, o maior estuário existente é o Rio da Prata, responsável pela descarga de um grande volume de água doce (no qual parte se dirige no sentido norte da plataforma brasileira).

Em determinadas condições meteorológicas, águas de baixa salinidade indicadores do aporte do Rio da Prata ultrapassa a Ilha de

Santa Catarina (Florianópolis), especialmente durante o inverno quando os ventos são predominantes do quadrante sul (MÖLLER, 2008).

Em Santa Catarina, encontra-se a ReBio (Reserva biológica marinha do Arvoredo) ao norte da Ilha de Florianópolis e, conseqüentemente, pode sofrer a influência de águas oriundas do sul do país. Ao norte desta região (Rebio) se encontra a desembocadura do Rio Itajaí-Açu, uma das maiores fontes de água doce da região, e a Oeste o Rio Tijucas, com descarga inferior ao complexo Itajaí-Açu, porém mais próximo da região foco deste trabalho. Assim, as propriedades termohalinas na região da ReBio refletirão os distintos processos de mistura de águas que ocorrerão no local.

Além das características termohalinas, as massas de água se caracterizam por outros parâmetros físicos, químicos e biológicos, por vezes utilizados pelos gestores ambientais como identificadores da qualidade da água, como o oxigênio dissolvido (OD), alcalinidade, entre outros (SMEATON et al., 2013; ALIZADEH, 2015). Diversos destes constituintes da água do mar são opticamente ativos, por exemplo, concentração de clorofila-a (CHL-A), o material orgânico dissolvido colorido ou matéria orgânica cromófora (CDOM) e a turbidez.

Para a compreensão dos fenômenos ambientais, suas mudanças e seus possíveis efeitos somente são possíveis com a coleta de dados de diversos parâmetros simultaneamente (DICKEY, 1991).

Entre estes parâmetros, a CHL-A” tem relações muito estreitas com a biomassa fitoplanctônica, a sua variabilidade no tempo depende da distribuição sazonal e espacial de massas de água, influenciadas por pelo vento (transporte de massas de águas na superfície e efeitos de ressurgência) assim como pelo regime de chuvas dentro da bacia de drenagem que afeta a vazão fluvial. Esses, entre tantos outros processos, interferem nas características das águas em regiões costeiras (CIOTTI et al., 1995).

A turbidez é uma forma indireta de avaliação da concentração de sólidos em suspensão na água; ela é medida, em unidades de turbidez (“*turbidity units*”, TU) que serão designadas de acordo com o método utilizado. Assim, a medida pelo método da formazina é expressa em FTU ou NTU (“*formazine turbidity unit*”) (ANKCORN, 2003).

A matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) é a componente da matéria orgânica dissolvida presente na água do mar que pode ser medida. A fonte de CDOM está relacionada à decomposição de componentes estruturais das plantas (KIRK, 1994), entre outros, o plâncton e sua decomposição (BØRSHEIM et al., 1999). É um dos principais constituintes óticos de absorção de luz em águas costeiras, sendo que sua absorção é mais forte na região do ultravioleta e diminui

para perto de zero na região do vermelho. Em águas não túrbidas, a cor da água varia entre verde, verde-amarela e marrom com o aumento de CDOM. As propriedades ópticas de absorvância e fluorescência do CDOM também podem ser usadas como forma indireta de medição da salinidade (CAMPOS, et al, 2001). No caso do instrumento usado neste trabalho, a concentração de CDOM é determinada pela sua fluorescência, sendo que o sensor emite um feixe de luz no comprimento de onda de 370nm, e recebe (emissão) de volta no comprimento de onda de 460nm.

O estudo desses parâmetros em conjunto é necessário, pois há distúrbios nos ecossistemas, tais como florações de algas tóxicas, crescimento excessivo de macroalgas, perda de vegetação submersa devido ao sombreamento, desenvolvimento de hipóxia e anóxia associado à decomposição da biomassa acumulada, mudanças na estrutura da comunidade de organismos devido à deficiência de oxigênio ou pela presença de espécies tóxicas de fitoplâncton que podem ser previamente detectados com um bom sistema de monitoramento. (PAINTING et al., 2007).

Diferentes técnicas ou métodos podem ser usados na coleta dessas informações e cada uma possui benefícios e limitações. Por exemplo, os métodos convencionais de amostragens pontuais são pouco eficazes em identificar as variações bruscas de parâmetros ambientais da água do mar, pois o número de medições *in situ* é limitado no tempo e no espaço, embora tenha elevada precisão. Por outro lado, dados de satélite possibilitam derivar parâmetros da água do mar quando as medidas diretas *in situ* são difíceis de serem obtidas (GHOLIZADEH et al., 2016), contudo a taxa de amostragem é restrita à passagem do satélite sobre o mesmo local (GURLIN, et al 2011).

No meio ambiente marinho, algumas alterações ocorrem em curtos intervalos de tempo, portanto informações de alta resolução temporal são essenciais para compreender a dinâmica e os efeitos sobre os ecossistemas costeiros (PELLERIN; BERGAMASCHI, 2014). O monitoramento das propriedades relevantes para caracterizar as águas costeiras pode ser feito com o uso de boias meteo-oceanográficas, que podem coletar dados com taxa de amostragem pré-definida, portanto, com resolução temporal adequada.

Programas de investigação sobre a interface oceano-atmosfera, geração e propagação de ondas, clima, poluição, entre outros, frequentemente usam dados de boias meteo-oceanográficas. Há vários sistemas de monitoramento de zonas costeiras funcionando ao redor do globo, cujos dados são coletados através de boias instrumentalizadas. Dentre eles, podemos destacar o “*Integrated Marine Observing System*”

(Austrália), o “*The U.S. Integrated Ocean Observing System (IOOS)*” (Estados Unidos), o “*The Joint European Research Infrastructure Network for Coastal Observatories*” (Europa), o “Programa Nacional de Boias” (Brasil) e o “Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira” (Brasil).

O Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta) é uma iniciativa da Subrede Zonas Costeiras da Rede Clima, apoiado fortemente pelo Fundo Clima e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC) que visa implantar um sistema observacional, constituído de sensores e instrumentos instalados em plataformas fixas ou flutuantes (boias), para monitorar propriedades meteorológicas e oceanográficas ao longo de décadas, como forma de fornecer subsídios sobre os impactos das mudanças climáticas ao longo da costa do Brasil.

Em fevereiro de 2017 a boia SiMCosta SC-01 foi fundeada no interior da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo (ReBio). Devido a sua localização, suas águas marinhas podem estar sofrendo a ação antrópica de material advindo da descarga de rios da região costeira, em especial o Rio Tijucas, devido a sua proximidade da ReBio.

Diante do exposto, este trabalho visa verificar se há influência da descarga fluvial sobre propriedades meteo-oceanográficas (fornecidas pela boia SiMCosta SC-01), com o auxílio de imagens de satélites, estações meteorológicas e hidrológicas do estado de Santa Catarina. Ênfase será dada a dois períodos distintos de vazão de rios próximos à ReBio, procurando estabelecer a influência das águas continentais nas propriedades oceanográficas medidas pelos instrumentos e sensores da boia e identificar as fontes de água doce que chegam na reserva.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a influência dos fluxos de descarga fluvial na ReBio, a partir de dados horários de uma boia instrumentalizada fundeada no interior da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, informações de descarga fluvial, dados de vento e sensoriamento remoto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar dados de temperatura superficial do mar e concentração de clorofila medidos pelo sensor WQM/SiMCosta com os estimados pelo sensor MODIS, a bordo satélite Aqua;
- Identificar se existem fontes de água doce que chegam na Rebio.
- Determinar as frequências de variabilidade que podem influenciar no fluxo de água doce na reserva:

2.3 ÁREA DE ESTUDO

Em 12 de março de 1990 foi criada a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (ReBio) no estado de Santa Catarina pelo Decreto Presidencial de nº 99.142, por se tratar de um local de reprodução de diversas espécies de peixes, moluscos e crustáceos. A conservação deste ecossistema permitiria a repovoação por estas mesmas espécies em áreas mais degradadas adjacentes. Além disso, a reprodução de diversas espécies de aves marinhas, como *trinta-réis-do-bico-vermelho*, *Sterna hirundinacea*, *trinta-réis-do-bico-amarelo*, *Sterna eurygnatha*, *Fragata magnificens*, entre outras, ocorre no local (IBAMA, 2004).

A ReBio é formada por um arquipélago cujas ilhas são constituídas basicamente por costões rochosos, muitas vezes com escarpas e falésias bastante abruptas, que evidenciam a ação de processos de abrasão marinhos e eólicos. Os solos, quando existem, são litólicos minerais. Eles também se caracterizam por serem não hidromórficos, derivados da decomposição das rochas, apresentam textura argilosa e, em muitos casos, associados ao cascalho, o que lhes confere uma baixa fertilidade natural (IBAMA, 2004; ROCHA et al., 2005). A maior das ilhas do arquipélago recebe o mesmo nome da reserva, ou seja, “Ilha do Arvoredo” (Figura 1).

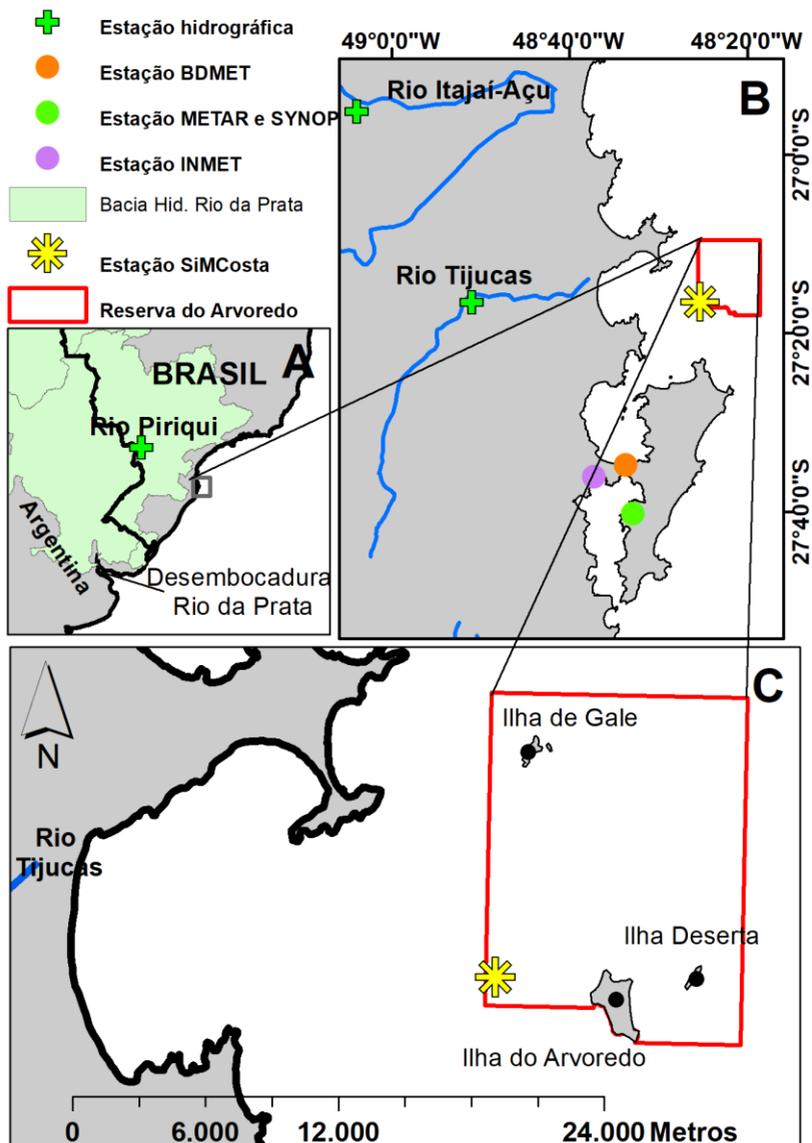
A maré na região pode ser classificada como de regime predominantemente de micro-maré do tipo semi-diurna com uma amplitude média de 0,8 m, flutuando de 0,3 m até 1,2 m (SCHETTINI 2002), porém as influências meteorológicas podem elevar as amplitudes em até um metro (TRUCCOLO et al., 2006).

A desembocadura do Rio Tijucas (Figura 1 C) fonte de água doce mais próxima da ReBio, está aproximadamente a 24 km da Ilha do Arvoredo. Esse rio possui uma bacia de drenagem de 2.420 km², caracterizada por uma elevada concentração de sedimentos em suspensão durante grande parte do ano (BUYNEVICH et al., 2005).

Paquette (2016) salienta que essas águas costeiras poderiam eventualmente atingir a parte sudoeste da reserva, em que os contaminantes relacionados às atividades antrópicas teriam um potencial de atingir o banco de algas calcárias ali existentes.

Na região marinha da ReBio, as profundidades podem chegar a 50 m, sendo o tipo de fundo composto principalmente por sedimentos finos e muito finos, com alguns setores lamacentos em seu entorno como na Baía de Tijucas, localizado ao norte da Península de Porto Belo. (PAQUETTE, 2016).

Figura 1–Localização da área de estudo.



Na plataforma continental do estado catarinense há a presença de diferentes massas de água, dentre as quais, as águas quentes e salinas vindas do quadrante norte trazidas pela Corrente do Brasil (ROCHA et al., 2005) e as águas frias e menos salinas conhecidas como “Águas

Centrais do Atlântico Sul” (ACAS) que são restritas às camadas subsuperficiais. Em condições especiais, a ACAS pode aflorar na superfície em função de forçantes meteorológicas associadas principalmente ao regime de ventos provenientes do quadrante norte (SCHETTINI et al., 1998). A região marinha entre a Ilha do Arvoredo e a Ilha Deserta, devido as suas condições topográficas favoráveis, permite a intrusão de águas frias e ricas em nutrientes (ACAS) que estimulam a produção primária local (CHLUDINSKI e BONETTI, 2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONJUNTO DE DADOS

3.1.1 Dados de sensoriamento remoto- MODIS/Aqua

O sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos instrumentos a bordo dos satélites Aqua e Terra, lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Trata-se de um instrumento de varredura mecânica eletro-óptica, cuja radiação eletromagnética refletida ou emitida da superfície terrestre é direcionada a um telescópio e focada para diferentes detectores cobertos por filtros espectrais (LATORRE, 2003). As imagens do sensor MODIS, em diferentes níveis de processamento e resoluções espaciais e temporais, são encontradas no site <https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov>.

A base de imagens MODIS/Aqua usadas neste trabalho compreendeu séries temporais da temperatura superficial do mar (TSM) e da concentração de CHL-A estimadas por satélites, usando os algoritmos 11 μ *day time* (com base na banda de 11 microns) e MODIS Aqua algoritmo OCX, respectivamente. As séries utilizadas são disponibilizadas no nível 3 (L3) de processamento com resolução espacial de 4x4km (0,041 graus de latitude e longitude) por pixel e projetadas de forma cilíndrica equidistante

Na criação dos mapas climatológicos da TSM e CHL-A utilizou-se composições de imagens de 8 dias, fornecidas pela NASA com informações deste 2003 até 2017. Com a intenção de mostrar a variabilidade dessas propriedades, as cenas foram integradas em ordem cronológica, que resultou em um total de aproximadamente 595 imagens para cada variável, que correspondem a 120 x 120 pixels para a área selecionada.

Neste trabalho, uma primeira avaliação das estimativas da TSM e CHL-A, fornecidas pelo sensor MODIS/Aqua, foi realizada no local de instalação da boia SiMCosta SC01 (27°16'28,06"S e 48°25'15,68"W). Nesta avaliação, utilizou-se uma composição de imagens médias diárias para comparação com os dados da boia SiMCosta SC-01. Trata-se, portanto, de um exercício de pseudo *match-up*, onde valores médios da TSM e CHL-A, obtidos das imagens diárias no pixel válido mais próximo da boia, são comparados com a média para o mesmo dia das informações coletadas *in situ* pela boia SiMCosta SC01.

Importante ressaltar as diferenças entre as medidas de concentração de clorofila-a usadas neste trabalho. As concentrações de CHL-A estimadas por satélites são resultadas da conversão da

reflectância espectral emergente da água do mar utilizando algoritmos empíricos ou semi-analíticos. Muitas vezes, o mau desempenho desses algoritmos pode estar relacionado a diversos fatores, como, a composição do fitoplâncton, a presença de substâncias não algal opticamente ativas na água, dentre outros (CAMIOLO et al., 2016). É muito provável que um algoritmo específico seja a uma melhor opção para determinadas regiões (BROTAS, 2013).

Por outro lado, o sensor ótico presente na boia SiMCosta mede a fluorescência emitida a 685 nm pelas células fitoplanctônicas quando excitadas por radiação a 460 nm.

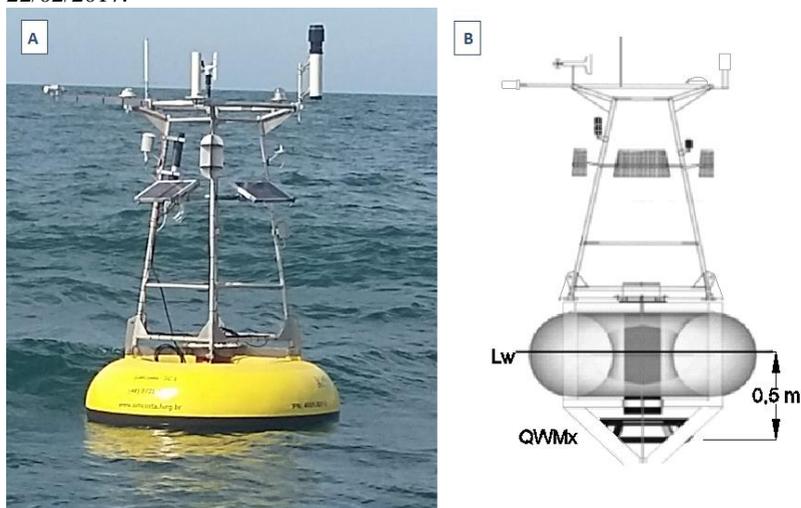
Na empresa *WetLabs*, fabricante do sensor, equipamento é ajustado através de uma curva de calibração que transforma a fluorescência emitida a 685 nm em concentração de clorofila-a, estes valores são utilizados neste trabalho.

3.1.2 Boia meteo-oceanográfica SiMCosta SC01

A plataforma flutuante SiMCosta SC01 (Figura 2) foi fundeada no dia 22/02/2017 em $27^{\circ}16'28.06''\text{S}$ e $48^{\circ}25'15.68''\text{W}$ (ver Figura 1). Dados horários de diversos instrumentos e sensores são coletados e transmitidos em tempo quase real por telemetria envolvendo as tecnologias GSM (dados oceanográficos) e ARGO (dados meteorológicos), sendo posteriormente disponibilizados no Portal SiMCosta (www.simcosta.furg.br).

Neste trabalho, usou-se os dados obtidos pela sonda multiparamétrica modelo WQMx da empresa *WetLabs*, capaz de medir as seguintes variáveis: salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, concentração de clorofila-a, turbidez e concentração de CDOM. Todas as medidas são realizadas com a sonda colocadas em uma estrutura a aproximadamente 0,50m de profundidade (Figura 2), esta se mantém ancorada em uma profundidade de 15m.

Figura 2 - Boia meteo-oceanográfica SiMCosta SC-01, fundeada na ReBio em 22/02/2017.



Medidas com alto grau de confiabilidade são imprescindíveis para evitar a interpretação equivocada de eventos ambientais. A necessidade da homogeneização das medidas na investigação, bem como o estabelecimento de critérios para avaliar a qualidade dos dados é de extrema importância (HUMPHREY, 1997). Desta forma, o SiMCosta está implementando seu sistema de controle de qualidade dos dados

(SCQD), inspirado no QARTOD (*Quality Assurance/ Quality Control of Real Time Oceanographic Data*) da IOOS.

Embora ainda não implementado no Portal SiMCosta, todos os dados da sonda multiparamétrica foram pré-avaliados, usando o SCQD/SiMCosta, o que removeu alguns dados espúrios, garantindo assim maior confiabilidade dos mesmos.

O mesmo não ocorreu com as informações meteorológicas da boia SiMCosta SC01, pois o controle de qualidade destes dados não haviam sido disponibilizados. Vale a pena ressaltar que estas informações para o período requisitado apresentavam um grande número de falhas (>30 dias), portanto os dados de ventos foram comparados com os obtidos por outras estações meteorológicas próximas a fim de completar o volume de dados faltantes com o menor erro possível.

3.1.3 Descarga Fluvial

As descargas de rios adjacentes a ReBio podem ser uma das principais fontes de nutrientes presentes em suas águas. Assim sendo, dados horários de descarga fluvial foram obtidos da Agência Nacional das Águas (ANA), pelo portal "<http://hidroweb.ana.gov.br>".

Utilizou-se de informações históricas do Rio Tijucas (mais próximo da ReBio), Rio Itajaí Açu, o maior contribuinte de descarga fluvial para o litoral de Santa Catarina, apresentando uma descarga média de $318 \pm 394 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com uma bacia de drenagem de 15.500 km^2 , onde está localizado o principal parque industrial do estado e próximo à desembocadura está localizado o Porto de Itajaí. (SCHETTINI e CARVALHO 2010) Em função deste último um intensivo programa de dragagem é realizado para manutenção do calado para acesso de embarcações (SCHETTINI e TOLDO 2001)

Assim como informações do Rio Piquiri que constitui um dos principais rios do estado do Paraná nasce 1080 m de altitude e percorre 691 km quando deságua no rio Paraná a uma altitude de 240 m (FUJITA, 2014), este curso de água é um afluente do rio da Prata (maior fonte de água doce na plataforma continental sul brasileira). A localização destas estações estão indicados na Figura 1.

3.1.4 Ventos de estações meteorológicas

Como forma de se obter maior confiabilidade nas informações dos dados de vento da boia SiMCosta SC-01, comparações foram realizadas com informações da estação SYNOP (*Surface Synoptic Observations*), METAR (observações de aeroportos codificadas em mensagem), do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e de informações dispostas pelo BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) (Figura 1 B)

As estações meteorológicas automáticas do INMET realizam registros de minuto a minuto das informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade de vento e radiação), porém, para os usuários são disponibilizadas somente informações horária sem diversos locais no continente brasileiro. O transmissor de vento utilizado realiza medidas a cada 0,25 segundo para calcular rajadas e a média móvel de 3 segundos tanto para a magnitude quanto para direção do vento (INMET, 2011). Essas estações automáticas são constituídas por uma torre de 10 m de altura, na qual são acoplados sensores destinados a medição de pressão, umidade relativa, precipitação, radiação solar, direção e intensidade do vento. Elas possuem uma unidade de memória central (*data-logger*), permitindo armazená-las ou mandá-las via satélite ou GSM para um centro de recepção na sede do INMET (VIANELLO, 1991).

As informações METAR disponibilizam observações de hora em hora. Utilizou-se também informações dispostas pelo BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa), com informações de cada 6 horas. Logo informações da estação SYNOP, possuem intervalos de cada 3 horas.

Antes das comparações entre os ventos, os bancos de dados foram organizados de forma que houvesse coincidência temporal, os valores de intensidade foram decompostos em suas componentes zonal (variável U) e meridional (variável V). O valor horário dessas variáveis quando amostrados em intervalos maiores que uma hora foi computado através de regressão linear simples, resultando em séries temporais horárias para todas as estações, exceto para as informações da plataforma SiMCosta SC-01 pois somente foram utilizadas as informações válidas após correção da declinação magnética (subtração aproximada de 19 graus). Esta correção também foi realizada para a estação INMET.

3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.2.1 Pré-processamento de dados

De modo geral, o pré-processamento de dados envolveu as seguintes etapas:

- Aquisição dos dados.
- Criação de médias horárias para cada amostra
- Padronização dos horários
- Interpolação e reconstrução dos dados ausentes

3.2.2 Métodos de interpolação dos dados

Os dados foram interpolados utilizando-se duas diferentes técnicas.

Para os valores medidos de CDOM, CHL-A, turbidez, salinidade e oxigênio dissolvido, optou-se pela realização de interpolação linear baseada na taxa de amostragem, através da função ‘*myinterp.m*’ disponível no *Matlab*.

Para os valores de descarga fluvial do Rio Tijuca, optou-se por um método de interpolação denominado de ‘*spline*’, que é uma interpolação que realiza curvas suaves através de um polinômio. Uma curva *spline* pode ser comparada a uma corda, que é curvada de certa forma a passar por um conjunto de pontos. (CHIN-SHUNG, et al. 2004). Este método de interpolação foi capaz de reproduzir curvas semelhantes com outros rios vizinhos localizados na mesma bacia de drenagem (Itajaí-Açu), sobre o mesmo período.

Buscou-se completar os valores meteorológicos faltantes da SC-01 (< 30 dias), ou por se dizer as componentes zonais e meridionais de vento, a partir de informações de estações vizinhas. Para isso foram realizadas comparações entre diferentes amostras sobre o mesmo período, a fim de identificar quais valores se ajustavam melhor aos dados da SC-01.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados meteo-oceanográficos (boia SiMCosta SC-01) pré-processados são médias horárias em intervalos iguais ininterruptos de 23/03/2017 a 23/06/2017. Estes dados são padronizados, ou seja, as médias e os desvios-padrão de cada série foram calculadas e, posteriormente, subtrai-se a média da série e se divide pelo desvio padrão. Por exemplo, seja X_1 até X_n uma amostra de uma variável com média \bar{X} e desvio-padrão S_x . Estes dados padronizados foram utilizados como base na realização das análises de correlação (covariância normalizada), análise de componentes principais e análise de densidade espectral de potência

A análise de componentes principais (PCA, sigla para “*principal component analysis*”) é uma técnica estatística que pode ser utilizada para reduzir o número de variáveis de um conjunto de amostras em um número menor de componentes importantes, que representam a maior parte de uma matriz de dispersão (LEGENDRE e LEGENDRE, 2012)

Geometricamente, os componentes principais representam a seleção de um novo sistema de coordenadas, obtido pela rotação do sistema original. Os novos eixos representam as direções de máxima variabilidade e consistem em uma descrição simplificada da matriz de covariância ou de correlação (JOHOSON e WICHERN, 1982).

A matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais, quando multiplicada pela matriz original de dados, fornece a matriz de contagens (*scores*) de cada caso em relação às componentes principais. Esses valores costumam ser dispostos na forma de diagrama de dispersão, em que os eixos ortogonais são os dois componentes (ou modos) mais importantes, e mostram o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas, ou uma forma mais simplificada em se observar a variabilidade dos dados. O sistema ótimo de eixos foi obtido usando o método *Singular Values Decomposition* (SVD).

A análise do espectro de uma série temporal permite a identificação de componentes de frequência que fazem a maior contribuição para a variância geral da série em questão. Em outras palavras o espectro é dado como a transformada de Fourier da função de autocovariância (PRIESTLEY, 1981):

Para as análises realizadas no domínio da frequência, as séries foram ainda previamente filtradas para extrair somente as componentes desejadas e a partir destas novas séries foram realizadas análises espectrais.

O filtro passa-alta utilizado foi desenvolvido criando-se uma base de dados de N elementos filtrados por uma média móvel (filtro passa-

baixo) de 8 (oito) dias (removendo efeitos de larga escala analisados nas informações históricas de sensoriamento remoto). Em seguida, a série original foi subtraída da série filtrada pelo filtro passa-baixo. O resultado é considerado a série com alta frequência.

A densidade espectral de potência foi baseada na função “*pwelch*” disponível no software *Matlab*. Esta função usa o método do periodograma modificado de Welch. O janelamento (*windowing*) é aplicado na série, o que significa que a série temporal a ser analisada é multiplicada por uma função de janela antes do cálculo da transformada de Fourier (FFT). Então, ao invés de $x [i]$, transformamos $x [i]w [i]$ para alguma função de janela que seja capaz produzir uma representação espectral mais clara do sinal (SCHMID 2012).

Muitas vezes, o espectro de potência resultante apresenta um sinal muito forte nas altas frequências. Para evitar esse problema empregou-se da janela de Hamming para a suavização dos espectros. A escolha desta janela permite ter tamanhos menores para baixas frequências e um aumento progressivo do tamanho da janela para frequências mais altas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comparação entre SiMCosta SC-01 com outras fontes

4.1.1 Consistência dos dados de sensoriamento remoto

Nesta seção são apresentadas comparações entre as estimativas de concentração de CHL-A e temperatura superficial do mar (TSM), provenientes do sensor MODIS/Aqua, com as medidas pela sonda multiparamétrica WQM do SiMCostas.

Uma quantidade restrita de imagens foi selecionada para a comparação dos dados *in situ* da estação SC-01 com os dados estimados por sensoriamento remoto do sensor MODIS/Aqua. Como critério, as amostras de satélite deveriam ser coletadas no mesmo dia das amostras *in situ* e que não foram afetados pela cobertura de nuvens. Obteve-se um total de 23 amostras para ambos os parâmetros (TSM e CHL-A).

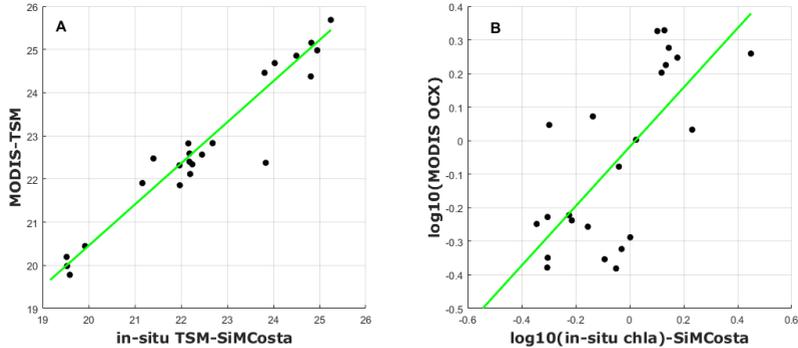
Os parâmetros estatísticos utilizados para aferição foram: coeficiente de determinação (R^2), erro médio quadrático (*root mean squared error* ou RMSE), erro absoluto e correlação linear (coeficiente de Pearson). Os gráficos de dispersão são mostrados na Figura 3, enquanto que os resultados estatísticos são apresentados na Tabela 1. A função '*robustfit.m*' no *Matlab* foi utilizada nas análises e para o cálculo de correlação a função '*corrcoef*'.

O erro absoluto médio avalia o afastamento de valores estimados em relação aos valores observados, constituindo na média das diferenças. Neste sentido, seu valor ideal seria igual a zero. Porém, o erro médio tende a ser pequeno na medida em que os erros negativos e positivos se compensem. Erros médios de $0,025(\log \text{ mg/m}^3)$ e $-0,25^\circ\text{C}$ foram encontrados para $\log_{10}(\text{CHL-A})$ e TSM, respectivamente.

Tabela 1 – Cálculos estatísticos de comparação entre parâmetros oceanográficos, obtidos por satélites e a sonda multiparamétrica.

	Log 10 (CHL- A)	TSM
Erro absoluto médio	0,025	-0,25
Erro quadrado médio (MSE)	0,04	0,15
Raiz quadrada do MSE (RMSE)	0,22	0,39
Correlação Linear	0,68	0,95
Número de amostras comparadas.	23	23
R^2 ajustado	0,45	0,95
Valor de P	0,001	0,000

Figura 3–Pseudo *match-ups* entre os dados de (a) concentração de clorofila-a e (b) temperatura superficial do mar, obtidos por satélites e sonda multiparamétrica



Os valores de MSE para TSM e Log10(CHL-A) foram de 0,04 e 0,15, respectivamente. O desvio quadrático médio foi 0,39 e 0,22 para TSM e Log10(CHL-A), respectivamente.

Testes de correlação linear foram realizados para verificar a hipótese de que as amostras dos dados MODIS-Aqua tivessem relação significativa com as amostras tomadas *in situ* pela sonda WQM. Valores de coeficientes de correlação de Pearson de 0,95($p < 0.05$) e 0,68($p < 0.05$) foram encontrados para TSM e Log10(CHL-A), respectivamente.

O R foi de 0,95 e 0,45 para SST e Log10(CHL-A), respectivamente. Os resultados são estatisticamente significantes, onde o p-valor mostra significância acima de 95% para ambas variáveis. Verificou-se, portanto, através destes testes estatísticos que ambos os métodos de medição não possuem diferenças significativas, no nível estabelecido. Os dados de concentração de clorofila por sensoriamento remoto serão utilizados posteriormente para avaliar a variabilidade deste parâmetro em escala multianual.

4.1.2 Avaliação das informações de vento da boia SiMCosta SC-01

Com o intuito de reduzir e calcular a margem de erro das informações sobre o resultado deste trabalho buscou-se testar e avaliar os valores das séries de velocidade do vento (m s^{-1}) da boia instrumentada com outros dados oriundos de estações meteorológicas próximas.

Nesta seção são apresentadas comparações entre as medições de componentes zonais e meridionais do vento da boia SiMCosta SC-01 e das estações terrestres SYNOP, METAR, INMET e BDMET (Figura 1), visando comprovar o grau de homogeneidade e consistência dos dados da boia SC-01 em relação às outras fontes de dados.

Os resultados são apresentados em formas de gráficos de dispersão (Figuras 4 e 5) e resultados estatísticos (Tabela 2). Em relação às comparações dos valores zonais (Figura 4), verificou-se que a estação METAR quando comparada com a estação SiMCosta apresentou o maior RMSE que as outras comparações. Os valores da estação SiMCosta, comparados com as estações INMET e BDMET, não são estatisticamente significantes ($p\text{-valor} > 0,05$). Quando comparamos as componentes meridionais (V) da estação SiMCosta SC-01 com as demais estações em terra, os resultados foram mais satisfatórios conforme demonstrado na Figura 5. Observa-se que, todas as informações corresponderam a uma curva com forma bastante similar às demais fontes analisadas. Os resultados estatísticos apresentados na Tabela 2 mostram correlações altas com $R^2 > 0,40$ ($p\text{-valor} < 0,05$), sendo que a estação do BDMET foi a que mais se aproximou dos valores da componente meridional (V), apresentando um erro quadrado médio de 0,95 explicando 45% (R^2) da variância dos dados. Os valores do SiMCosta comparados com os valores do METAR registrou elevados valores de RMSE (4,88).

Figura 4 – Dispersão entre as variáveis entre as componentes zonal (U) dos ventos para o período de 23/03/17 a 23/06/17: A) SiMCosta x METAR; B) SiMCosta x INMET; C) SiMCosta x SYNOP e D) SiMCosta x BDMET E) SiMCosta x Valores estimados. F) METAR x SYBOP

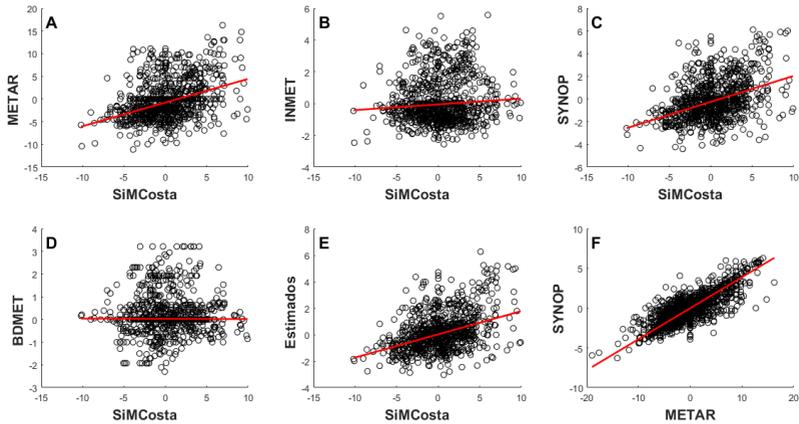


Figura 5 – Dispersão entre as variáveis entre as componentes meridional (V) dos ventos para o período de 23/03/17 a 23/06/17: A) SiMCosta x METAR; B) SiMCosta x INMET; C) SiMCosta x SYNOP, D) SiMCosta x BDMET, E) SiMCosta x Valores estimados. F) METAR x SYBOP

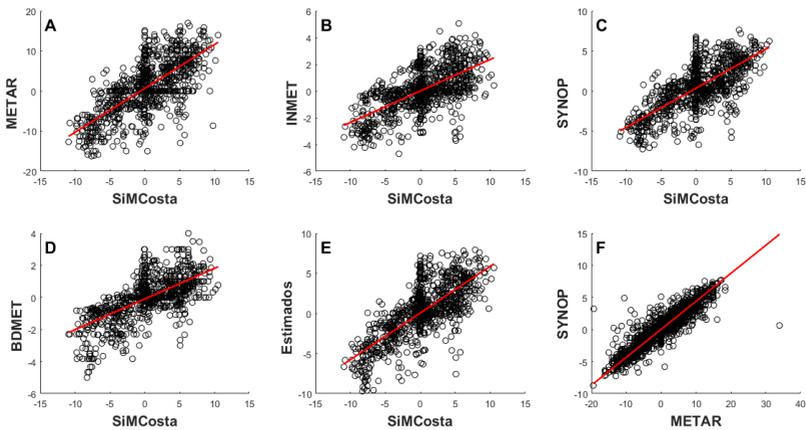


Tabela 2 – Medidas estatísticas de comparação entre as séries de vento: A) SiMCosta x METAR, B) SiMCosta x INMET, C) SiMCosta x SYNOP, D) SiMCosta x BDMET, E) METAR x SYNOP e F) METAR x SYNOP

Componente	Relação	RMSE	MSE	p-valor	R ²
Zonal (Leste)	A	3,84	14,79	0	0,16
	B	1,37	1,88	0,01	0,02
	C	1,60	2,56	0	0,17
	D	0,53	0,28	0,83	0,09
	E	1,41	1,98	0	0,12
	F	0,65	0,43	0	0,85
Meridional (Norte)	A	4,88	23,83	0,000	0,50
	B	1,29	1,67	0,000	0,40
	C	2,01	4,07	0,000	0,54
	D	0,93	0,87	0,000	0,45
	E	2,22	4,94	0,000	0,58
	F	0,58	0,34	0,000	0,96

As estações que foram usadas para a comparação dos dados de vento neste trabalho estão situadas geograficamente distantes uma das outras (Figura 1) e sob condições de relevo (Anexo A) e instrumentação distintos, que influenciam nas medidas de vento.

Os valores de ventos das estações vizinhas apresentaram-se inadequadas para substituir ou completar os valores da SC-01. Conforme mostra a Tabela 2 os resultados de estatística de comparação do vento entre as estações, comprova certa incoerência nos dados, porém, há relativa concordância da componente meridional (V). Apesar dos dados da estação SiMCosta SC-01 corresponder a uma curva com forma ligeiramente similar às demais fontes analisadas para a componente meridional (V), essa similaridade aparenta ser muito inferior com a componente zonal (U).

Para tentar solucionar a ausência de dados da estação SiMCosta SC-01, optou-se por um modelo estatístico de regressão linear múltipla. Os Quadros 1 e 2 mostram os resultados desta análise para cada componente. Nota-se também que, através do coeficiente de determinação (R²), os valores são pouco satisfatórios indicando baixo grau porcentual de ajuste deste modelo (em torno de 20%) para a componente meridional (U), porém bem mais satisfatório (R² = 0,56)

para a componente meridional. Entretanto, ambos os modelos apresentam resultados estatisticamente significativos (p -valor $< 0,05$).

Quadro 1. Análise de regressão da componente zonal (U)

Modelo de regressão linear (robust fit):				
$SiMCosta_u = 1 + INMET_u + METAR_u + SYNOP_u + BDMET_u$				
Coeficientes estimados:				
	Coef. Estimado	Erro padrão	Estatística F	pValor
(Intercept)	0,30995	0,10245	3,0255	0,0025549
NMET _u	-0,35219	0,082253	-4,2818	2,06E-05
METAR _u	0,09547	0,044011	2,1692	0,030336
SYNOP _u	0,69636	0,10705	6,5049	1,31E-10
BDMET _u	0,086522	0,11689	0,74018	0,45939
Numero de observações: 877				
RMSE: 2,94				
R^2 : 0.19				
p-valor = 3,51e-40				

Quadro 2. Análise de regressão da componente zonal (U)

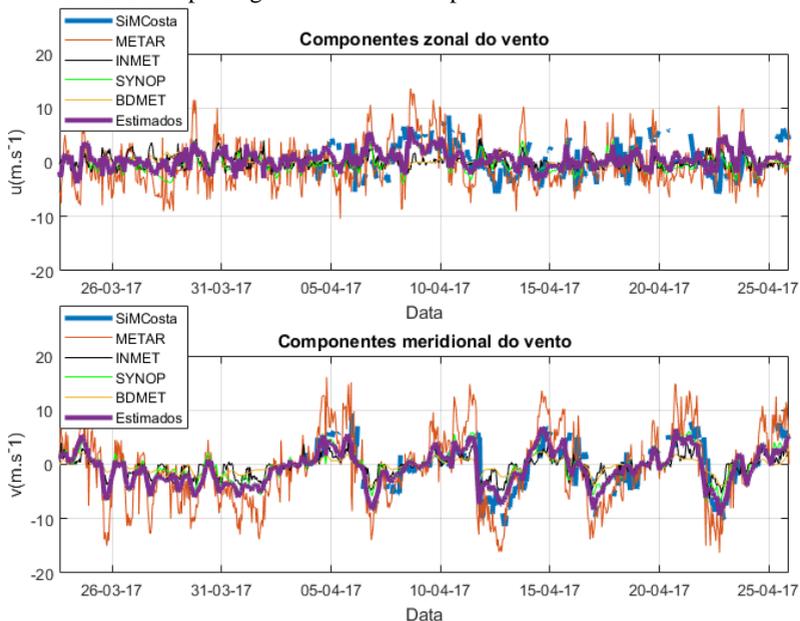
Modelo de regressão linear (robust fit):				
$SiMCosta_v = 1 + INMET_v + METAR_v + SYNOP_v + BDMET_v$				
Coeficientes estimados:				
	Coef. Estimado	Erro padrão	Estatística F	pValor
(Intercept)	-0,012239	0,10	-0,11	0,91
V INMET	-0,093136	0,12	-0,74	0,45
V METAR	0,13075	0,04	2,98	0,0029
V SYNOP	0,4943	0,10	4,55	5,88E-06
V BDMET	1,0902	0,12	8,88	3,68E-18
Numero de observações: 877				
RMSE: 3,08				
R^2 : 0,56				
p-valor = 7,82e-156				

A Figura 6 mostra as componentes zonal e sazonal de vento de todas as estações meteorológicas, incluindo a da plataforma SiMCosta

SC-01. Sendo que os valores estipulados foram resultantes da regressão linear múltipla.

Devido ao fato de não se encontrar valores estatisticamente satisfatórios (semelhantes) para completar os dados faltantes de vento, nas etapas seguintes deste trabalho optou-se em utilizar informações de vento de uma das estações fixas (METAR), por apresentar resolução temporal horária e poucas falhas.

Figura 6 – Séries temporais das componentes de vento (a) U (b) V de 23 de março a 25 de abril de 2017. A série “estimados” significa a série da boia SIMCosta SC-01 após regressão linear múltipla.



4.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

4.2.1 Variabilidade espacial da temperatura superficial do mar e da concentração de clorofila-a

Valores climatológicos médios mensais da temperatura superficial do mar e concentração de CHL-A (Figuras 7 e 8 respectivamente) na região de 25 a 30°S e 45 a 50°W, ao longo do período de 2002 a 2017 e de resolução espacial de 9km, foram obtidos a partir das imagens do sensor MODIS/Aqua. Os valores da concentração de CHL-A foram previamente transformados em log10.

Através desses mapas climatológicos, se verifica que durante os meses de verão (janeiro, fevereiro e março, Figuras 7A a 7C) as massas de água ao longo da plataforma continental exibem características térmicas bastante homogêneas, porém a partir do outono (abril, maio e junho, Figuras 7D a 7F) há diminuição progressiva da temperatura da água do mar próximo à costa. No mês de junho (Figura 7F), o gradiente zonal das temperaturas superficiais é intensificado.

O ciclo climatológico da temperatura superficial do mar mostra, de maneira geral, uma massa de água fria que se estende ao longo da costa, do estado do Rio Grande do Sul até o estado de Santa Catarina sendo mais expressiva durante o inverno (julho a setembro, Figuras 7G a 7I), com temperaturas médias inferiores a 20°C. A frente na forma de uma “língua” alcançando latitudes próximas ao estado do Paraná é a demonstração da incursão das águas frias oriundas do sul do país. Nos meses seguintes, os gradientes zonais térmicos (Figuras 7J e 7K) diminuem progressivamente e exibem uma tendência de se tornarem homogêneas na estação de verão.

Figura 7 – Climatologia (2003-2017) da temperatura superficial dos oceanos (TSM), obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, na região de 25 a 30°S e 45 a 50°W. A) Janeiro; B) Fevereiro; C) Março; D) Abril; E) Maio; F) Junho; G) Julho; H) Agosto; I) Setembro; J) Outubro; K) Novembro; L) Dezembro

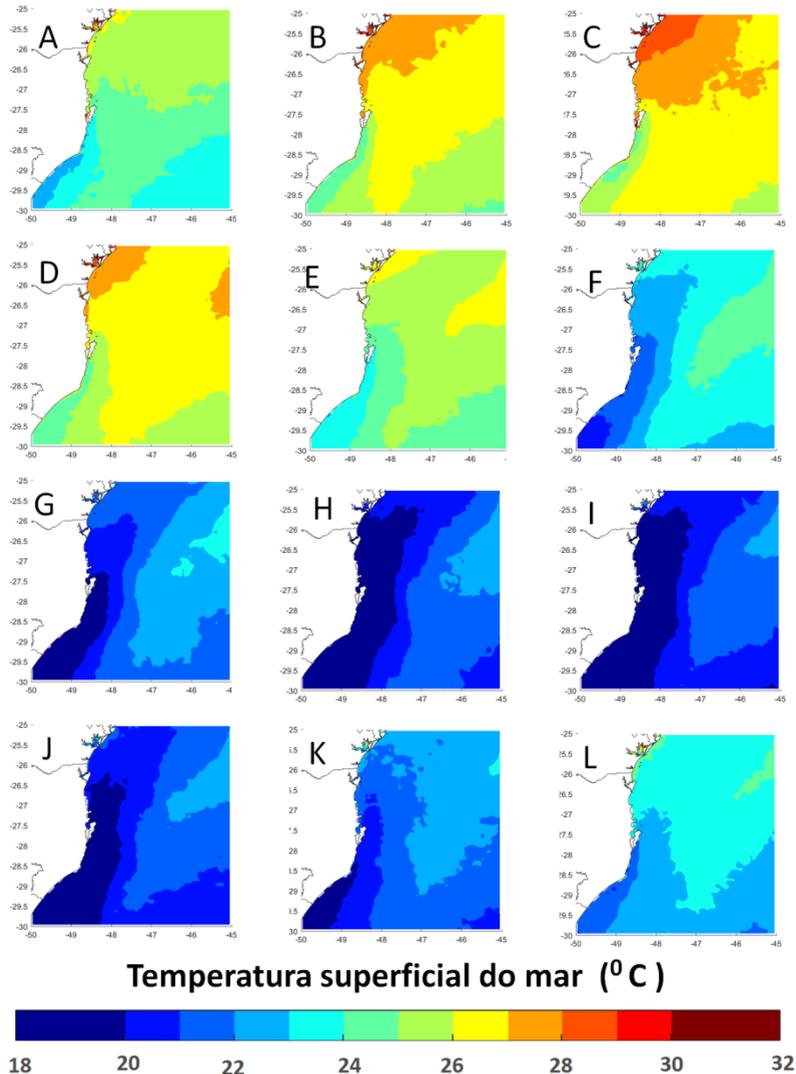
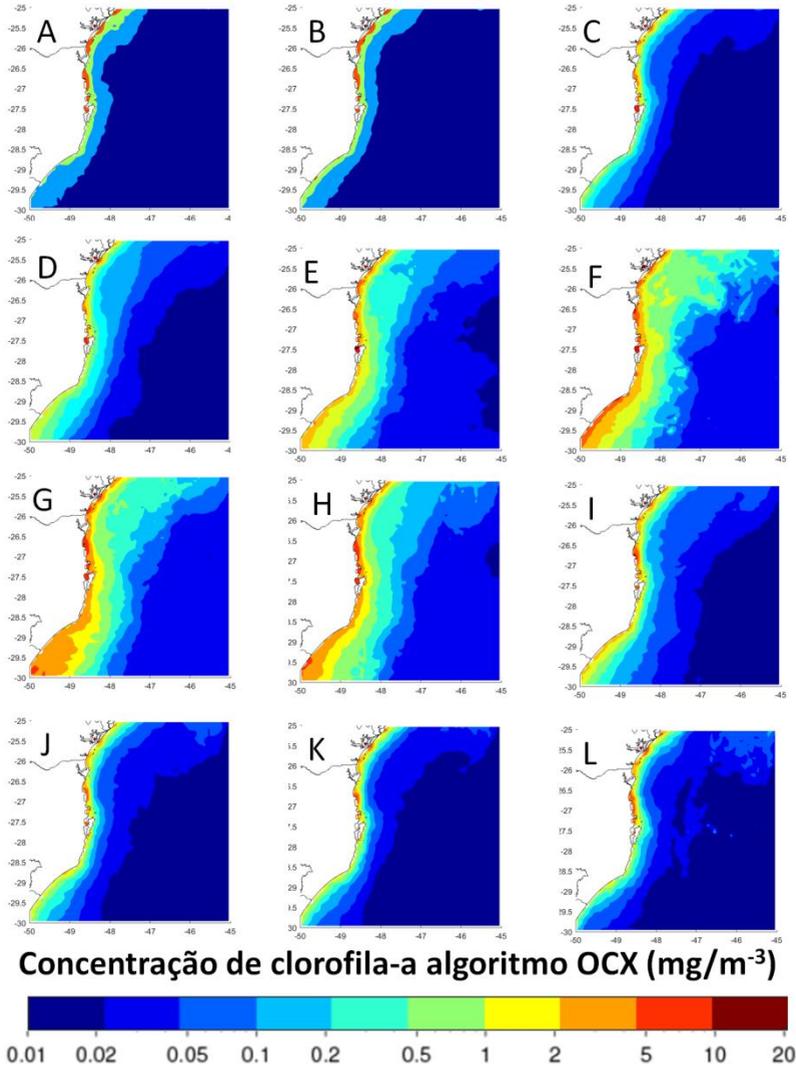


Figura 8 – Climatologia (2003-2017) do \log_{10} da concentração de clorofila-a superficial dos oceanos, obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, na região de 25 a 30°S e 45 a 50°W. A) Janeiro; B) Fevereiro; C) Março; D) Abril; E) Maio; F) Junho; G) Julho; H) Agosto; I) Setembro; J) Outubro; K) Novembro; L) Dezembro



No caso da concentração da clorofila-a, o ciclo anual mostra valores médios mensais maiores ao longo da costa durante todo o ano.

Essa produtividade biológica se estende ao longo da plataforma e diminui progressivamente em direção a regiões oceânicas (Figura 8). Durante os meses de dezembro a abril (Figuras 8L, 8A a 8D) a concentração de clorofila-a se encontra limitada às regiões bem próximas da costa, porém nos meses de junho, agosto e setembro (Figuras 8F a 8H), essas altas concentrações são encontradas em toda a plataforma interna.

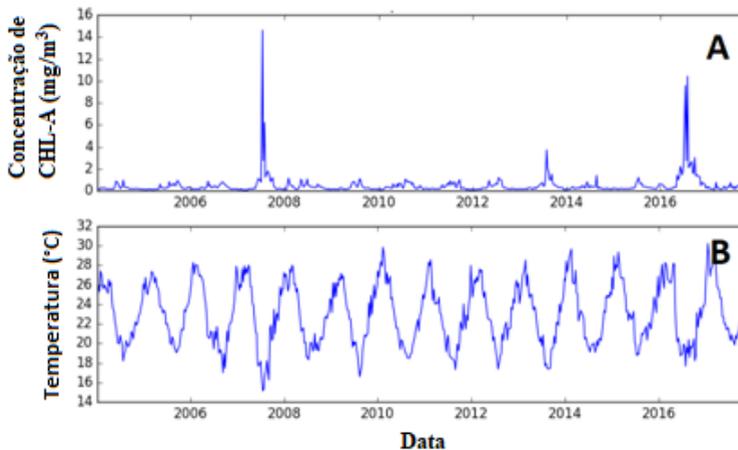
A variabilidade sazonal da concentração de clorofila-a segue o padrão inverso da TSM, atingido seu ápice nos meses de inverno (julho, agosto e setembro), ou seja, a incursão de águas frias do sul com altas concentrações de nutrientes, principalmente silicato impulsiona a produtividade primária na região sul do país.

As imagens oferecem uma ideia quantitativa das diferentes estações do ano e da influência da incursão da pluma do Rio da Prata ao longo da plataforma sul brasileira.

4.2.2 Variabilidade temporal de temperatura superficial do mar e concentração de clorofila-a no local da boia SiMCosta SC-01

A Figura 9 mostra a variabilidade temporal dos dados de concentração de clorofila-a e temperatura superficial do mar no pixel a 27° 16,46720' S e 48° 25,26112' W (mesmo local da plataforma SiMCosta SC-01). As séries foram extraídas das imagens MODIS/Aqua com resolução temporal de 8 dias, no período de 2004 a 2017.

Figura 9—Variabilidade temporal da A) concentração de clorofila-a e B) temperatura superficial do mar, obtidas pelo sensor MODIS/Aqua, no local de fundeio da boia SiMCosta SC01.



Ambas as séries temporais mostram a variabilidade sazonal, com altos (baixos) valores de TSM associados a baixos (altos) valores de concentração de CHL-A-a no verão e inverno/primavera, respectivamente de cada ano. Durante dois períodos, primavera de 2007 e de 2016, elevados valores (acima da média total do período analisado) de concentração de CHL-A foram detectados pelo sensor MODIS/Aqua.

No caso do inverno/primavera de 2007, os altos valores de clorofila-a correspondem aos mínimos de temperatura, muito provavelmente devido à incursão de águas anormalmente frias oriundas do sul. No caso do inverno/primavera de 2016, embora a temperatura superficial do mar não fosse tão baixa como em 2007, observa-se que ela foi relativamente baixa durante um longo período, de modo que nutrientes providos por incursões de águas de baixa temperatura no inverno podem ter promovido florações fitoplanctônicas naquele ano.

Outra possibilidade foi a ocorrência de eventos extremos com grandes chuvas nesses dois anos (2007 e 2016), resultando em elevadas descargas fluviais que transportaram material particulado e dissolvido para a região da ReBio. Neste caso, o algoritmo MODIS OCx da NASA utilizado para transformar as refletâncias espectrais do sensor MODIS/Aqua em concentração de clorofila-a poderia estar falhando.

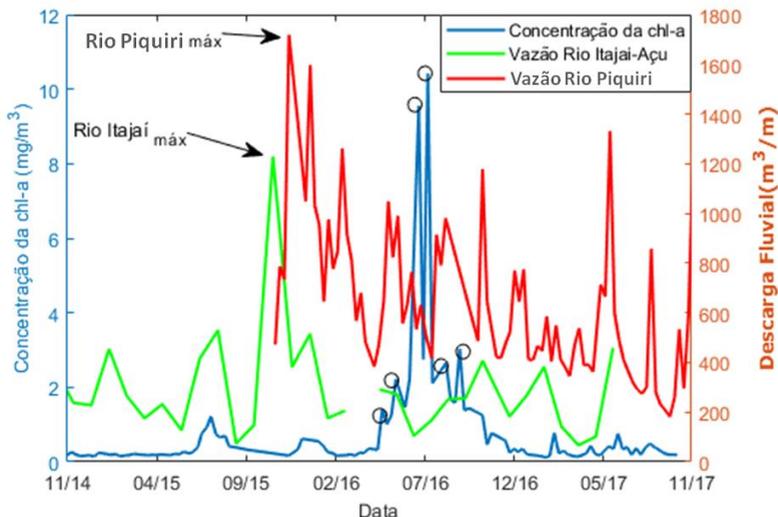
Procurou-se, portanto, verificar se houve relação entre a concentração de CHL-A bem acima da média com a variabilidade hídrica no decorrer do tempo, analisando a evolução destas séries temporais juntos.

Foram utilizados para esta análise, dados de séries históricas com resolução horárias de vazão adquiridas pelas estações fluviométricas localizadas no Rio Itajaí-Açu (código 83800002, localizada no estado de Santa Catarina), e no Rio Piquiri (código 64831000), localizado na mesma bacia hidrográfica do Rio Paraná. Ambas as séries foram disponibilizadas pelo portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas. Após a obtenção destas informações nos referidos períodos, as médias das vazões foram calculadas a cada 8 dias, com o objetivo de ambas as séries possuírem a mesma resolução temporal.

O Rio Paraná é um dos afluentes do Rio da Prata, Verocai et al. (2015) mostraram que ambos os rios possuem variações nas curvas de descargas praticamente idênticas. Desta forma, estas estações foram selecionadas por apresentarem informações históricas no período equivalente à anomalia registrada pelo sensor MODIS/Aqua no ano de 2016 (Figura 9A).

Ao analisar as curvas de variação das três séries históricas (concentração de CHL-A, vazão do Itajaí-Açu e vazão do Rio Paraná) de novembro de 2015 a novembro de 2017, verifica-se que a vazão máxima registrada no Rio Paraná foi de $1719 \text{ m}^3/\text{s}$ (em 25/11/2015), enquanto que a máxima do Rio Itajaí-Açu foi de $1229 \text{ m}^3/\text{s}$ em 27/10/2015.

Figura 10– Variabilidade temporal da concentração de clorofila-a e das vazões dos rios Itajaí-Açu e Rio Piquiri (afluente do Rio Paraná) durante o período de novembro de 2014 a outubro de 2017. Os dados possuem resolução temporal de 8 dias.



No ano de 2015, o valor máximo de concentração de CHL-A foi registrado no mês de julho, período em que houve um aumento na descarga fluvial do Rio Itajaí-Açu. A ausência de dados da vazão do rio Paraná impede de analisar a influência do mesmo. Em geral, nota-se ao longo do ano de 2015 uma coerência entre picos de elevados valores para ambas variáveis, porém ao longo da série total não se observa um padrão comum (Figura 10).

Ao longo do ano de 2016, as concentrações de CHL-A apresentaram 4 picos de elevados valores: 1,42; 2,22; 9,55 e 10,43 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (sinalizados com círculos na Figura 10). Nesses períodos observam-se altos valores de descargas do Rio Paraná e relativamente baixas descargas no Rio Itajaí-Açu. Portanto, os picos de altas concentrações de biomassa fitoplanctônica ($> 5 \text{ mg/m}^3$) não podem ser explicados pelos aportes dos rios Paraná e Rio Itajaí-Açu. Porém, águas oriundas do Sul, impulsionadas pelos ventos do quadrante sul podem ter contribuído para essa alta concentração de clorofila em julho de 2016.

As séries temporais referente ao sensor MODIS de 2003 até 2017 demonstraram eventos de altas anomalias nos invernos de 2006 e 2016 . Observa-se que esta região eventualmente sofre influências de massas de água oriundas do sul, conforme já observadas e discutidas por outros autores.

Piola et al (2005) sugerem que as mudanças na tensão do vento ao longo da costa são o principal fator que afeta a distribuição de águas com baixa salinidade do rio da Prata sobre a plataforma Sul Sudeste brasileira, no entanto, durante eventos de El Niño, os efeitos das anomalias do vento e do significativo aumentado de precipitação sobre a bacia do rio da Prata não levam a uma penetração significativa da pluma na direção norte, durante esta condição a pluma tende se espalhar na direção oeste.

O local de estudo, portanto deve recebe influências de rios próximos (Itajaí-Açu, Tijucas) assim como rio da Prata (La Plata). Essas massas de água possuem papel relevante nos processos biológicos devido a mudanças na dinâmica de nutrientes local, alterações no habitat marinho e, portanto seria responsáveis pelo acréscimo de biomassa fitoplanctônica observado na localização da Rebio.

4.2.3 Variabilidade dos componentes oceanográficos amostradas em alta-frequência da boia SiMCosta SC-01

Sabe-se que zonas costeiras são ecossistemas dinâmicos em que eventos e processos podem evoluir em curtos intervalos de tempo. Nesta seção, as medidas horárias (alta resolução temporal) superficiais da temperatura da água do mar, salinidade, CDOM, concentração de clorofila-a e turbidez são analisadas em conjunto coma descarga fluvial horária do Rio Tijuca e com o vento.

Como se pretende analisar a influência de descargas fluviais nas propriedades oceanográficas na ReBio, o período de amostragem de 23/03/2017 a 23/06/2017 foi subdividido em dois períodos distintos: alta e baixa descarga fluvial do Rio Tijuca. Os blocos de dados referem-se, portanto, aos períodos de 23 de março de 2017 a 23 de abril de 2017 (baixa descarga) e de 23 de maio de 2017 a 23 de junho de 2017 (alta descarga), denominados de Evento 1 (E1) e Evento 2 (E2), respectivamente.

A descarga média do Rio Tijuca durante o evento E1 ($24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) foi 26 vezes menor que o evento E2 (Tabela 3). O valor mínimo de temperatura da água do mar para o evento E1 foi de 23°C e do evento E2 de $18,8^\circ\text{C}$. A entrada de massas de água relativamente frias durante o segundo evento também é visível nas imagens médias da TSM (Figura 7) indicando a presença de águas oriundas do sul.

A temperatura aparenta seguir seu padrão sazonal ao longo da série total com flutuações de alta frequência associadas ao ciclo solar diário (Figura 11A). A fluorescência da clorofila-a calibrada em termos de concentração apresentou valores menores que $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ durante o evento E1 com pequenas flutuações em elevada frequência, provavelmente associada ao ciclo biogeoquímico diário (Figura 11E). Por outro lado, durante o evento E2 observa-se certa concomitância entre picos extremos dessa variável com material orgânico dissolvido colorido (CDOM) (Figura 11C), turbidez (Figura 11D) e salinidade (Figura 11B). A Figura 11H e I representam as variabilidades das componentes zonais e meridionais do vento ao longo deste período, que posteriormente será analisada detalhadamente.

Figura 11 - Séries temporais dos parâmetros A) Temperatura, B) Salinidade, C) CDOM, D) Turbidez E) CHLA E) Oxigênio dissolvido F) Descarga Fluvial G) Vento zonal H) Vento meridional.

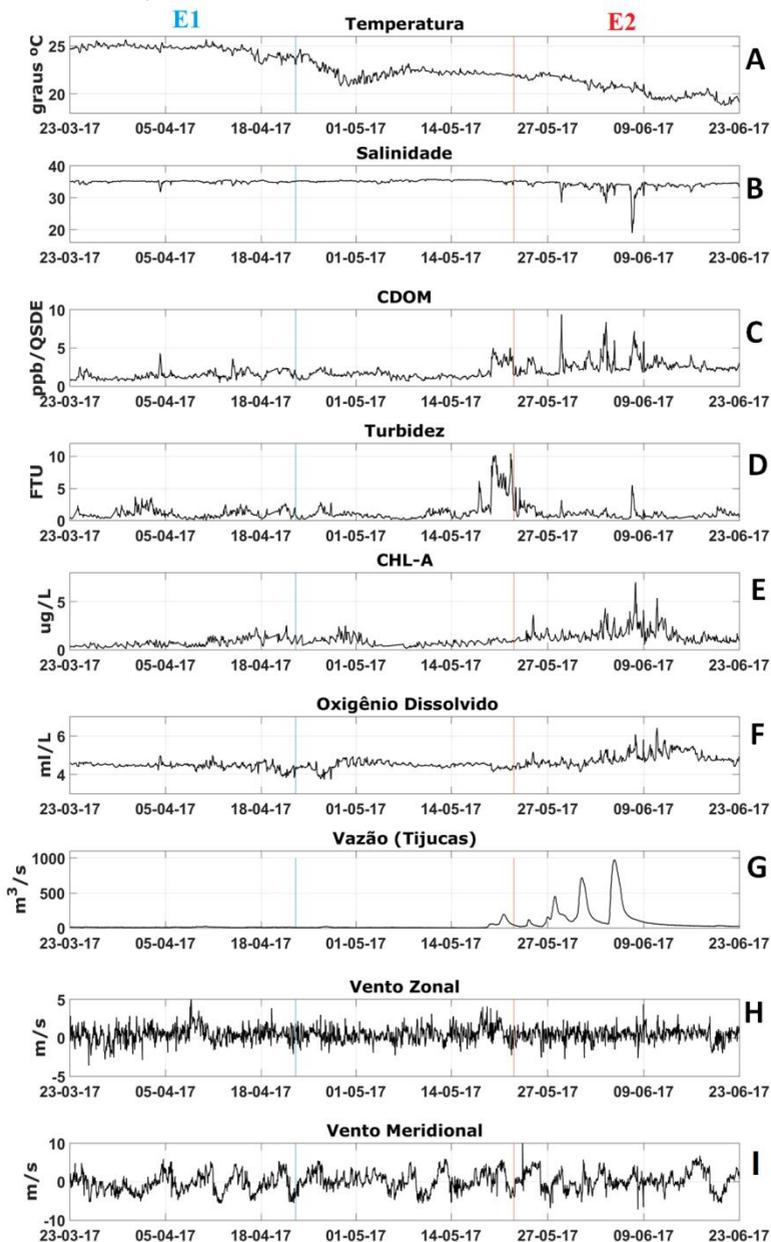
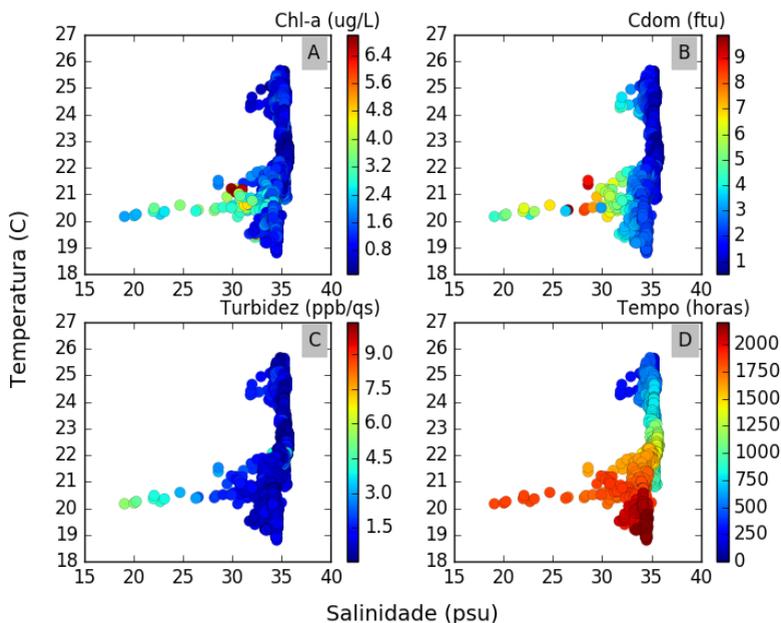


Tabela 3 - Estatística básica das séries temporais das variáveis ambientais coletadas pela boia SiMCosta SC-01. Os valores do máximo, mínimo, média e desvio padrão são apresentados por evento.

Período	Variável	Máx	Min	Média	Desv. P
E1	Temperatura (°C)	25,66	23,02	24,07	0,50
	Salinidade(PSU)	35,52	31,82	35,01	0,39
	Turbidez(NTU)	3,67	0,05	1,14	0,64
	Concentração de clorofila-a (mg/m ³)	2,53	0,11	0,80	0,42
	CDOM (ppb/QSDE)	34,46	0,50	1,43	0,51
	Vazão do RioTijucas (m ³ /s)	24,21	7,20	12,15	3,26
	Componente meridional do vento (m/s)	4,46	-2,69	0,31	1,29
	Componente zonal do vento (m/s)	5,49	-6,34	-0,57	1,80
E2	Temperatura (°C)	22,05	18,80	20,59	0,95
	Salinidade(PSU)	35,36	19,06	33,86	1,60
	Turbidez(NTU)	5,46	0,25	0,95	0,69
	Concentração de clorofila-a (mg/m ³)	6,99	0,55	1,55	0,82
	CDOM (ppb/QSDE)	9,91	1,20	2,67	1,01
	Vazão do Rio Tijucas (m ³ /s)	641	20,90	105,11	117,79
	Componente meridional do vento (m/s)	4,5	-5,90	0,13	1,31
	Componente zonal do vento (m/s)	4,16	-5,26	-6,34	1,68

As características das massas d'água superficiais são representadas pelos diagramas TS-CHL-A (Figura 12A), TS-CDOM (Figura 12B), TS-Turbidez (Figura 12C) e TS-tempo (Figura 12D). Os valores de baixa salinidade ($S < 32$) estão associados geralmente com elevados valores de concentração de clorofila-a (Figura 12A), elevado valor de material dissolvido colorido (CDOM) (Figura 12B) e assim como uma turbidez elevada (Figura 12C). Como esses altos valores foram obtidos num período relativamente curto de intervalo de tempo durante o evento E2 com águas pouco salinas ($19 < S < 32$), há clara indicação de que as águas são uma mistura de águas oceânicas e fluviais.

Figura 12– Diagramas A) TS-CHL-A, B) TS-CDOM, C) TS-turbidez D)TS-tempo, durante o período de 23/03/2017 a 23/06/2017.

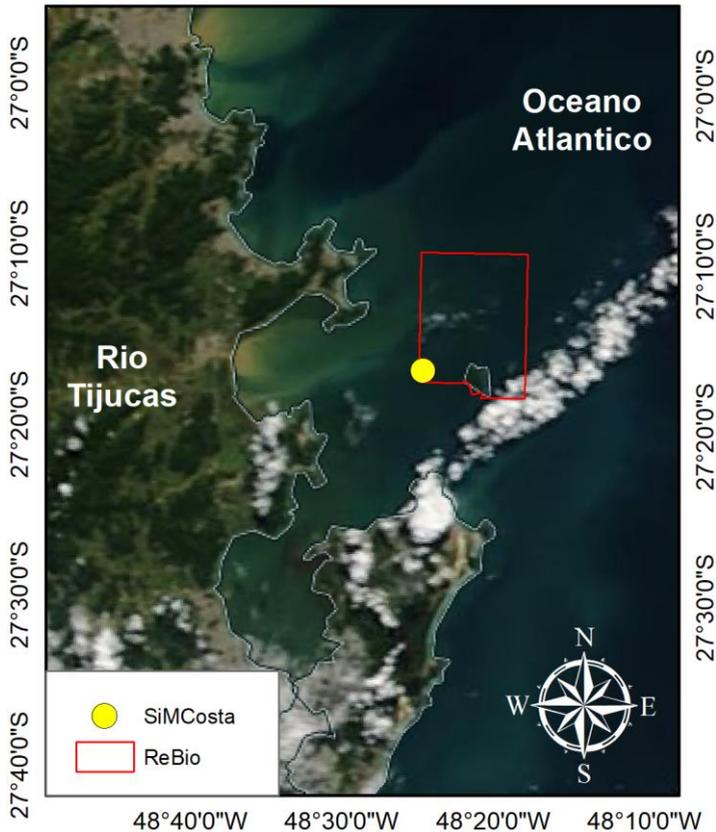


Outro indício da influência de águas oriundas do Rio Tijucas sobre a ReBio é apresentado na Figura 13, que mostra a imagem do sensor MODIS na forma de composição de “cor verdadeira” de 02/06/2017, dentro do período de elevada vazão em que se pode identificar visualmente o desenvolvimento da pluma perto da foz do rio Tijucas com fluxos que se movem para noroeste.

Como a boia SiMCosta SC-01 está localizada a 20 quilômetros da região da foz do Rio Tijucas e a 45 quilômetros da foz do Rio Itajaí-Açu, há possibilidade de ser influenciada por ambos sistemas fluviais.

Figura 13 –Imagem MODIS de “cor verdadeira” de 02 de junho de 2017. A imagem mostra a região da ReBio (em vermelho) e a posição da boia SiMCosta SC-01 (círculo amarelo). A imagem foi adquirida no período vespertino.

8°50'0"W 48°40'0"W 48°30'0"W 48°20'0"W 48°10'0"W

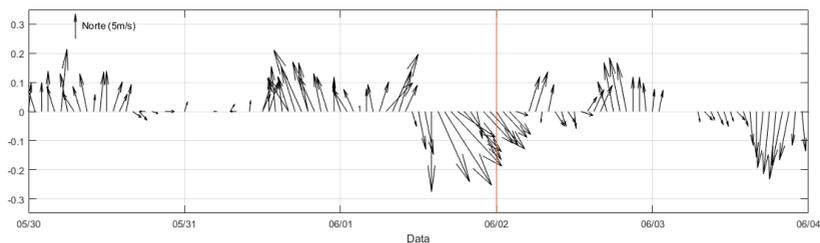


Os ventos no período de 30/05/2017 a 04/06/2017 (Figura 14) oscilam ao longo do período de 5 dias, com ventos sul inicialmente, porém no dia anterior ao registro da pluma pelo satélite, os ventos eram de noroeste, oscilando para sudoeste e leste até a passagem do satélite à tarde do dia 02/06/2017, responsáveis para levar águas fluviais até região da ReBio.

A série temporal de ventos mostra que, antes da aquisição da imagem apresentada na Figura 14, a pluma se deslocou favorecida pela ação dos ventos, se expandindo zonalmente, e atingindo a área da ReBio. Os resultados sugerem que a propagação da pluma do rio Tijucas, conduzida por efeitos da inércia do fluxo com adição dos

ventos locais, promoveu a mistura de massas de águas neste ambiente, resultando uma perturbação na cor e na salinidade do mar no local da boia SiMCosta SC-01. Importante lembrar ainda que quando se considera a influência do o vento, a estrutura da pluma é afetada ainda pelo transporte de Ekman associada pela interação do movimento das camadas superficiais da água impulsionadas pelo vento com o efeito de coriolis (FENNEL E MUTZKE, 1997).

Figura 14—Evolução temporal do vento onde a linha vermelha vertical indica o dia 02/06/2019 às 00h00. O satélite Aqua passa no período da tarde neste local.



Os ventos alternados de sudoeste e nordeste produziram o transporte offshore da água do rio Tijucas, em certos casos a uma distância de 24 km até à Rebio; sob condição de elevadas descargas, isso ocorreu em junho de 2017.

4.2.4 Covariância normalizada (correlação cruzada) entre as séries temporais

Por vezes, flutuações que ocorrem em uma das séries exercem influências sobre variações da outra série e as análises de covariância e correlação cruzada nos fornecem uma medida do grau no qual duas séries de dados se movem juntas. Assim pode-se visualizar em quais períodos amostrais das séries temporais das variáveis oceanográficas estiveram mais fortemente correlacionados com a vazão fluvial e, principalmente, se existiu uma defasagem temporal.

Esta análise foi conduzida através das séries temporais padronizadas no período de 23/03 a 23/06/2017. A covariância normalizada entre as grandezas padronizadas da descarga fluvial e variáveis oceanográficas foram calculadas e resultados encontram-se na Figura 15. Índices estatisticamente significativos de correlação cruzada do sinal de vazão fluvial com quase todos os outros sinais das variáveis analisadas foram encontrados (nível de 95% de confiança).

As séries padronizadas da vazão e temperatura não apresentaram índices de correlação cruzada elevados, onde a maior relação entre as séries foi de -0,43 com respectiva defasagem de 335 horas (Figura 15 A). Observa-se elevados índices de correlação entre as séries de descarga fluvial com salinidade (-0,71), atingindo seu valor absoluto máximo com defasagem de 63 horas (Figura 15B), o que indica que após esse período, as águas fluviais atingem o local da boia SC-01.

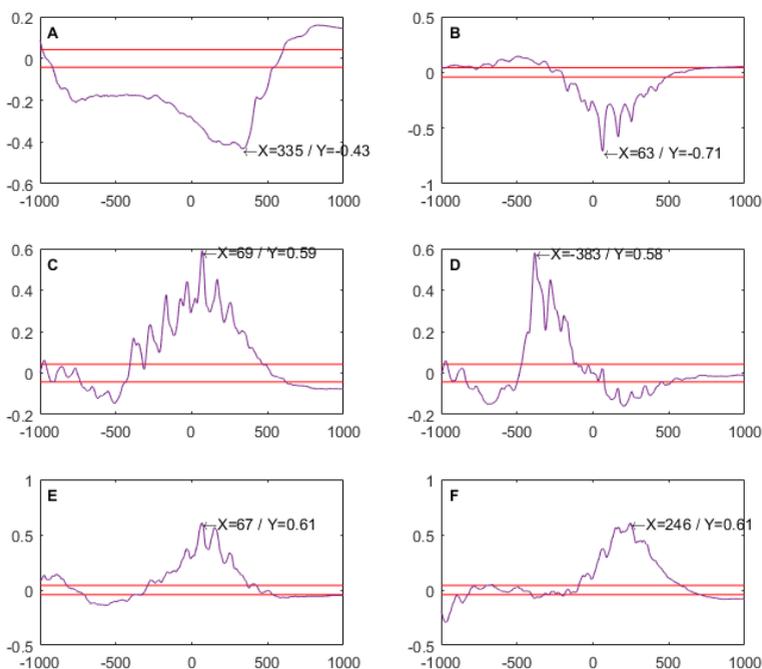
No caso da correlação cruzada entre descarga fluvial e CDOM, o valor máximo da correlação cruzada é de +0,59 e a respectiva defasagem de 69h, o que indica um aumento na concentração de matéria orgânica dissolvida três dias depois dos pulsos de descarga fluvial. Observa-se também que flutuações positivas nas vazões estão associadas a flutuações positivas de CHL-A (Figura 15E), que apresentaram índice de correlação cruzada máxima de 0,65 ($p < 0,05$) com respectiva defasagem de 67 horas.

A descarga fluvial também apresentou índice de correlação significativo de 0,61 ($p > 0,05$) quando correlacionados com valores de oxigênio dissolvido (Figura 15 F), com respectiva defasagem de 246 horas. A correlação máxima das séries de descarga e turbidez é 0,58 ($p < 0,05$), com uma defasagem de 383 horas ou aproximadamente 16 dias. Como este resultado refere-se a tempo pretérito no eixo das ordenadas, inicia um aumento deste parâmetro (turbidez) antes do registro dos pulsos de vazão. Portanto, a turbidez deve estar associada a outros parâmetros, tais como efeito de maré, topografia, entre outros.

Como os parâmetros da salinidade, CDOM e CHL-A correlacionam-se com a descarga fluvial com um atraso de aproximadamente 2,5 a 3 dias (63, 69 e 67 horas), pode-se dizer que o Rio Tijucas exerce grande influência nesses parâmetros. Ou, seja, após a descarga fluvial ocorrer, em aproximadamente 2 a 3 dias, a salinidade diminui e, tanto o CDOM como a concentração de CHL-A, aumentam.

Observa-se também a presença de diversos lóbulos nas Figuras 15B a 15F, o que evidencia certa periodicidade nos sinais, que será discutida posteriormente.

Figura 15–Correlação cruzada entre as séries padronizadas de vazão com A) temperatura; B) salinidade; C) CDOM, D) turbidez; E) concentração de clorofila e F) oxigênio dissolvido. As linhas vermelhas horizontais indicam os limites máximo e mínimo para as correlações serem estatisticamente significativas.

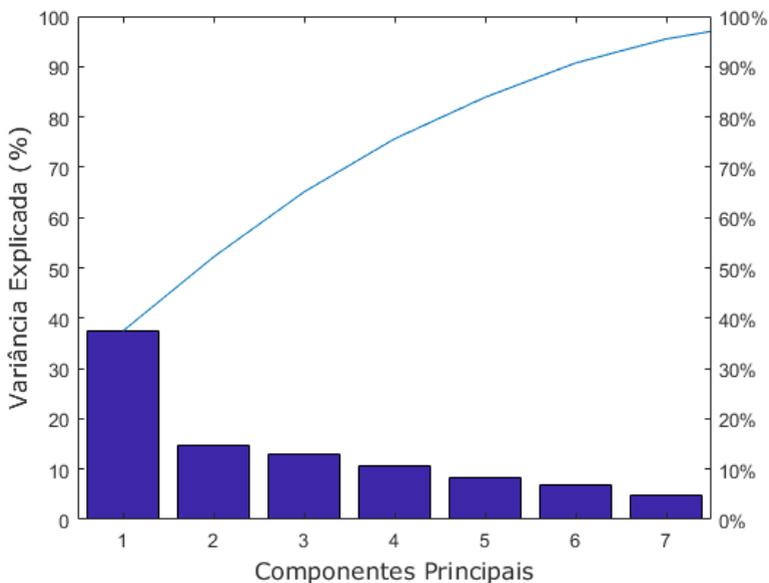


4.2.5 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais foi empregada para compreender a complexidade da variância dos dados utilizados neste trabalho. Esta análise foi conduzida através das séries padronizadas que compreendem todos os dados avaliados no período desde 23/03 até 23/06/2017 (3 meses de dados). Estas séries compreendem valores de temperatura, salinidade, CDOM, turbidez, concentração de CHL-A, oxigênio dissolvido, componente zonal (Leste) do vento e componente meridional do vento (Norte).

A aplicação da análise PCA para as variáveis analisadas, praticamente 9 (nove) componentes retêm toda a variância, sendo que o primeiro componente por si só explica 37% da variação e os dois seguintes 15% e 11% (Figura 16). Isto significa que os dois primeiros modos explicam aproximadamente metade da variabilidade total dos dados padronizados, o que pode ser considerado uma maneira razoável de reduzir as dimensões.

Figura 16 – Variância explicada (em %) dos 7 (sete) primeiros modos da PCA e a variância acumulada.



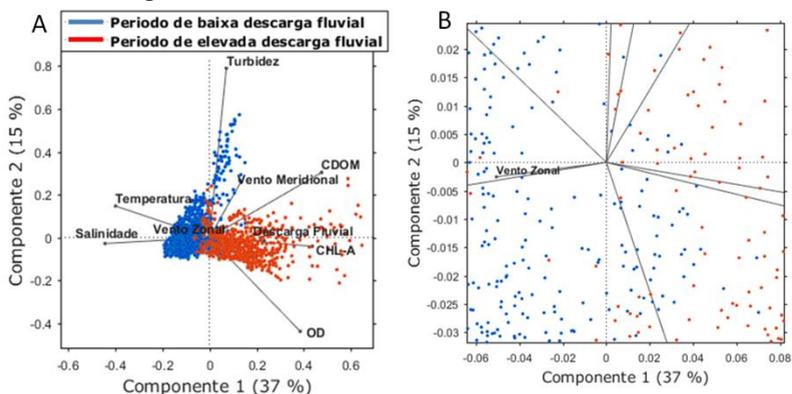
Uma vez os autovetores ordenados a partir dos respectivos autovalores associados, procedem-se a seleção dos 'n' componentes

principais e a montagem da matriz. A Figura 17 mostra a distribuição das variáveis nos dois principais modos ortogonais entre si. Os dados das variáveis durante o evento E2 (alta descarga fluvial) estão em vermelho e o evento E1 (baixa descarga fluvial) em azul.

Nota-se claramente através do diagrama de ordenação da PCA uma separação entre as variáveis nos diferentes regimes de descarga fluvial. Neste mesmo diagrama, observa-se que a temperatura e salinidade aumentam (diminuem) no período de baixa (alta) descarga fluvial.

Por outro lado, CDOM e clorofila aumentam (diminuem) no período de alta (baixa) descarga fluvial (já observados em muitos ecossistemas costeiros, em que águas de origem continental de baixas salinidades são associadas com elevados graus de matéria orgânica dissolvida). No caso da turbidez, possui uma relação direta com a componente meridional do vento.

Figura 17 – A) Diagrama dos dois primeiros modos da PCA. A variância acumulada nos dois primeiros eixos é de 52% e B) o zoom centralizado deste mesmo gráfico.



A turbidez foi responsável em grande parte pela variação positiva da componente 2 (eixo y), enquanto que o OD foi responsável em grande parte pela variação negativa.

A análise de componentes principais (Figura 17) revelou ainda que a componente 1 (eixo X) apresentou maior contribuição negativa da temperatura e salinidade, no extremo oposto, pode-se observar um grupo formado pelas variáveis componentes do vento, descarga fluvial, CHLA, OD e CDOM. Neste grupo existe uma relação direta entre CDOM e CHL-acom adescarga fluvial, podem estar relacionadas pelo

mesmo fator. Parte do CDOM em regiões costeiras muitas vezes está associada ao aporte de águas fluviais, rica em nutrientes, que estimula a produção primária, elevando a concentração do pigmento fotossintético. O aumento de partículas (inorgânicas e orgânicas) na superfície da água devido ao alto deságue fluvial, adicionado à parcela do CDOM que pode ter origem autóctone, possivelmente vindas da decomposição do fitoplâncton ou outros materiais como macroalgas ou macrófitas.

Observa-se uma relação inversa entre valores de temperatura e CHL-A, indicando a influência de águas com baixas temperaturas (provável ressurgência) que induzem a proliferação de organismos fotossintetizantes, pelo fato dessas massas de água trazer nutrientes para a zona fótica.

O método de ordenação permitiu condensar o conjunto de dados obtidos, expressando a complexidade das relações entre as variáveis ambientais em um número restrito de modos independentes. É bastante evidente a diferença entre períodos de elevada e baixa descargafluvial, assim como a relação entre vento e turbidez.

4.2.6 Densidade espectral de potência

Os dados horários dos dois blocos de dados, período de 23/03/2017 a 23/04/2017 (evento E1, baixa descarga fluvial) e 23/05/2017 a 23/06/2017 (evento E2, elevada descarga fluvial), depois de padronizados, foram filtrados digitalmente com filtro passa-alta para análises espectrais.

Os espectros de potência foram calculados através da função *pwelch.m* no software *Matlab*, usando 512 pontos da série e janelamento de Hamming de 100 amostras e sem sobreposição. Os espectros são apresentados dentro do limite de 95% de confiança. Os resultados da análise espectral de densidade de potência das séries temporais de alta frequência são apresentados nas Figuras 18 e 19. Esses gráficos apresentam valores com intervalo de confiança de 95% (limites máximos e mínimos representados pelas linhas tracejadas).

Observa-se para cada um dos blocos de dados selecionados, seus respectivos ciclos. Logo a temperatura revelou ciclos diurnos e semi-diurnos, com períodos de 24h e 12h, além de outro ciclo em frequências menores (67 ou 74h).

Outra variável que apresenta relativa semelhança entre os espectros calculados para cada um dos blocos de dados é a concentração de clorofila-a que apresenta também ciclos diurnos (Figura 18E e 20 E), refletindo o ciclo biogeoquímico diário (24h) da radiação solar. Este ciclo diurno também se revela ao longo da densidade espectral da temperatura superficial do mar (TSM) em quaisquer condições de descarga fluvial.

A densidade espectral calculada a partir das séries filtradas de salinidade apresentam-se bastantes distintas uma das outras para cada bloco de dados avaliado. A série relativa ao período de baixas descargas fluviais, apresentou ciclos de 51 horas e de 23 horas (diurno), enquanto que a série registrada em período de altas descargas apresentou frequências dominantes (mais energéticas) em ciclos de respectivamente de 28h e 47h.

Nota-se através destes gráficos que os espectros gerados pelas séries de salinidade (Figura 18B e 19B) possuem bastante semelhança aos espectros gerado pelas séries de CDOM (Figura 18C e 19C), em ambos blocos de dados. Durante o período de baixas descargas (Evento E1), esta variável apresentou ciclos de 51h e 23h e durante o evento de altas descargas (Evento E2) revelou ciclos de 51h e 19h.

As séries de turbidez revelaram espectros de energia com frequência dominante (mais energética) de 1/23h durante elevadas descargas (evento E2, Figura 19D) e para condição oposta (baixas

descargas) revela ciclos dominantes de, respectivamente, 51h, 24h, 17h. (Figura 19D), sendo bastante semelhante aos ciclos gerados pela série de CDOM (Figura 19C) sobre mesma condição de descarga, indicando a inter-relação entre estes parâmetros.

Em relação à densidade espectral calculada com as séries de oxigênio dissolvido (Figuras 18F e 19F) observa-se maior energia no período de 23h (ciclo diurno), indicando também a influência da temperatura e consequentemente no ciclo biogeoquímico diário onde ocorre a produção deste gás.

Os espectros gerados pelas séries de descarga fluvial (Figuras 18G e 19G) mostram que a frequência mais energética possui ciclos de 64h no evento E1 e 51 horas no evento E2.

Em ambos os eventos, porém mais expressivo pelas séries do E1, a componente zonal do vento apresentou ciclo próximo de 24h, provavelmente devido a diferenças na pressão atmosférica entre mar e terra, criada pelas distintas propriedades térmicas da água do mar e da terra, o que provoca a brisa marinha. Como tal, a terra absorve a radiação solar muito mais rapidamente que a água do mar, porém resfria mais depressa e, após o pôr do sol, o vento tende a fluir do mar para a terra. Os espectros gerados pelas séries da componente meridional do vento apresentaram ciclos de energia com 64 (Figura 18I) e 57h (Figura 19I), para os eventos E1 e E2, respectivamente.

Os resultados desta análise de alta frequência indicam, portanto, variabilidade marcante nos ciclos diurno e semi-diurno, além de terem oscilações nas frequências ao redor de 1/70 a 1/50h, o que representariam ciclos cujos períodos estão entre 2 e 3 dias, associados ao tempo que leva as águas do Rio Tijucas atingirem a ReBio.

Figura 18 - Densidade espectral de potência das séries temporais (evento E1) com dados padronizados, A) temperatura; B) salinidade; C) CDOM; D) turbidez; E) CHL-A; F) oxigênio dissolvido G) descarga fluvial; H) componente zonal do vento e I) componente meridional do vento.

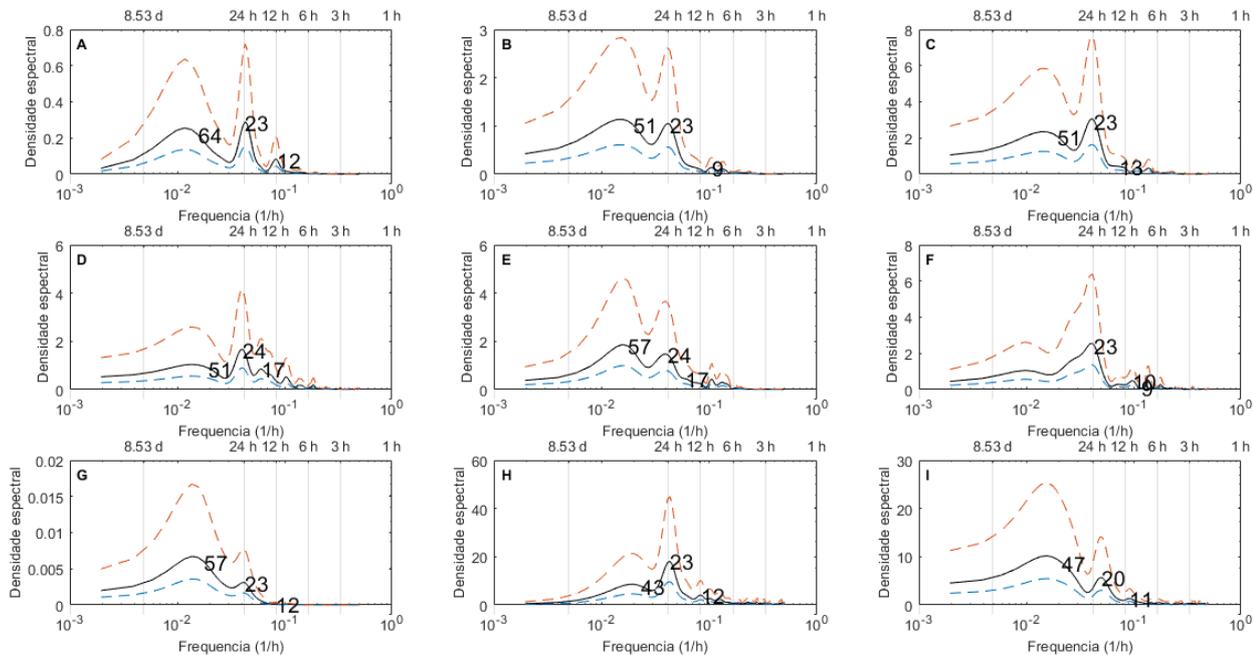
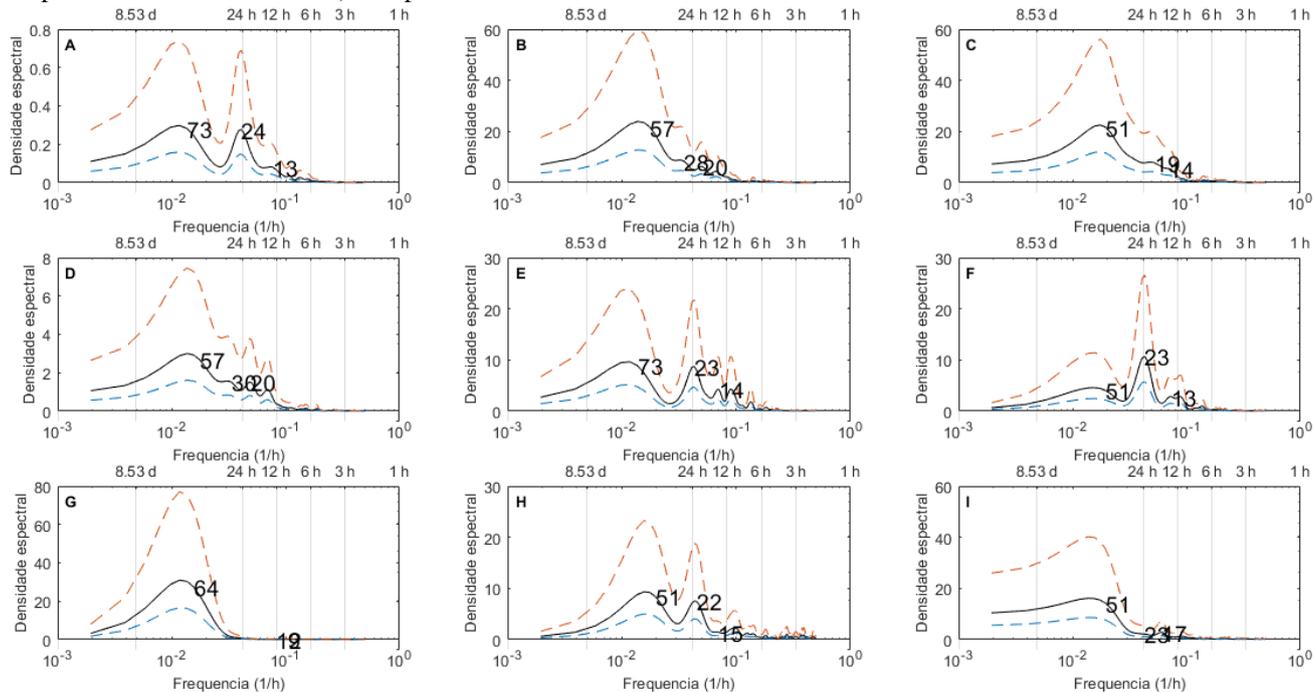


Figura 19–Densidade espectral de potência das séries temporais (evento E2), com dados interpolados e padronizados, A) temperatura; B) salinidade; C) CDOM; D) turbidez; E) CHL-A; F) oxigênio Dissolvido; G) descarga fluvial; H) componente zonal do vento e I) componente meridional do vento.



5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo mostrar a variabilidade das propriedades oceanográficas do ambiente marinho costeiro na região da ReBio. Efeitos externos como deságue fluvial e ventos, exercem certa variabilidade nas propriedades oceanográficas (ex. temperatura, salinidade, CDOM, turbidez, oxigênio dissolvido, etc.) medidas na ReBio, além da interação entre as mesmas. É evidente que existe uma grande dificuldade quando se tenta considerar todas essas interações, pois na natureza existem muitos mecanismos que amplificam ou amortecem essas variações, ocorrendo de forma interativa e não linear, sendo um verdadeiro desafio para uma completa descrição quantitativa.

Neste contexto, informações da plataforma SC-01 do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta), de estações fluviométricas e meteorológicas próximas da ReBio, e de imagens de satélites foram utilizadas para análises quantitativas e estudos das interações das variáveis ambientais.

As estimativas da concentração de clorofila-a e temperatura superficial do mar provenientes de satélite (sensor MODIS) foram comparadas com medidas de instrumento instalado na boia SiMCosta SC01, apresentando boa concordância entre estes métodos amostrais, principalmente para a TSM. As informações das componentes zonal e meridional de vento da boia SC-01 também foram comparadas com outras estações vizinhas localizadas em terra, cujos dados serviram para completar lacunas de dados de vento da boia SC-01.

A série temporal referente aos 12 (doze) anos de atividade do sensor MODIS foi utilizada para auxiliar na investigação das variáveis ambientais CHL-A e temperatura superficial no local da SC-01. Os valores médios mais expressivos e elevados de indicadores de produção primária (CHL-A) foram registrados ao longo dos meses de inverno, que coincidem com valores baixos de temperaturas. Este trabalho confirmou que as altas concentrações de clorofila, detectadas por imagens de satélite visíveis no local da boia SC-01, correspondiam a florações de fitoplâncton, devido ao enriquecimento de nutrientes por contribuição fluvial do Rio de La Plata. O algoritmo global da OCx da NASA pode ser tendencioso, evidenciando a necessidade de mais medições bio-ópticas *in situ* para geração de algoritmos locais e, irão contribuir para estudos adicionais sobre o seu impacto no ecossistema no entorno da ReBio.

Diferenças foram observadas na variabilidade das séries temporais de medições em superfície da água pela boia SC-01, ou seja, na temperatura da água do mar, salinidade, concentração de clorofila-a,

matéria orgânica dissolvida colorida e turbidez sob distintas condições de regime fluviométrico do Rio Tijucas.

Neste trabalho, foi demonstrado que os relativamente grandes volumes de água transportados pelos rios adjacentes (por exemplo, o Rio Tijucas) à região da ReBio são restritos a apenas alguns períodos e que, sob certas condições de vento (vindos de noroeste/sudoeste), atingem esta região. Essas águas de baixa salinidade transportam matéria orgânica dissolvida e nutrientes, aumentando os valores de CDOM e CHL-a no local da boia SC-01.

A análise de componentes principais (PCA) mostrou clara divisão entre os períodos de alta e baixa descarga fluvial. A temperatura e salinidade aumentam (diminuem) no período de baixa (alta) descargas fluviais. Por outro lado, CDOM, concentração de clorofila-a e turbidez aumentam (diminuem) no período de alta (baixa) descarga fluvial.

Muitas das propriedades oceanográficas medidas pelos instrumentos e sensores da boia SiMCosta SC-01 possuem similaridades na distribuição espectral da energia (ou potência). Os resultados da análise de alta frequência indicam variabilidade marcante nos ciclos diurno e semi-diurno, além de oscilações nas frequências ao redor de 1/70 a 1/50h (períodos de 2-3 dias), associados ao tempo que leva as águas do Rio Tijucas atingirem a ReBio.

As informações geradas por este trabalho apresentam os resultados iniciais da boia SC-01, que com o passar do tempo as séries se tornarão mais longas e podem revelar efeitos importantes que deverão servir para prever possíveis consequências e no meio natural e incorporar este conhecimento à tomada de decisões dos gestores ambientais.

REFERÊNCIAS

- ACHA, E. M. et al. Marine fronts at the continental shelves of austral South America: physical and ecological processes. **Journal of Marine systems**, v. 44, n. 1-2, p. 83-105, 2004.
- ALIZADEH, M., et al. Development of wavelet-ANN models to predict water quality parameters in Hilo Bay, Pacific Ocean. **Marine pollution bulletin**, v. 98, n. 1, p. 171-178, 2015.
- BØRSHEIM, K. Y., et al. Monthly profiles of DOC, mono-and polysaccharides at two locations in the Trondheimsfjord (Norway) during two years. **Marine Chemistry**, v. 63, n. 3, p. 255-272, 1999.
- BRASIL**, 1990. Decreto no 99143, 12 março 1990. Diário Oficial da União. Brasília, 13 março 1990. Brasília, DF.
- BRODIE J., et al., Sources of sediment and nutrient exports to the Great Barrier Reef World Heritage Area. **Australian Centre for Tropical Freshwater Research**, James Cook University, Townsville, 191, 2003.
- BROTAS, V. et al. Deriving phytoplankton size classes from satellite data: Validation along a trophic gradient in the eastern Atlantic Ocean. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, p. 66-77, 2013.
- BUITRAGO, R.N.; ANFUSO, G. An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish littoral. **Journal of Coastal Research**, n. 64, p. 1891, 2011.
- BUYNEVICH, I. et al. Mud in the surf: nature at work in a Brazilian bay. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 86, n. 33, p. 301-304, 2005.
- CAMIOLO, M. D. et al. Evaluating the performance of the OC5 algorithm of IFREMER for the highly turbid waters of Río de la Plata. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 19-28, 2016.
- CAMPOS, M. L. A. M. et al. Construção e otimização de um reator de baixo custo para a fotodegradação da matéria orgânica em águas naturais e sua aplicação no estudo da especiação do cobre por voltametria. **Química Nova**, v. 24, n. 2, p. 257-261, 2001.

CHIN-SHUNG, Y.; SZU-PYNG, K.; FEN-BIN, L.;PEN-SHAN, H. P. **Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0.** XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress. Istanbul, 2004.

CHLUDINSKI, A.P. ; BONETTI J. Aplicação de um Modelo Digital de Terreno na caracterização do relevo submerso da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Baía de Tijucas – SC **Gerenciamento Costeiro Integrado**(2), p. 13–14, 2002.

CIOTTI, A. M. et al. 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.

DAUER, D. M. et al. Relationships between benthic community condition, water quality, sediment quality, nutrient loads, and land use patterns in Chesapeake Bay. **Estuaries and Coasts**, v. 23, n. 1, p. 80-96, 2000.

DICKEY, T. D. The emergence of concurrent high- resolution physical and bio- optical measurements in the upper ocean and their applications. **Reviews of Geophysics**, v. 29, n. 3, p. 383-413, 1991.

DOLAN, R.; DAVIS, R. E. An intensity scale for Atlantic coast northeast storms. **Journal of Coastal Research**, p. 840-853, 1992.

EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters off southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 11, n. 2, p. 101-112, 1961.

FENNEL, W.; MUTZKE, A. The initial evolution of a buoyant plume. **Journal of Marine Systems**, v. 12, n. 1-4, p. 53-68, 1997.

FUJITA, R. H. Geomorfologia e evolução quarternária da calha do Alto Rio Paraná, no segmento livre de barramentos, entre os reservatórios de Porto Primavera e Itaipu. 2014.

GHOLIZADEH, M. H. et al. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1298, 2016.

GRÉMARE, A., et al. The effects of a strong winter storm on physical and biological variables at a shelf site in the Mediterranean. **OceanologicaActa**, v. 26, n. 4, p. 407-419, 2003.

GURLIN, D. et al., Remote estimation of chl-a concentration in turbid productive waters—Return to a simple two-band NIR-red model?. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3479-3490, 2011.

HUMPHREY, M. D. et al. A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 14, n. 6, p. 1513-1519, 1997.

IBAMA. **Plano de Manejo – Reserva Biológica Marinha do Arvoredo**. BRASÍLIA, julho de 2004.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 2002.

KIRK, J.T. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Second Edition. Cambridge University Press. Great Britain. pp. 509. 1994.

LALLI, C.M.; PARSONS, T.R. 1997. **Biological Oceanography An Introduction**. Second Edition. Elsevier, Oxford, 314 p.verificar formato de shit

LATORRE, M. et al. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. *Revista Espaço e Geografia*, v. 6, n. 1, 2003.

LEGENDRE, P; LEGENDRE, L.F.J. **Numerical ecology**. 2nd English Edition. *Developments in Environmental Modelling*, 20, Elsevier, p 853 , 2012.

LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutriente em microparcelsa reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, Piracicaba, v. 38, p. 5-16, 1988.

MIRANDA, F., et al., **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MÖLLER J.R.O., et al., The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1607-1624, 2008.

NEZLIN, N. P.; DIGIACOMO, P. M. Satellite ocean color observations of stormwater runoff plumes along the San Pedro Shelf (southern California) during 1997–2003. **Continental Shelf Research**, v. 25, n. 14, p. 1692-1711, 2005.

PAINTING, S. J., et al. Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: susceptibility to eutrophication. **Marine pollution bulletin**, v. 55, n. 1, p. 74-90, 2007.

PAQUETTE, Marie-Laurence et al. Spatial patterns of benthic foraminifera as a support to the oceanographic characterisation of Arvoredo biological marine reserve (South Atlantic, Brazil). **Marine environmental research**, v. 114, p. 40-50, 2016.

PELLERIN, B. A.; BERGAMASCHI, B. A. Optical sensors for water quality. Lakeline, Spring, p. 13-17, 2014.

PIOLA, A.R. et al. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic Shelf. **Geophysical Research Letters** 32, 2005.

PRIESTLEY, M. B **Spectral analysis and time series**. London: Academic press, 1981.

ROCHA, et al. Ascídias (Tunicata, Ascidiacea) da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 2, p. 461-476, 2005.

ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. S. P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. EdUSP, 2006.

SANTOS, I., et al. **Hidrometria Aplicada.**, LACTEC, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, PR. 372p, 2001.

SCHETTINI, C.A.F. Caracterização física do estuário do Rio Itajaí-açu, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 123-142, 2002.

SCHETTINI, C. A.F et al. A snapshot of suspended sediment and fluid mud occurrence in a mixed-energy embayment, Tijucas Bay, Brazil. **Geo-Marine Letters**, v. 30, n. 1, p. 47-62, 2010.

SCHETTINI, C. A.; CARVALHO, J. L. HIDRODINÂMICA E DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NO ESTUÁRIO DO RIO ITAJAÍ-AÇU [RELATÓRIO]. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 131-140, 2010.

SCHETTINI, C. A. F.; TOLDO J. E. Modos de transporte de sedimentos finos no estuário do Rio Itajaí, SC. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 151-160, 2001.

SCHMID, H. How to use the FFT and Matlab's pwelch function for signal and noise simulations and measurements. Institute of Microelectronics, **University of Applied Sciences NW Switzerland**, no, 2012.

SILVA, A. R. da et al. Application of ecological indicators in coastal watershed under high pressure during summer peRiod. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 537-548, 2016.

SILVEIRA, I.C.A. et al. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SMEATON, A. F et al. Multimedia information retrieval and environmental monitoring: Shared perspectives on data fusion. **Ecological Informatics**, v. 23, p. 118-125, 2013.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 46, n. 1-2, p. 279-303, 1999.

TRUCCOLO E. C., FRANCO D., SCHETTINI C.A.F. The low frequency sea-level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **J Coastal Res SI 39:547–552**. (2006)

VEROCAI, José E. et al. Addressing climate extremes in Coastal Management: The case of the Uruguayan coast of the Rio de la Plata System. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, n. 1, 2015.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária. 449p. 1991

WARD, A. D.; ELLIOT, W. J. **Environmental Hydrology**. Lewis Publ. 328 p., 1995.

ANEXO A– Mapa altimétrico da região costeira de SC e localização de plataforma de coleta de dados utilizados neste trabalho, lembrando que a localização geográfica da estação METAR é a mesma da estação SYNOP.

