

# VARIABILIDADE SAZONAL E EPISÓDICA DAS COMUNIDADES DE PLÂNCTON DA BAIÁ DO ARAÇÁ

Áurea M. Ciotti<sup>1</sup>; Amábile Ferreira<sup>1</sup>; Maria F. C. Giannini<sup>1,2</sup>; Rubens M. Lopes<sup>3</sup>;  
Maiá G. Medeiros<sup>2,3</sup>; Catarina R. Marcolin<sup>4</sup>; Camila N. Signori<sup>3</sup>; Vivian H. Pellizari<sup>3</sup>

1- Laboratório Aquarela, Centro de Biologia Marinha (CEBIMar), Universidade de São Paulo – USP, 11600-000, São Sebastião, SP;

2- Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo – USP, 05508-120, São Paulo.

3 - Departamento de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo – USP, 05508-120, São Paulo, SP

4 - Instituto de Humanidades, Artes e Ciências, Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB, Campus Sosígenes Costa, 45810-000, Porto Seguro, BA.

# Sumário da Apresentação

Objetivos e Contextualização

Conhecimentos Anteriores

Desenho Amostral do Modulo 1

Resultados em destaque

- ambiente fisico-quimico
- microbiologia
- fitoplâncton
- zooplâncton

Conclusão - visão geral do “estado trófico” (no sentido de estar eutrofizado ou não) da Baía do Araçá

Peres, A.L. F. doi: 10.11606/D.59.2013.tde-07012014

Tocci, B.R.C. 2015. Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas no Canal de São Sebastião-SP com o aumento da pluviosidade

Giannini & Ciotti- 2016. doi: 10.1002/Ino.10317

# Objetivos e Contextualização

CONTEXTO DO PROJETO- Gerar produtos que contribuem para a compreensão da importância ecológica e de sua conectividade com sistemas adjacentes.

Biodiversidade  
Estrutura das  
comunidades

Biomassas:  
micro-  
organismos  
fitoplâncton  
zooplâncton

Variações no tempo e  
espaço  
Respostas ao ambiente  
físico-químico

Subsídios para modelagem  
ecológica/trófica

$$\begin{array}{c}
 \text{Rate of change in cell carbon} \longrightarrow \frac{dC}{dt} = C \cdot \underbrace{(P+M-R)}_{\substack{\text{Carbon-specific carbon acquisition by photosynthesis \&} \\ \text{mixotrophy, less respiratory costs}}} - \underbrace{G}_{\substack{\text{Loss by grazing}}} + \frac{d}{dz} \left( k_z \frac{dC}{dz} \right) + \frac{d(w_s C)}{dz} \quad + \text{ADVECTION} \\
 \begin{array}{l}
 \text{Standing stock} \downarrow \\
 \text{Gain/loss due to mixing} \downarrow \\
 \text{Loss due to sinking} \downarrow
 \end{array}
 \end{array}$$

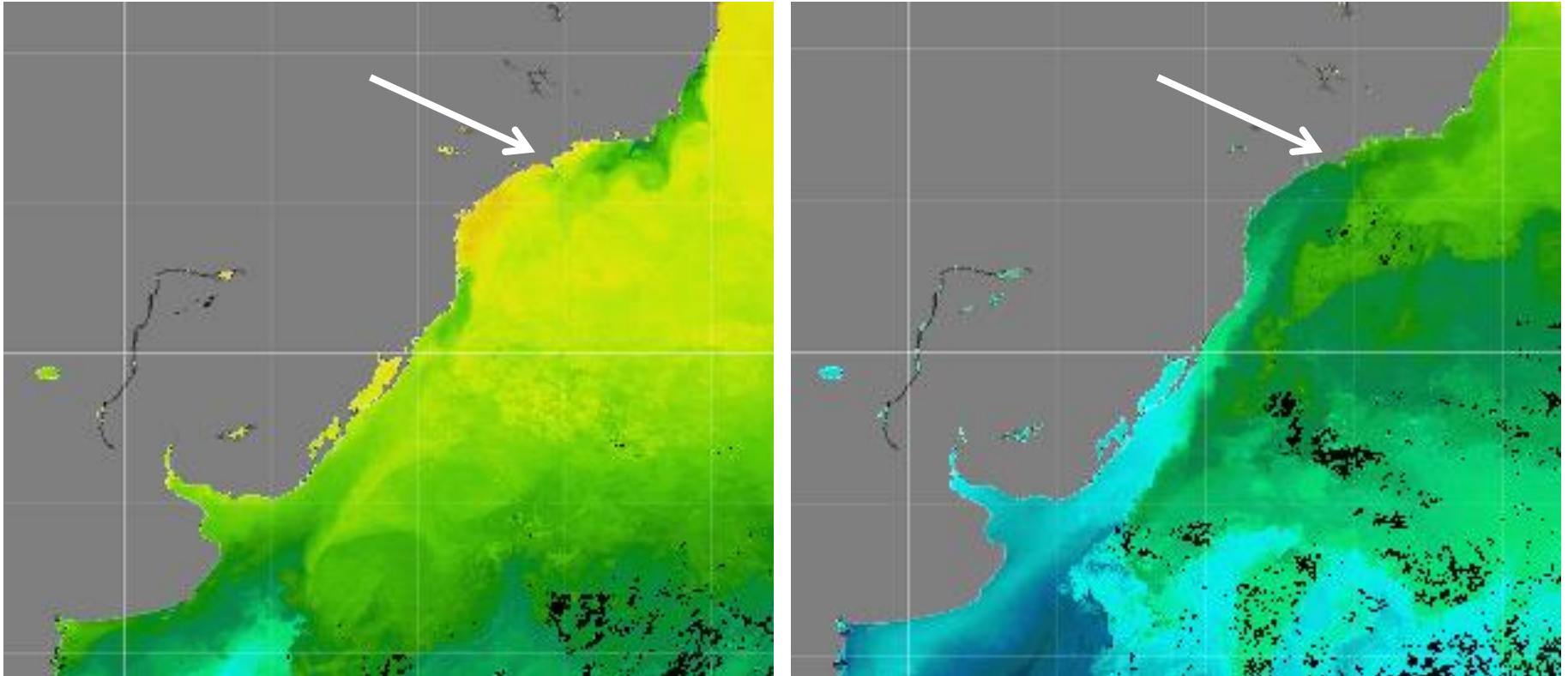
Riley et al., 1949

# Dados pretéritos

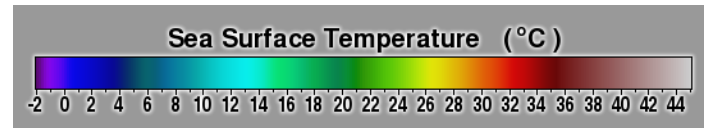
Micro-organismos	Nada
Fitoplâncton	Saldanha, 1993 Gianesella-Galvao et al. 1997.
Nutrientes Fitoplâncton e Zooplâncton	Canal de São Sebastião / Projeto Opis Gaeta et al., 1990 Gianesella et al., 1999
Zooplâncton	Eskinazi-Sant'anna & Bjornberg, 2006 (Ênfase em microzooplâncton) <ul style="list-style-type: none"><li>• Oliveira &amp; Migotto, 2015 (Específico sobre Ctenophora)</li></ul>

Muitas amostragens e poucos trabalhos publicados:

- Cursos da USP
- Projetos de diagnóstico e monitoramento ambiental (TEBAR e Cia Docas)
- Dados não publicados e de acesso restrito
- Nenhum estudo publicado comparando a Baía do Araçá com o canal principal

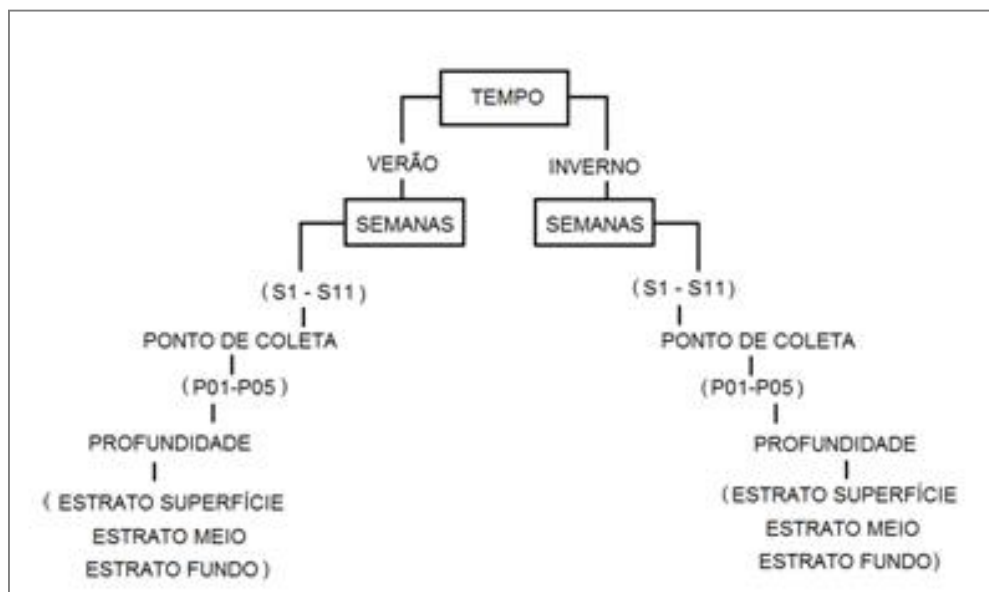
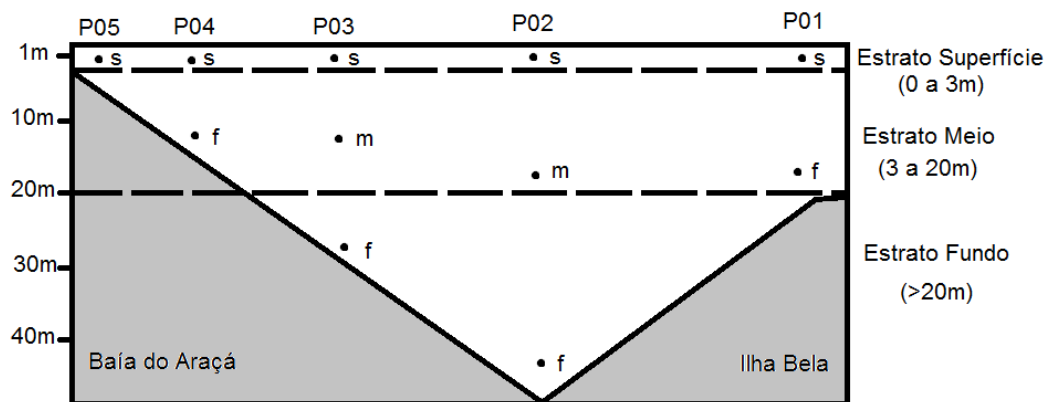


Temperatura superficial MODIS/AQUA média de 8 dias  
(26/02 a 04/03/2012 e 19/07 a 26/07/2012)



- Variabilidade sazonal – estratificado no verão/ ACAS
- Passagem de sistemas frontais no inverno

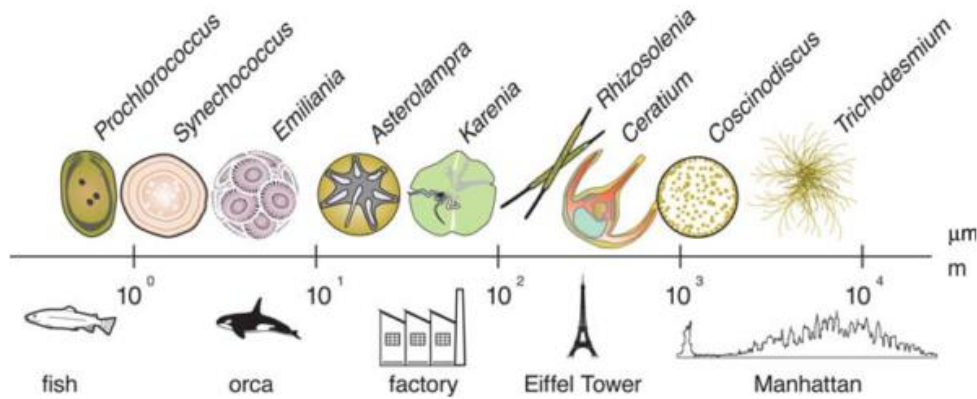
Peres, 2013 – Até que ponto o canal e a baía replicam a sazonalidade da plataforma continental, comparações entre baía e canal e marés.



Três classes de tamanho do fitoplâncton foram explicadas pela interação entre Tempo, os Pontos de Coleta e Semana (Semana 1 a Semana 11) ( $p < 0,05$ ), e entre Tempo, Estrato (Superfície, Meio e Fundo) e Semana ( $p < 0,01$ ).

Temperatura \*\*

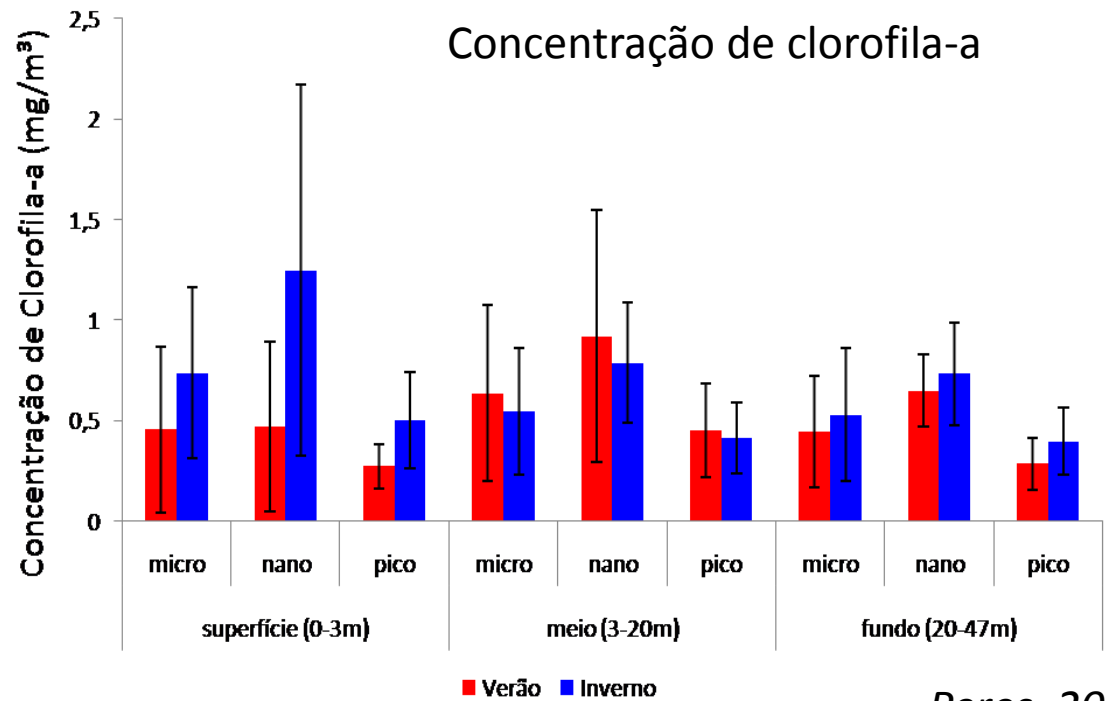
PERMANOVA



*Finkel et al., 2010*

**Fig. 2.** A comparison of the size range (maximum linear dimension) of phytoplankton relative to macroscopic objects.

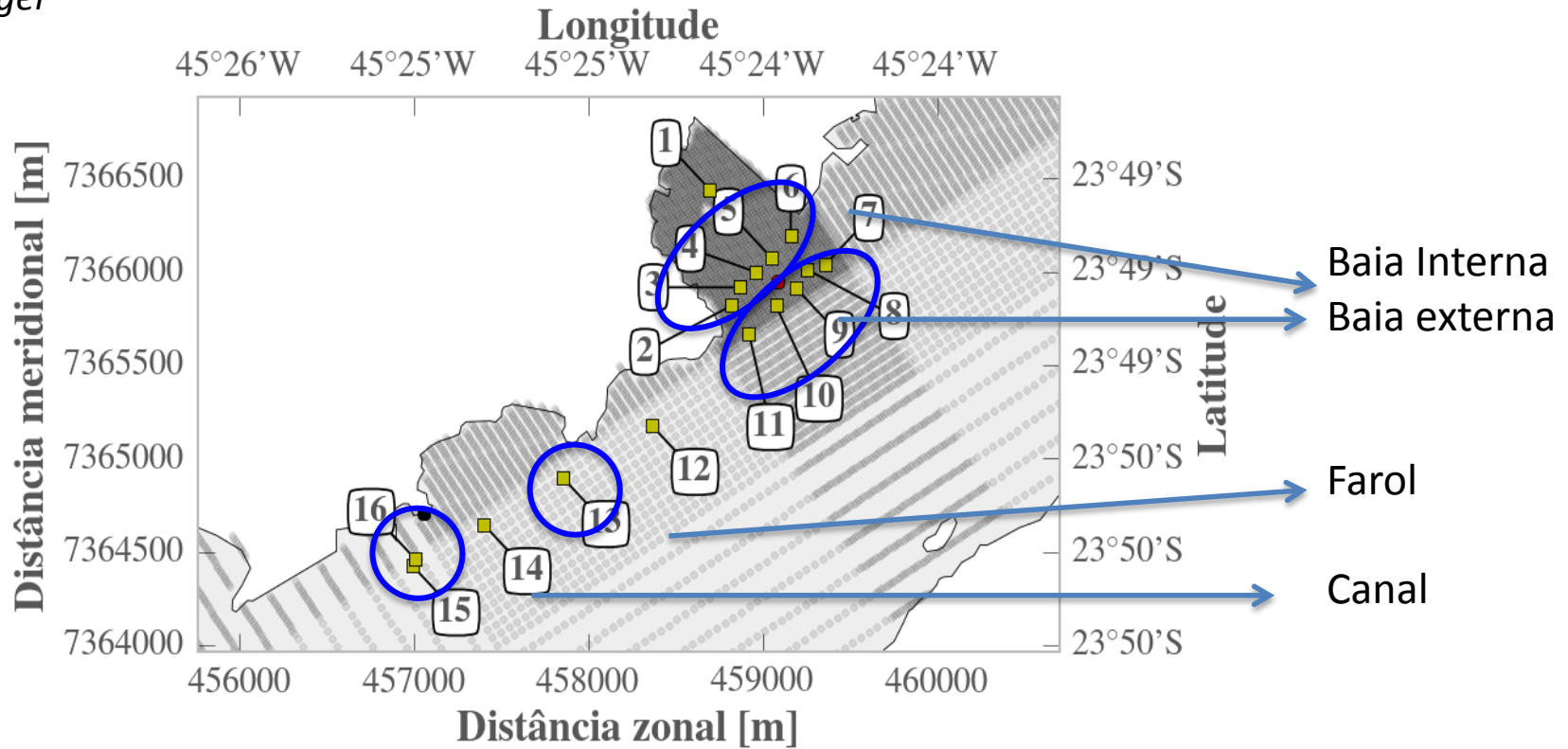
Verão: nano = micro > pico  
Inverno: nano > micro > pico



*Peres, 2013*

# Desenho Amostral M1

Krieger



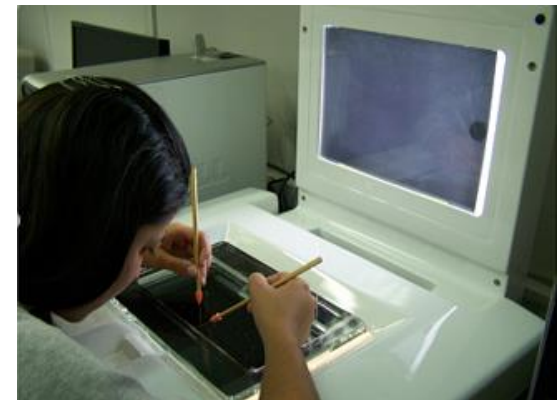
Sazonal e dias (2 períodos em 3 dias consecutivos). Forçantes esperadas:

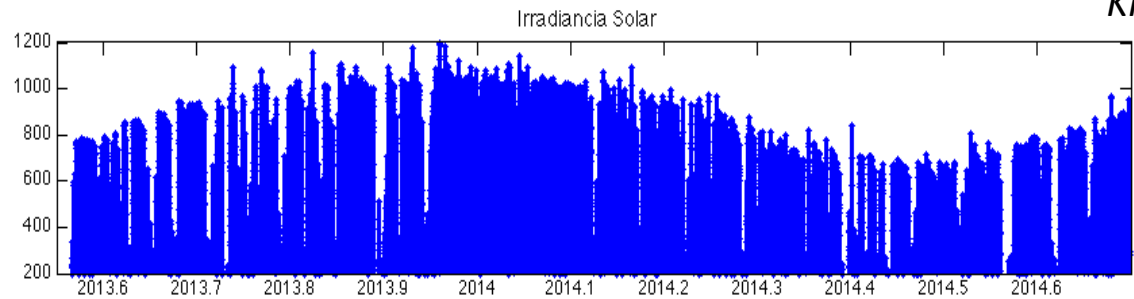
- i) passagens de Frentes Frias
- ii) entrada de Água Central do Atlântico Sul (ACAS)
- iii) chuvas intensas



# Variáveis (muitas inéditas)

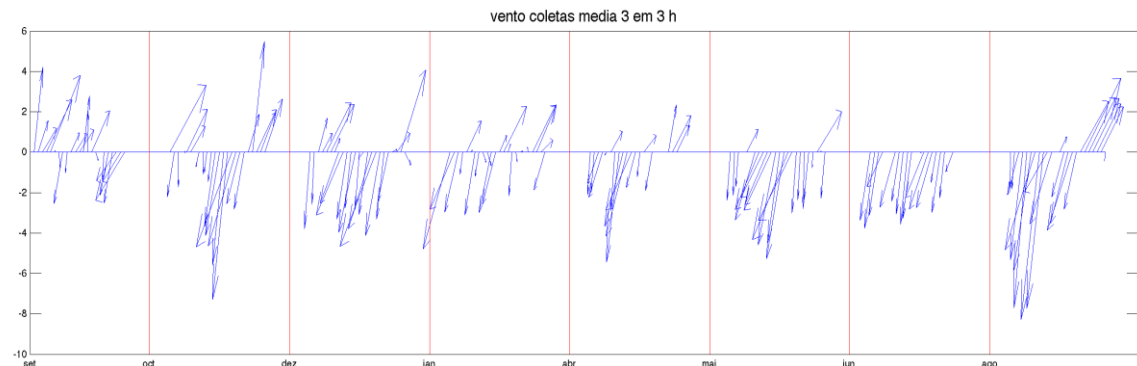
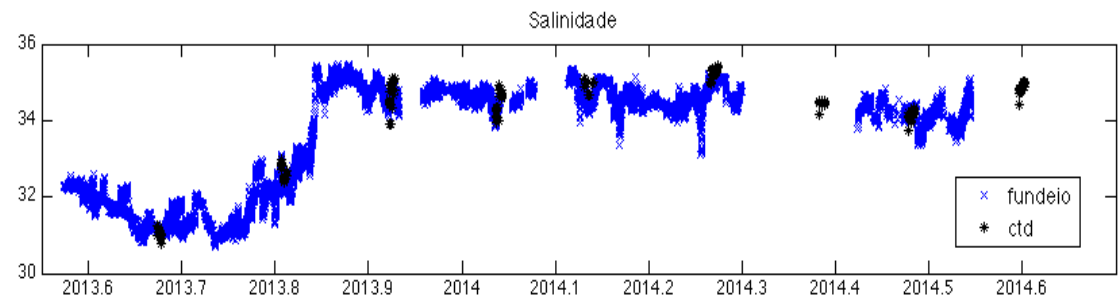
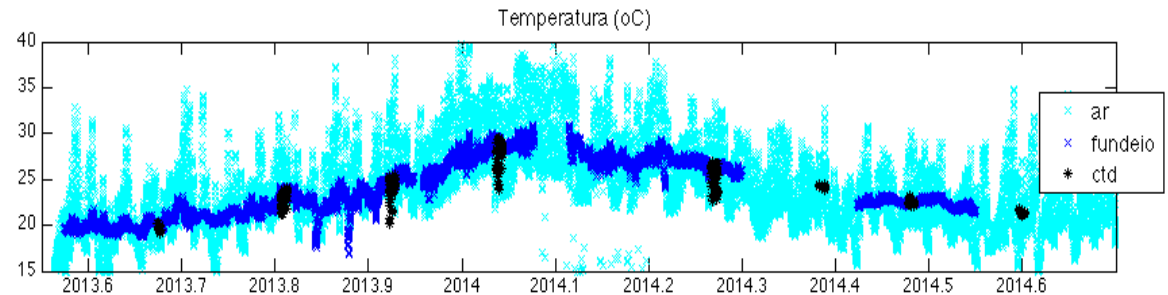
Estações	Variáveis
2, 4, 6 7, 9, 11 13 e 15	<ul style="list-style-type: none"><li>- nutrientes inorgânicos</li><li>- clorofila-a</li><li>- abundância e biomassa do zooplâncton em grandes grupos</li></ul>
2, 6 7, 11	<ul style="list-style-type: none"><li>- abundâncias e biomassas de bactérias e micro-organismos fotossintetizantes &lt;10 <math>\mu\text{m}</math></li><li>- estrutura da comunidade microbiana;</li></ul>
1 e 16 7, 9, 11 13	<ul style="list-style-type: none"><li>- composição do fitoplâncton &gt;10 <math>\mu\text{m}</math> em grandes grupos</li></ul>
1 e 16	<ul style="list-style-type: none"><li>- nutrientes inorgânicos</li><li>- clorofila-a e biomassa do fitoplâncton &lt;2 <math>\mu\text{m}</math>, de 2 a 5 <math>\mu\text{m}</math>, de 5 a 20 <math>\mu\text{m}</math> e &gt;20 <math>\mu\text{m}</math></li><li>- composição específica do fitoplâncton &gt;20 <math>\mu\text{m}</math></li><li>- taxas de produção bacteriana e quimiossíntese</li><li>- produção primária</li></ul>

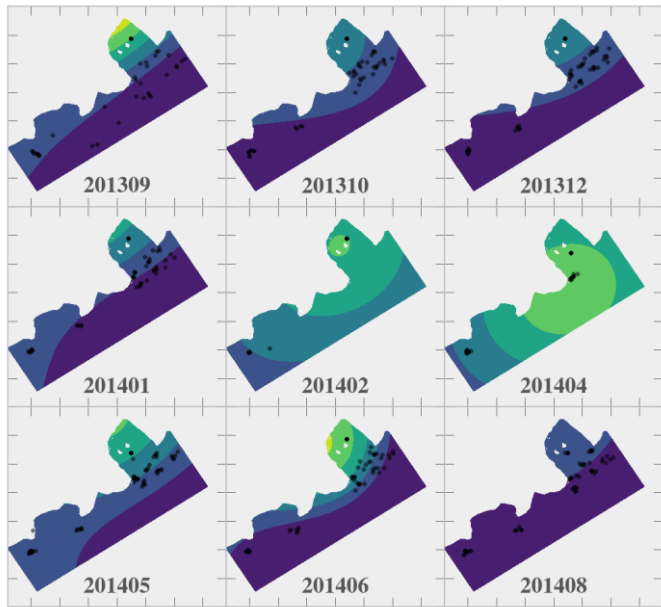




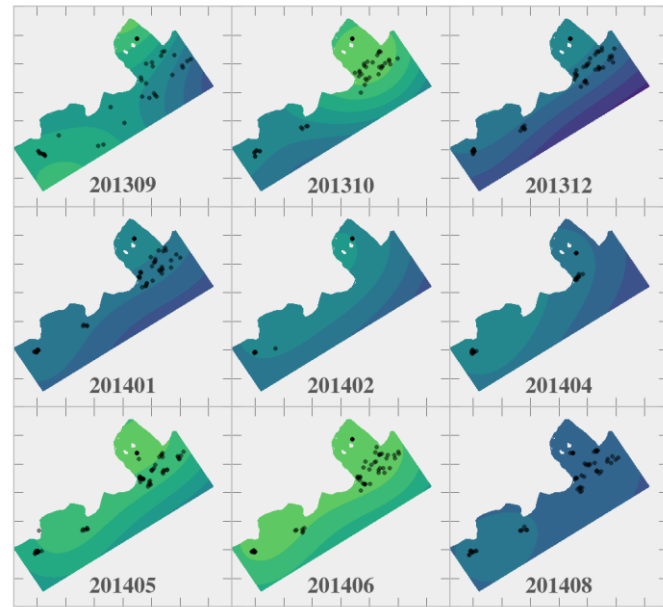
Ciclo sazonal de julho de 2013 a agosto de 2014, mas com contribuição continental nos primeiros meses.

Ventos do quadrante N, baixa pluviosidade, exceto em FEV/2014. Frentes frias em AGO/2014.

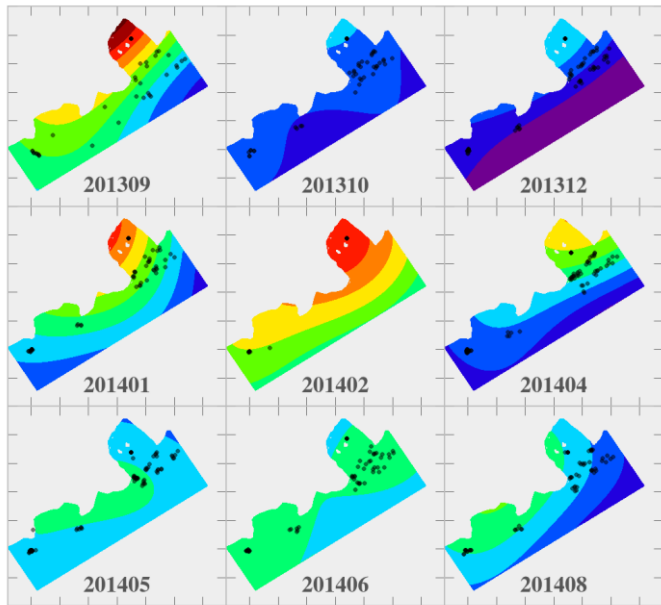




Amônia  $[\mu\text{molL}^{-1}]$



Silicato  $[\mu\text{molL}^{-1}]$

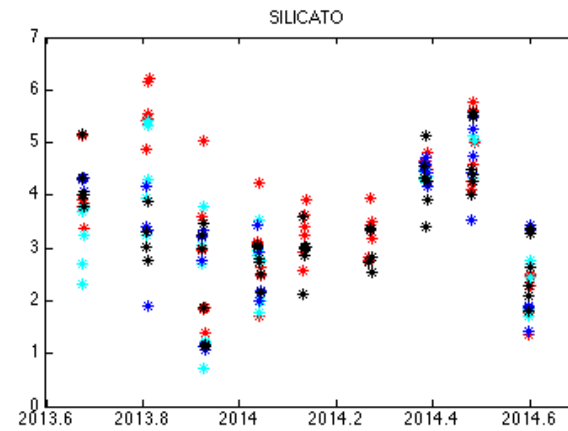
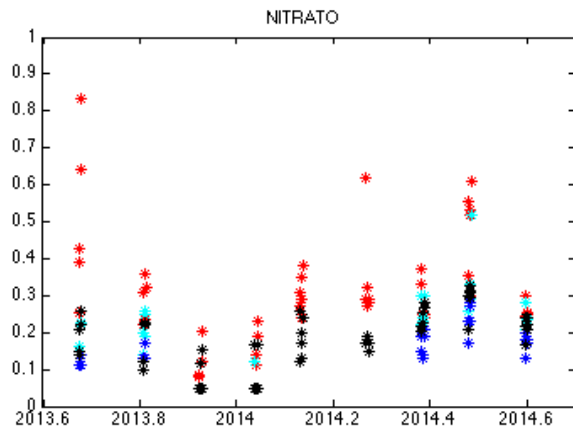
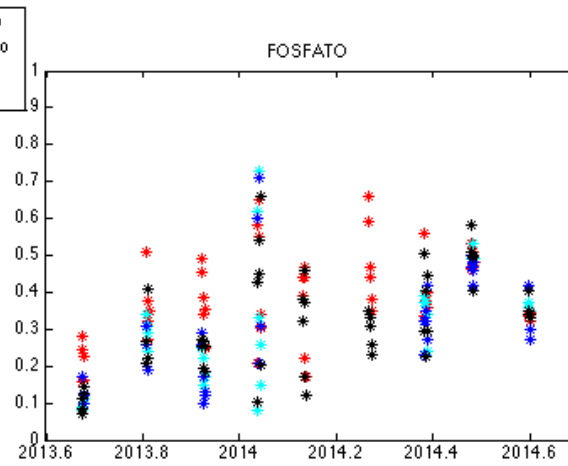
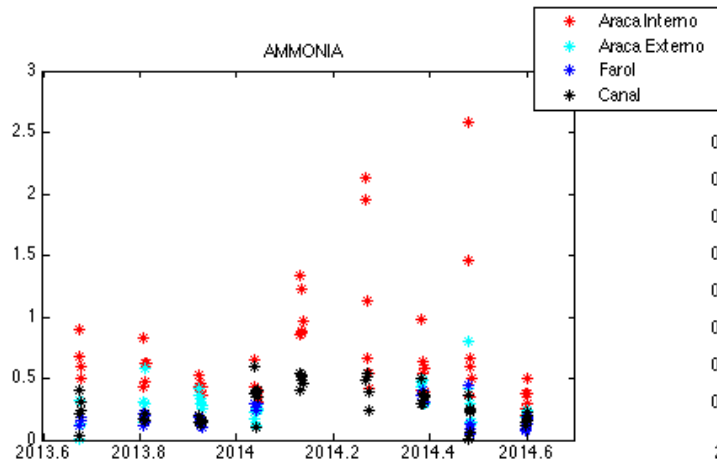


Clorofila  $[\text{mg m}^{-3}]$

Nitrogenados sempre significativamente maiores na baía interna.

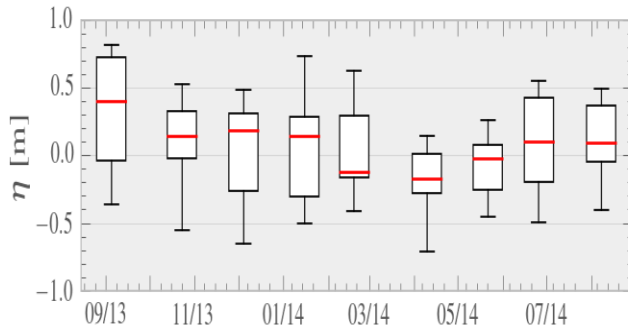
Silicato consistente no espaço, variando inversamente com a temperatura.

Pulsos de nutrientes acompanham pulsos de clorofila-a no interior da baía.

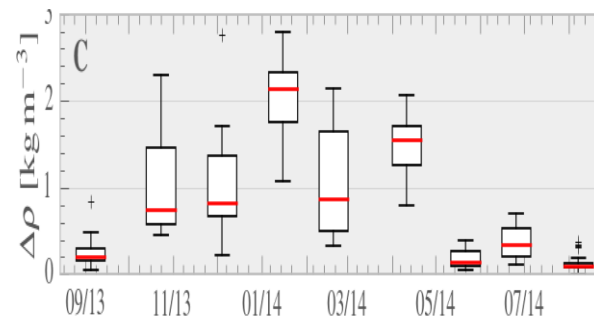


Variabilidade nas coletas não é explicada apenas pelo nível do mar.

nível do mar



estratificação ( $\Delta\rho$ ) Canal de São Sebastião

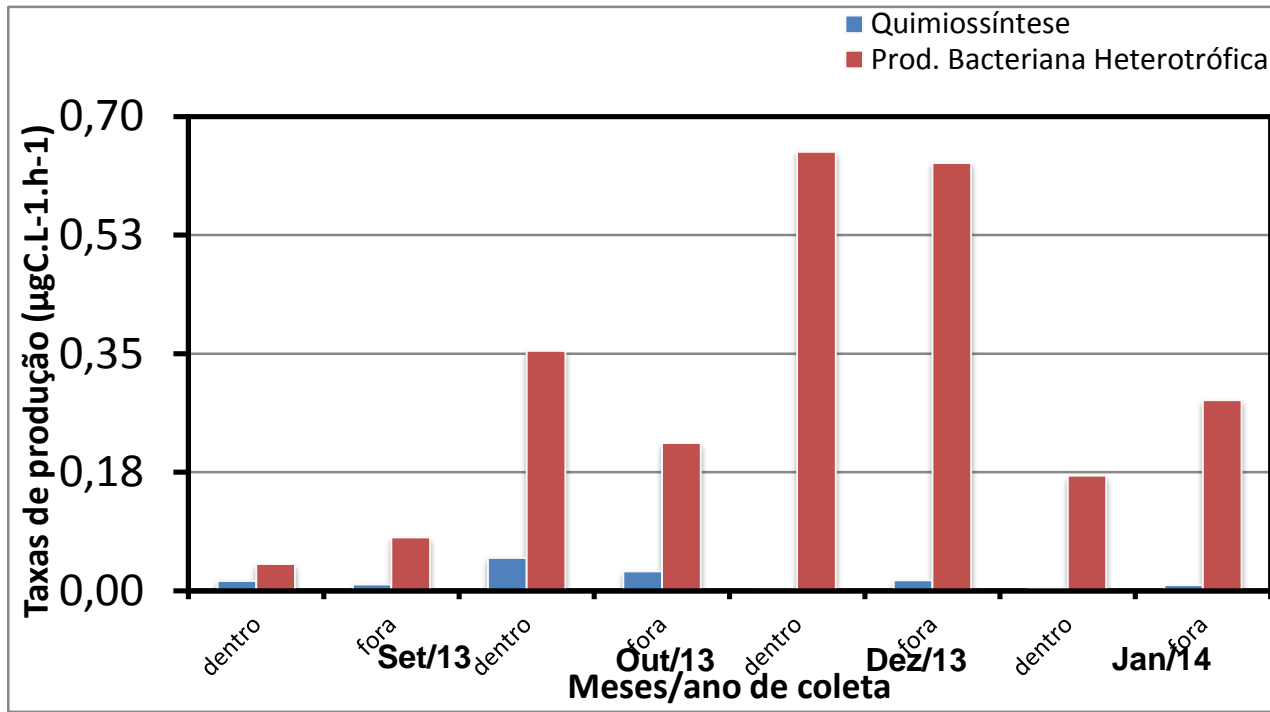


# Ambiente Físico- Químico

- Sazonalidade, e variabilidade inter-anual de massas de água
- Silicato mostra padrão sazonal com aumento de dezembro à junho, e concentrações similares espacialmente
  - Fosfato é ligeiramente maior na baía interna e segue um padrão sazonal similar ao Silicato, mas bastante variável nos meses mais quentes.
  - Pulsos de frequência de Amônia e Fosfato na baía interna nos meses mais quentes
  - Chuvas não apresentaram contribuições significativas para silicato
  - Durante a frente fria AGO/2014 observou-se baixas concentrações de todos os nutrientes, exceto Fosfato

Mesmo durante os pulsos de alta frequência, as concentrações medidas de nutrientes foram baixas em comparação com ambientes eutrofizados.

## Taxas de produção microbiana: Quimiossíntese e Produção Bacteriana Heterotrófica



Valores semelhantes na Baía interna e externa, maiores em DEZ/2013.

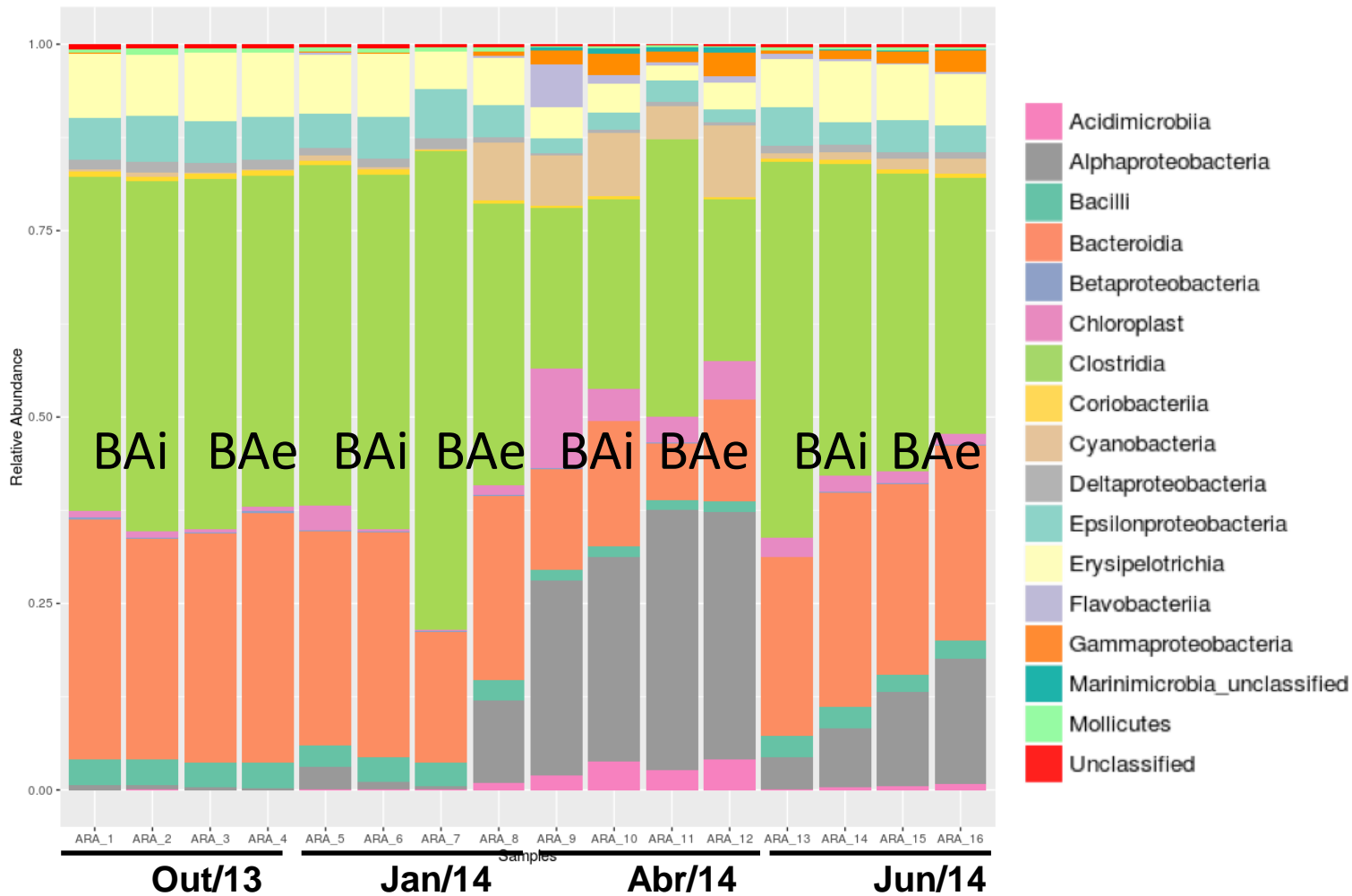
Mês/ano	Baía	Quimiossíntese ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )		Produção bacteriana ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
9/2013	dentro	0,015	0,016	0,040	0,095
	fora	0,009	0,009	0,079	0,113
10/2013	dentro	0,049	0,076	0,354	0,234
	fora	0,029	0,042	0,218	0,162
12/2013	dentro	0,002	0,002	0,648	0,735
	fora	0,016	0,033	0,632	0,420
1/2014	dentro	0,003	0,008	0,170	0,338
	fora	0,008	0,017	0,282	0,522
	mín	0,002		0,040	
	máx	0,049		0,648	

## Quimiossíntese e Produção Bacteriana Heterotrófica

Ecossistemas costeiros	Produção bacteriana ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )	Referências
Baía do Araçá (SP)	0,04 - 0,65	atual
Baía de Guanabara (RJ)	0,19-19,51 (menos poluído e eutrofizado) 12,20-91,10 (mais poluído e eutrofizado)	Signori et al. 2016 (em submissão)
Baía de Guanabara (RJ)	0,40-4,53 (menos poluído e eutrofizado) 3,86-73,72 (mais poluído e eutrofizado)	Guenther et al. 2005
Cananéia-Iguape (SP)	3,4 - 63,5	Barrera-Alba
Ecossistemas costeiros	Quimiossíntese ( $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )	Referências
Baía do Araçá (SP)	0,002 - 0,049	atual
Baía de Guanabara (RJ)	0,001 - 1,36	Signori et al. 2016 (em submissão)
Scheldt estuary (Holanda/Bélgica)	0,005 - 1,8	Andersson et al. 2006
Ebro River (Espanha, interface óxica-anóxica)	0,25 - 5	Casamayor et al. 2001

A produção quimiossintética (método de incubação no escuro de  $^{14}\text{C}$ -bicarbonato) variou de 0,002 a 0,049  $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , valores semelhantes e um pouco inferiores a outros sistemas estuarinos tropicais e temperados. A produção bacteriana heterotrófica (método de incorporação da leucina tritiada) variou de 0,040 a 0,648  $\mu\text{gC.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , taxas bem inferiores a sistemas eutrofizados como a Baía de Guanabara (mesmo se considerarmos áreas menos impactadas como o Canal Central) e Cananéia-Iguape.

## Comunidade microbiana sequenciamento do gene 16S:



- Riqueza:

355 - 709

OTUs

- Diversidade-alfa:

- 6,17 - 6,84  
(Shannon)

- Classes Clostridia (Firmicutes), Gamma- e Alphaproteobacteria (Proteobacteria), Chloroplast (Cyanobacteria)

- Grupos dominantes de metabolismos heterotrófico e fotoautotrófico

- Diferença significativa ( $p=0,001$ ) entre meses de coleta x não significativa ( $p=0,46$  entre amostras da baía do Araçá interna e externa)



# Micro-organismos

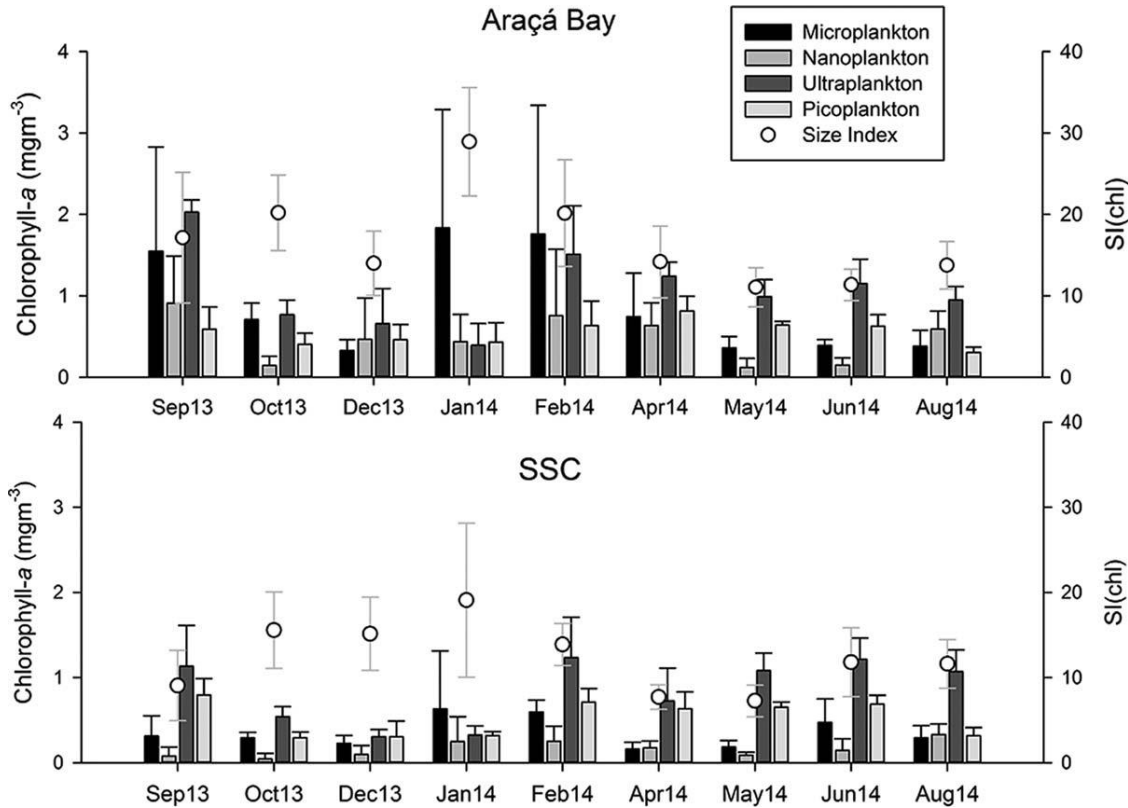
Firmicutes fazem a fermentação liberando produtos que servem como fonte de carbono para outros organismos (como do fitoplâncton).

A classe Gammaproteobacteria tem distribuição ampla e grande plasticidade metabólica, desde grupos heterotróficos, até oxidantes de enxofre e fixadores de carbono (foto ou quimiolitototróficos). São conhecidos por desempenhar importante papel ecológico na degradação do carbono orgânico produzido pelo fitoplâncton.

Encontrou-se diferença significativa (método ANOSIM) apenas entre os meses de coleta. Como era esperado, a diversidade e abundância dos táxons foi muito semelhante entre as estações dentro e fora da Baía do Araçá.

**Sem indicativos de impacto antropogênico.**

# Variabilidade sazonal da biomassa do fitoplâncton

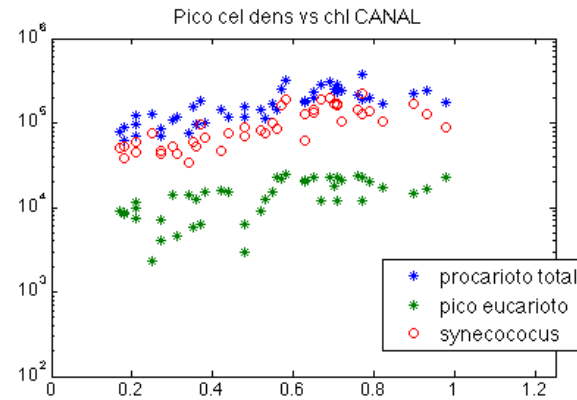
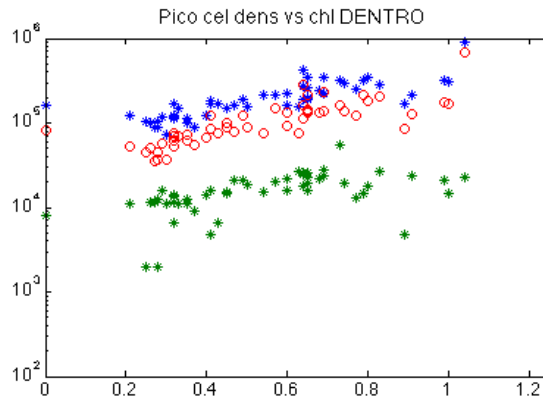


A maior biomassa, estimada pela clorofila-a, correspondeu a fração do ultraplâncton (2 a 5 µm). O microplâncton foi mais importante no interior da baía nos meses mais quentes, acompanhando os pulsos dos compostos nitrogenados.

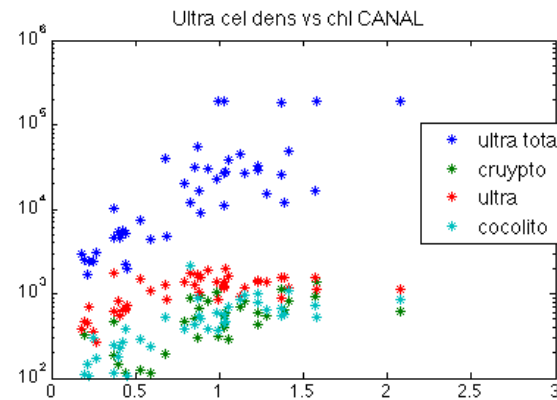
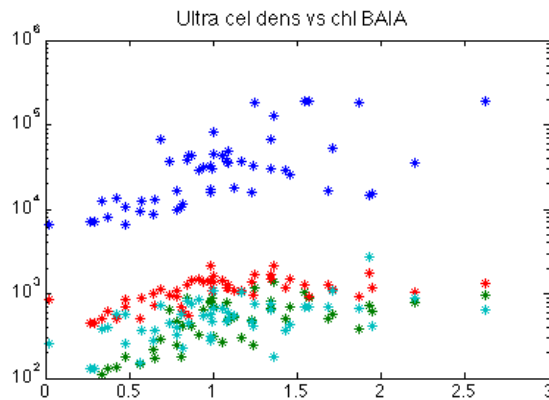
Os valores de Eficiência Fotossintética ( $f_v/f_m$ ) sugerem que as comunidades respondem positivamente aos pulsos de nutrientes no interior da Baía do Araçá

Giannini & Ciotti. 2016

# Grandes grupos do fitoplâncton: pico e ultra

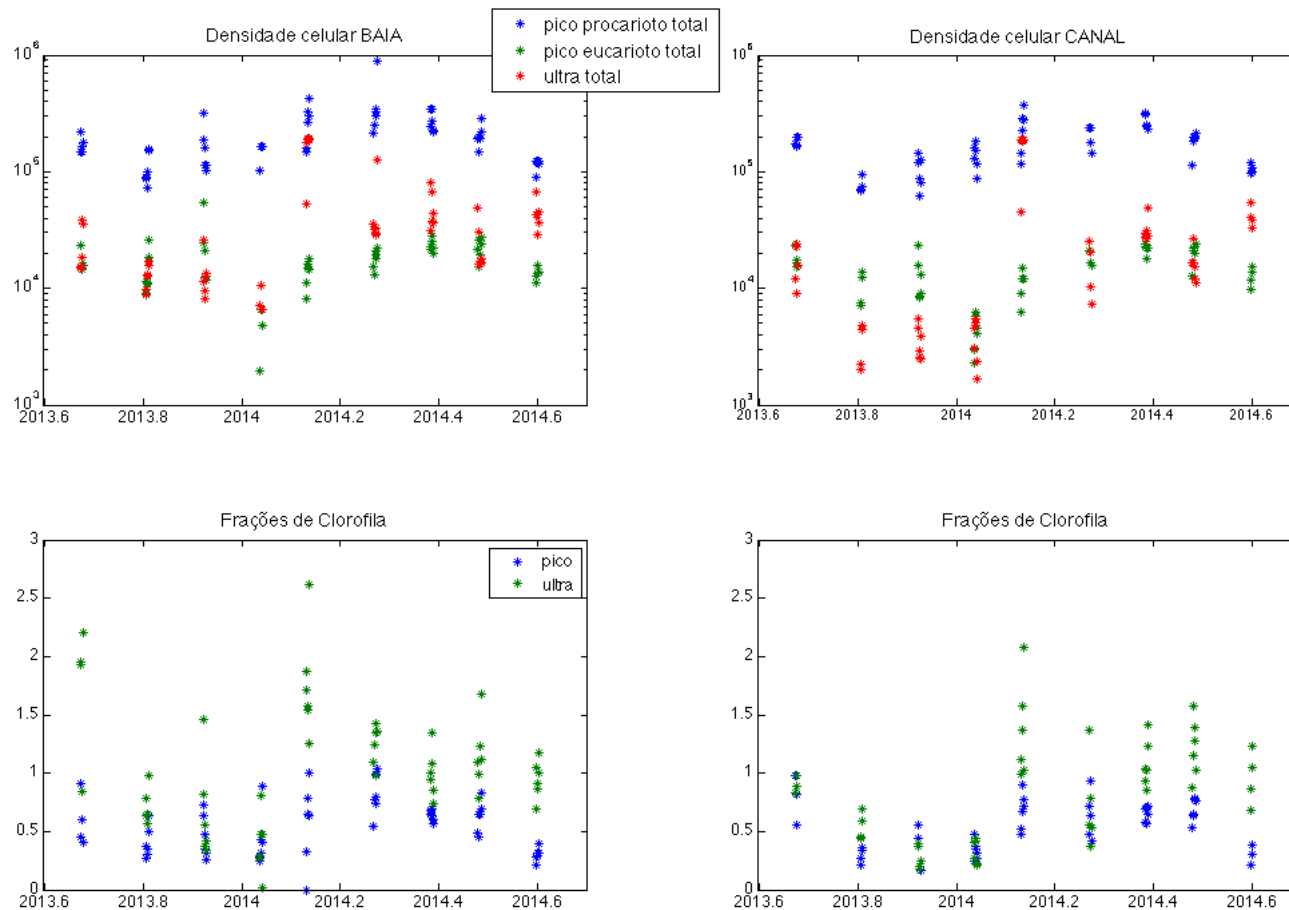


*Castagna*

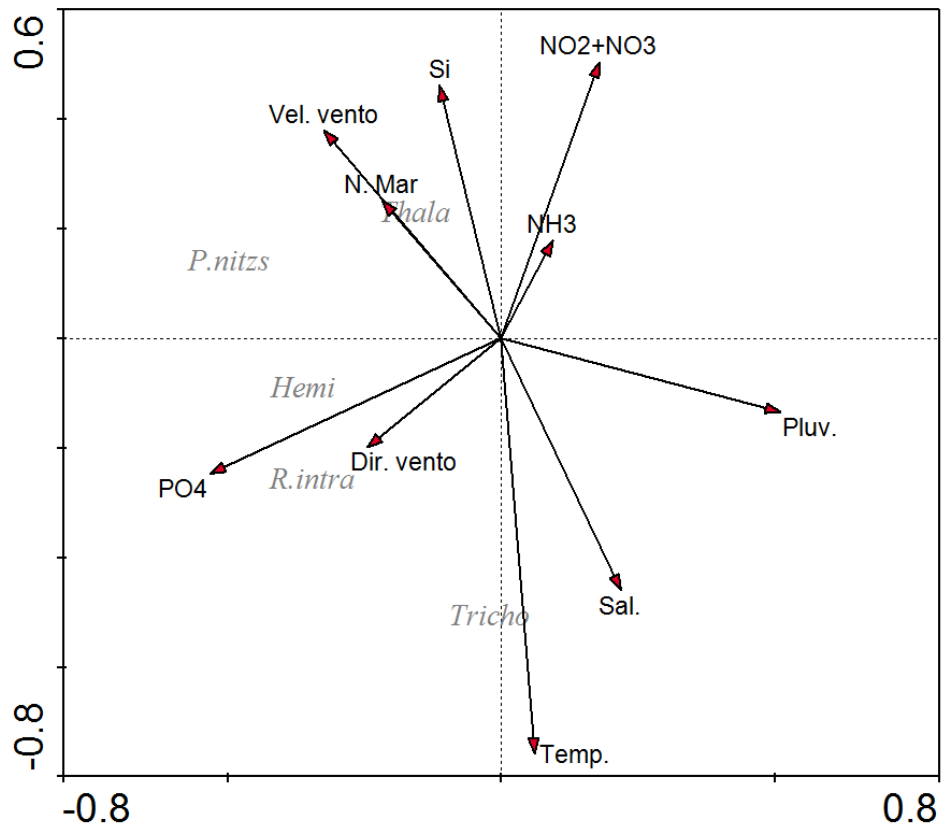


A tração do picoplâncton foi dominada por cianobactérias, representando a maior biomassa. O grupo mais abundante do ultraplâncton ainda não foi indentificado (suspeita para pequenas diatomácias isoladas).

# Pico e ultra-fitoplâncton – variação temporal e espacial



A fração do picoplâncton foi dominada por cianobactérias, representando a maior biomassa. O grupo mais abundante do ultraplâncton ainda não foi indentificado (suspeita para pequenas diatomácias isoladas).



Análise de Redundância (RDA)

A estrutura da comunidade microfitoplanctônica (>20 $\mu$ m) apresentou dois cenários: predomínio da diatomácea cêntrica *Thalassiosira* spp. com maior riqueza de táxons ou dominância da diatomácea penata *Pseudo-nitzschia* spp. com menor riqueza. Os fatores mais importantes para o estabelecimento dessas dominâncias foram: a temperatura, a velocidade do vento e as concentrações de silicato, e a temperatura e fósforo, respectivamente.

Ventos de quadrante SW foram diretamente relacionados com a ocorrência de espécies diazotróficas que são frequentemente advectadas para a região.

# Fitoplâncton

Os grupos e as abundâncias encontradas foram consistentes aos observados em outros ambientes costeiros, e acima do previamente reportado no canal de São Sebastião como meso-oligotrófico, especialmente na Baía do Araçá.

As variações sazonais são notáveis para os menores tamanhos de células, com variabilidade em alta frequência em cada coleta.

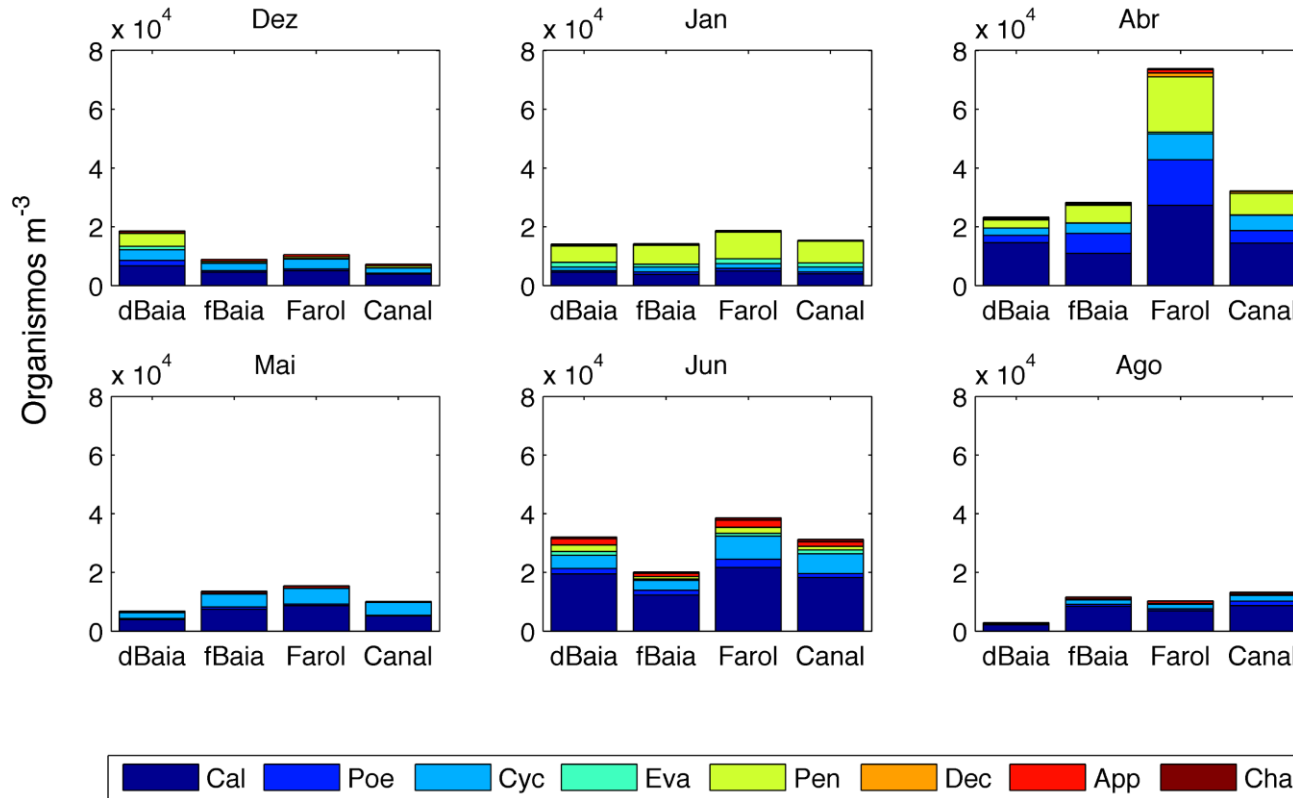
O ultraplâncton teve a maior contribuição em biomassa, e maiores taxas de produção primária foram estimadas quando da co-dominância dessa classe com o micro-fitoplâncton

Regime de ventos controlou a dominância de diatomáceas do fitoplâncton de maior tamanho.

**Sem indicativos de impacto antropogênico.**

# Diversidade do Zooplâncton

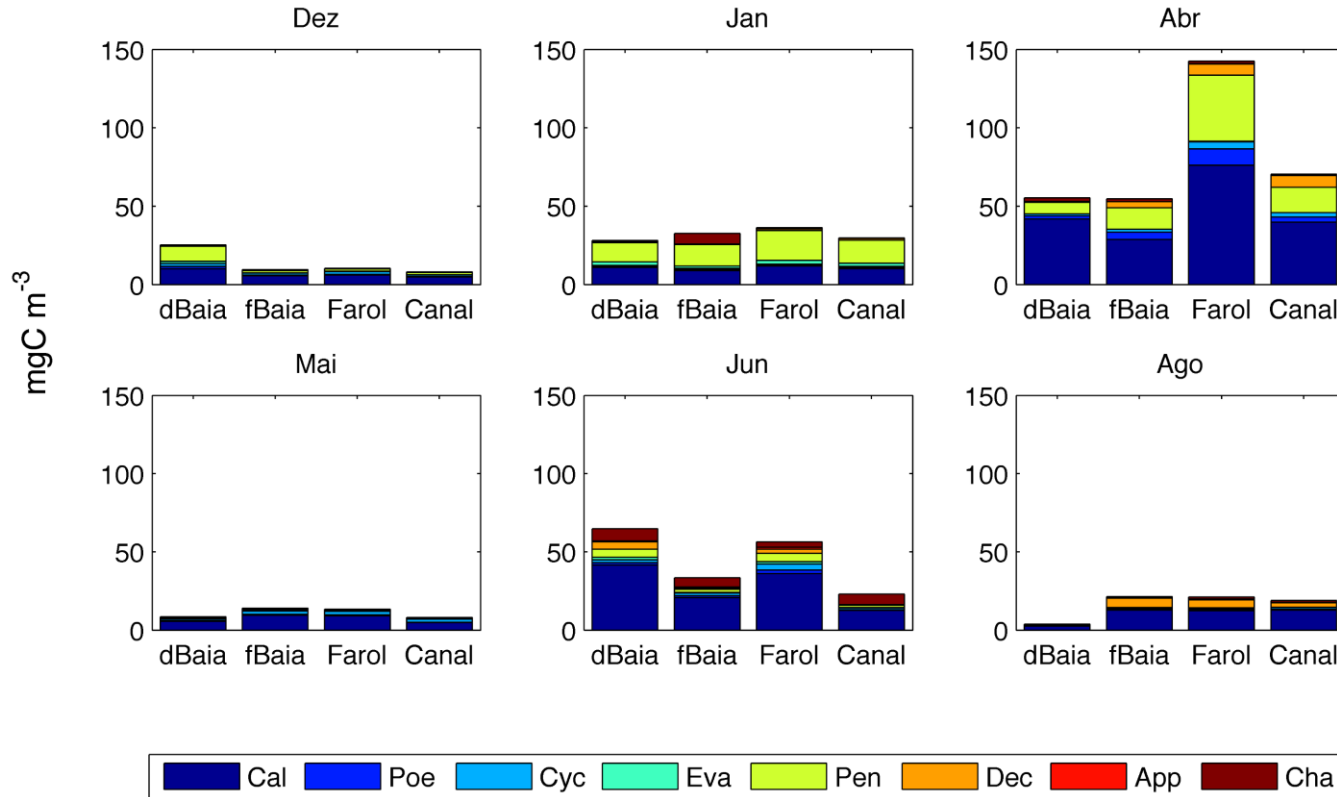
O grupo taxonômico dominante: Copepoda (barras em tons de azul);  
subdominante: Cladocera (barras em tons de verde)



Máximos de abundância não ocorreram no verão e sim no outono (abril e junho).

# Biomassa do Zooplâncton

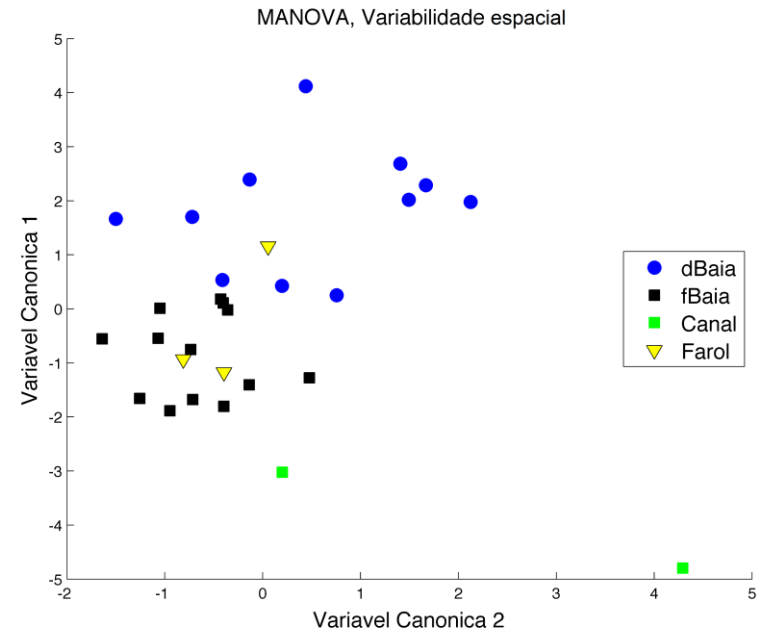
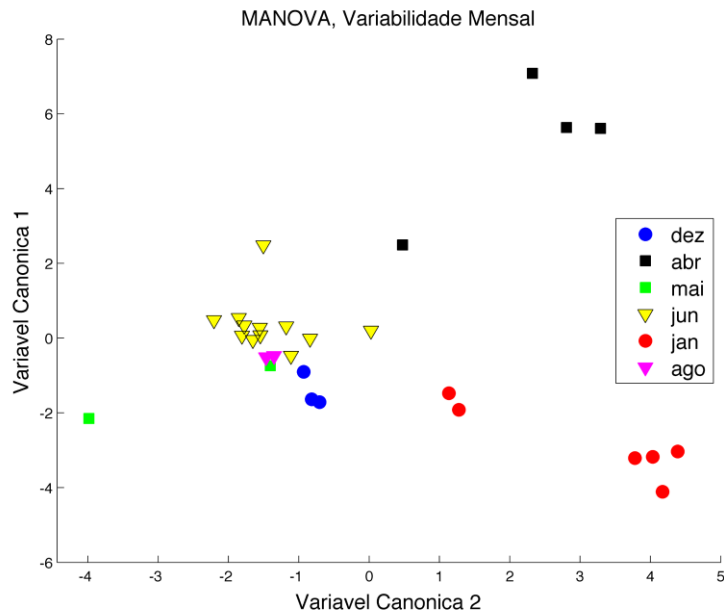
Os máximos de abundância e de biomassa ocorreram em abril e junho



Foi também observada uma nítida mudança na composição da comunidade zooplanctônica, com *Penilia avirostris* (Pen), cladóceros, sendo um dos táxons dominantes de dezembro a abril, estando quase ausente nos demais meses.



MANOVA, que mostra uma clara separação entre os meses, especialmente abril e janeiro e espacialmente, dentro e fora da baía e no canal.



A variabilidade entre períodos (manhã e tarde) e entre os dias das coletas foram importantes.

# Balanço do Modulo 1

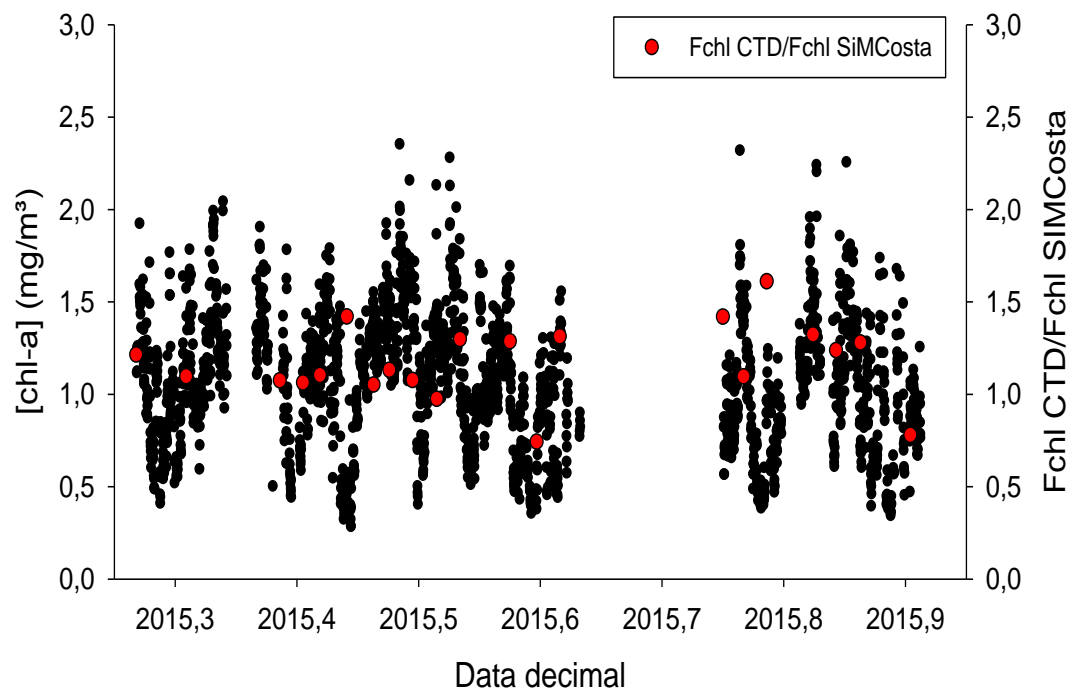
A baía do Araçá não mostra indícios de eutrofização

A dinâmica do plâncton difere no interior da baía em relação aquela observada no canal

Pulsos de nutrientes são relacionados com uma maior abundância de organismos, apresentando maiores taxas estimadas de produtividade primária.

Variabilidade comprovada em várias escalas temporal, com altas frequências tão ou mais importantes que as sazonais, especialmente para o plâncton de maior tamanho.

## Série temporal da média horária da fluorescência convertida em concentração de clorofila-*a* (mg/m<sup>3</sup>) entre abril e dezembro de 2015 – CANAL SUPERFICIE



*Bellini, 2016*

Legenda: os pontos em vermelho são representativos da validação da razão entre os dados da fluorescência da clorofila-*a* da boia SiMCosta e do sensor multiparamétrico CTD

- Encontrou-se periodicidades significativas na variação da clorofila-*a* de 24 horas, coincidentes com as correntes mais fortes associadas às marés de sizígia
- Em segunda ordem de importância, com a entrada de ventos do quadrante N/NE no canal de São Sebastião;

# Agradecimentos

O desenvolvimento das atividades durante o projeto e contou com o auxílio e colaboradores, técnicos e estudantes. Abaixo, incluímos os não co-autores ou não mencionados na apresentação.

Prof.Dr. Alex Enrich-Prast e Luísa Dantas (Laboratório de Biogeoquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro)

MSc. Diego C. Franco, MSc. Francielle V. Peres, Biol. Luana Agostini, MSc. Natascha M. Bergo (Laboratório de Ecologia de Micro-organismos - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo)- análises de

Carla Bovo, Vanessa Dallazuana, MSc André Francisco Bucci (Laboratório Aquarela- Centro de Biologia Marinha, Universidade de São Paulo)

Técnicos do IOUSP e CEBIMar.

FAPESP - BIOTA



Obrigada

