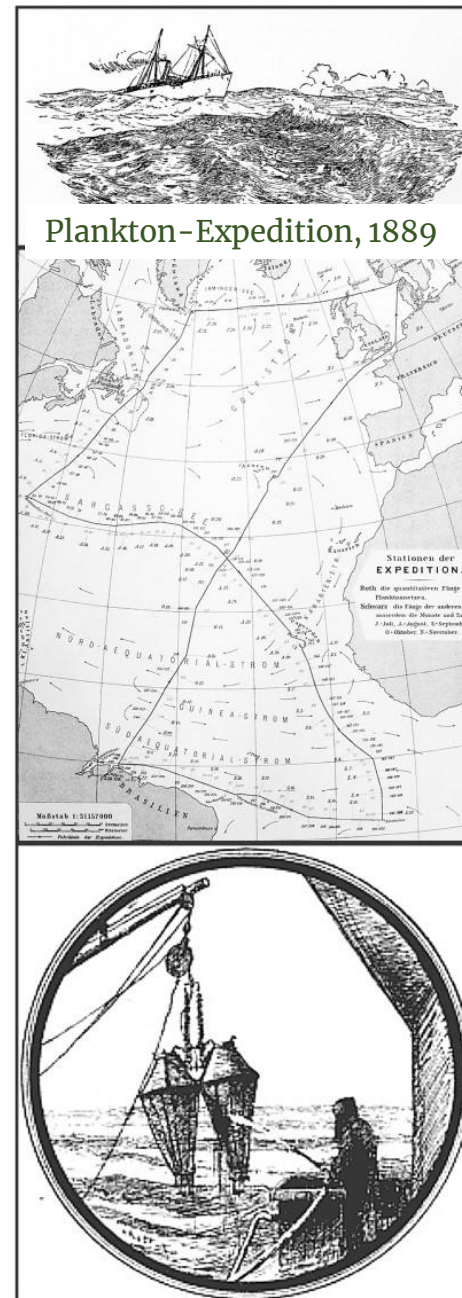
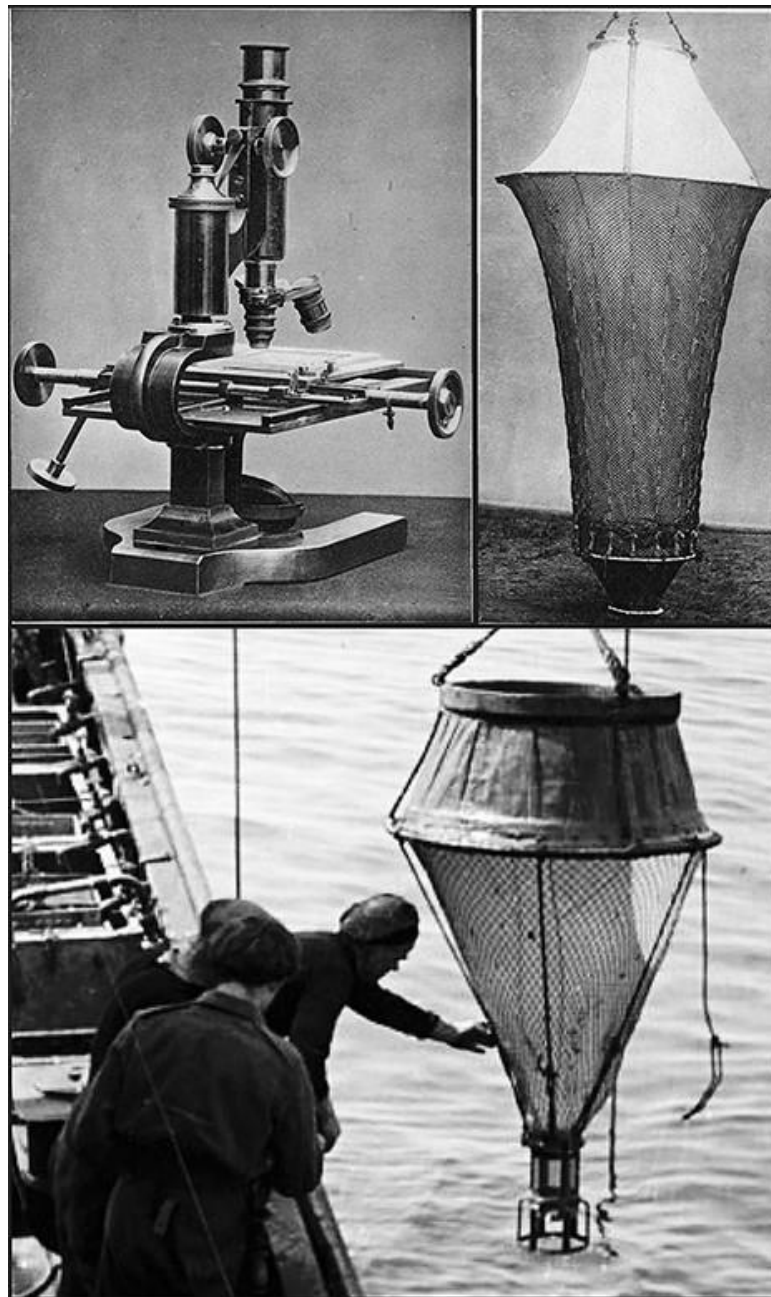
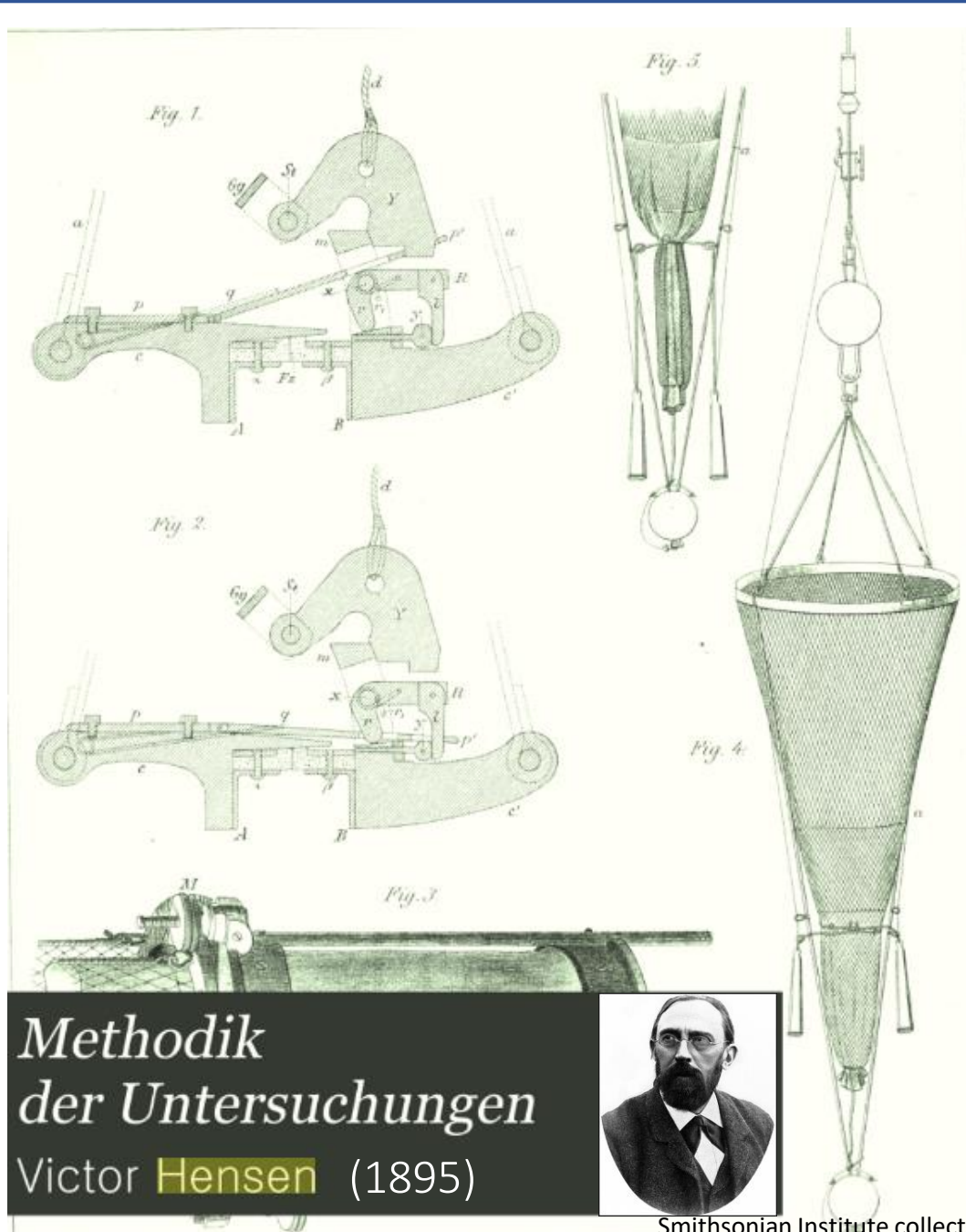


Abordagens metodológicas contemporâneas para o estudo do plâncton marinho



Prof. Dr. Rubens Mendes Lopes
Departamento de Oceanografia Biológica
Instituto Oceanográfico da USP



As perguntas de Victor Hensen:

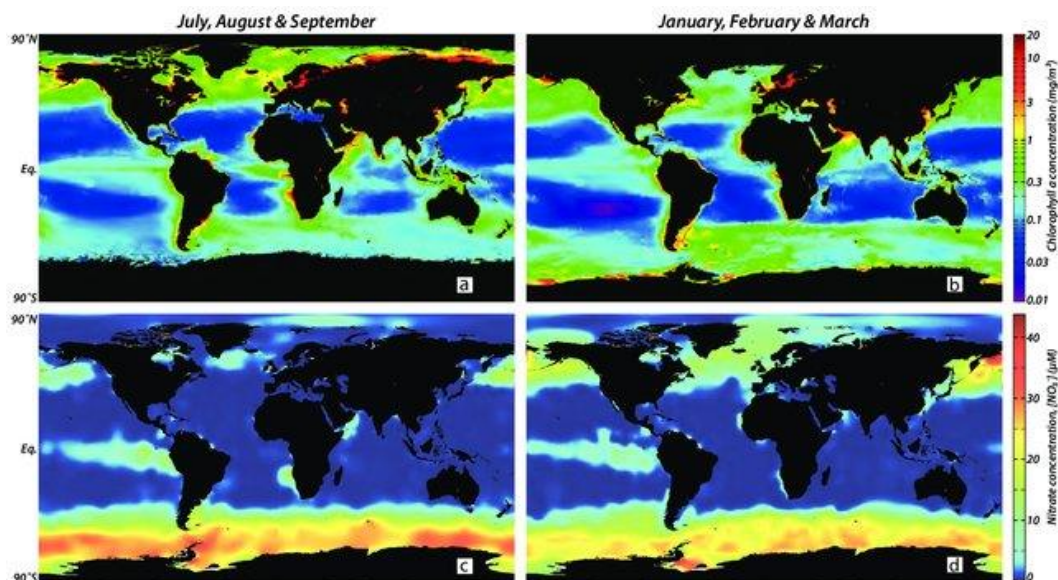
1. O que o mar contém em um determinado momento na forma de organismos vivos no plâncton, ou seja, quais são os números e tipos de coisas no mar em um determinado momento?
2. Como esse material varia de estação para estação e de ano para ano?

Premissa básica de Hensen: o plâncton estaria distribuído uniformemente no oceano e, por isso, podiam-se coletar pequenas amostras representativas de grandes áreas oceânicas.

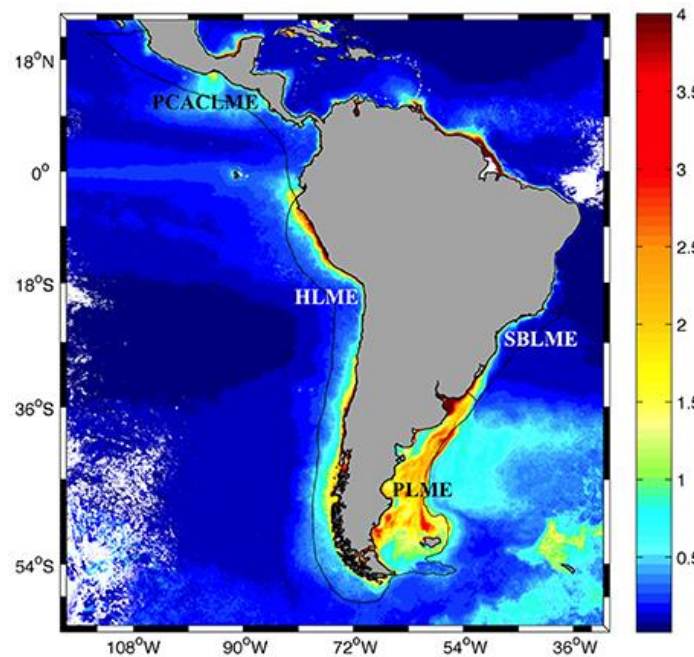


<https://biologo.com.br/bio/ernst-haeckel/>

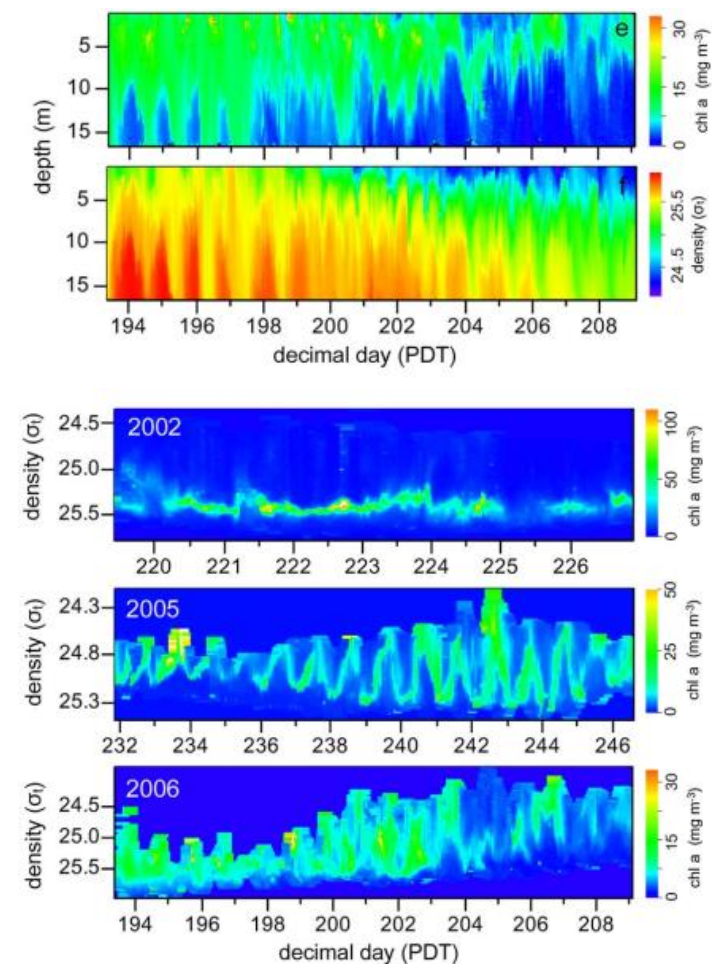
Hoje sabemos que as premissas de Hensen não estavam totalmente corretas – o plâncton não se distribui de maneira uniforme no oceano – mas ele fundou as bases da pesquisa quantitativa sobre o plâncton marinho (Smetacek, 1999)



Sigman & Hain, 2012

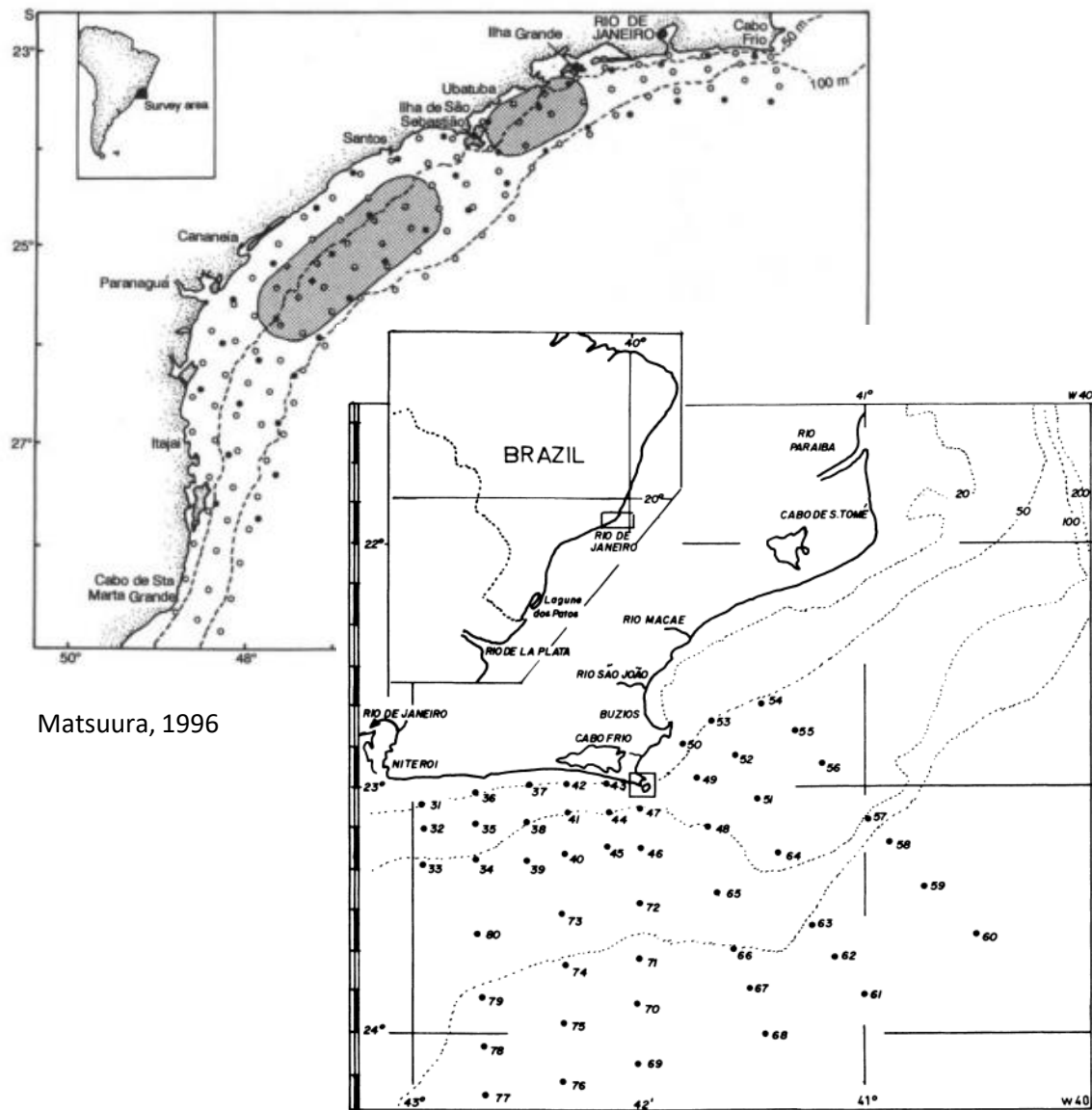


Marrai et al., 2017



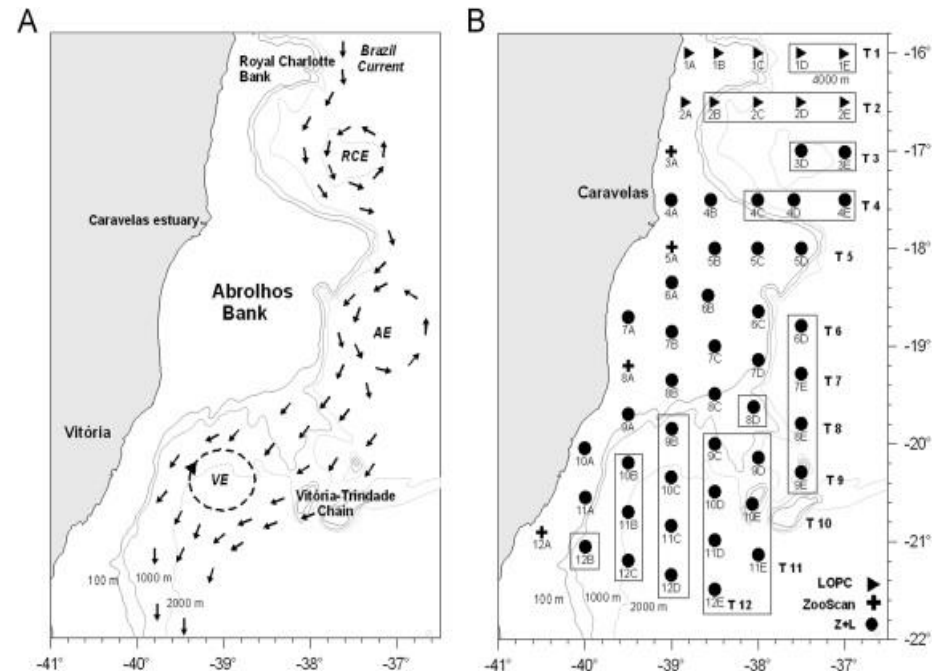
Sullivan et al., 2010

No Brasil há uma ênfase histórica em estudos de mesoescala sobre o plâncton marinho

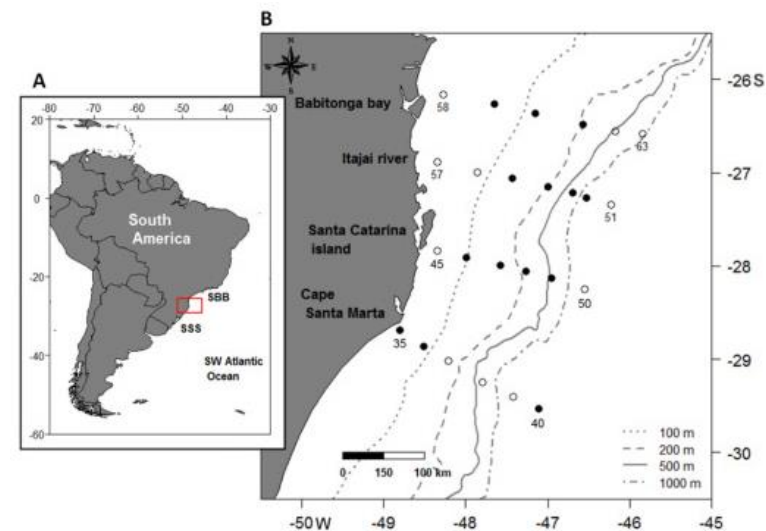


Matsuura, 1996

Valentin, 1984

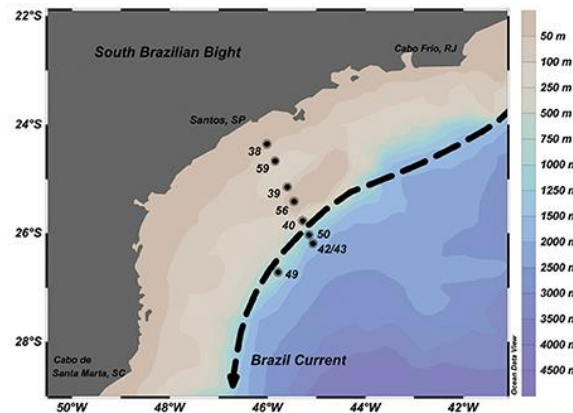
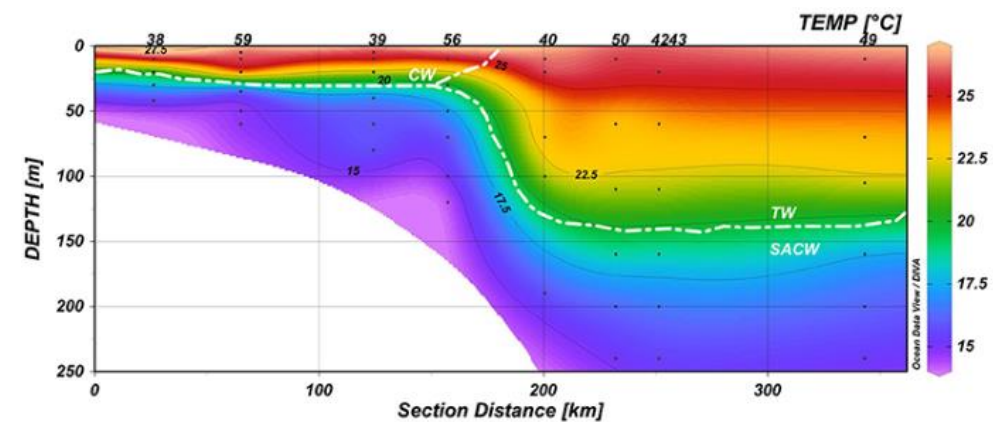


Marcolin et al., 2015



Becker et al., 2018

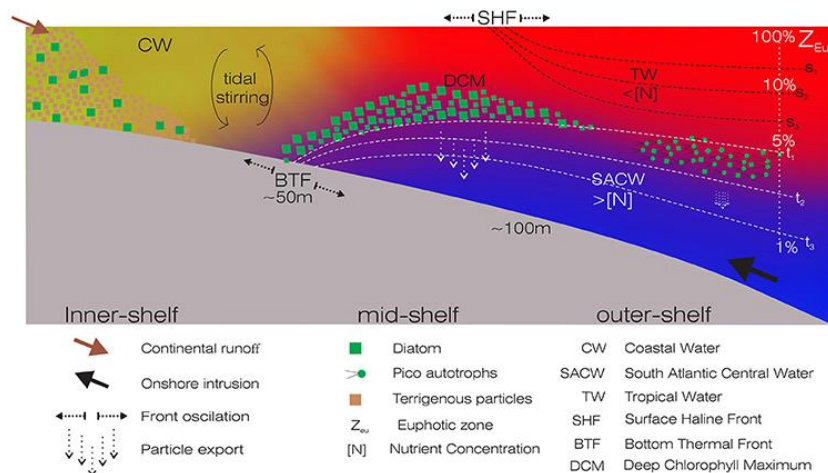
Influência de processos físicos de mesoescala sobre o plâncton: o papel central da ACAS



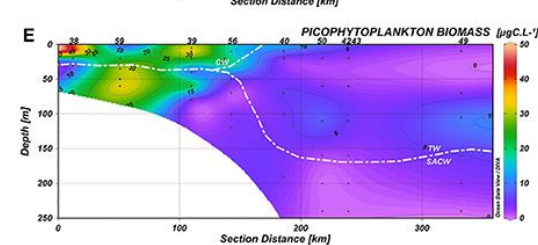
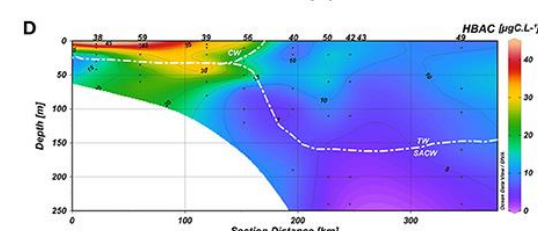
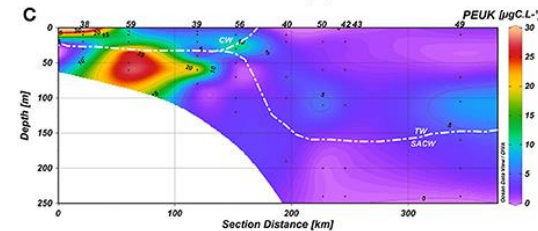
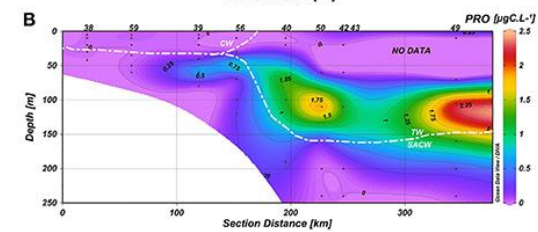
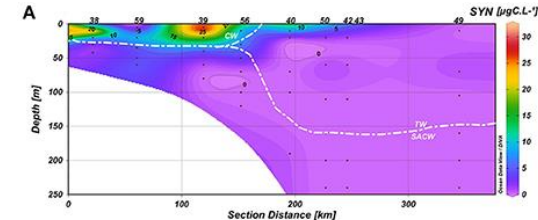
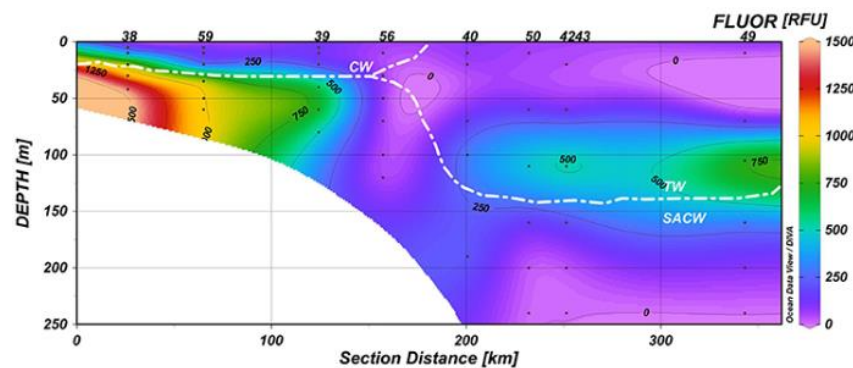
Estratificação vertical



Máximo sub-superficial de clorofila



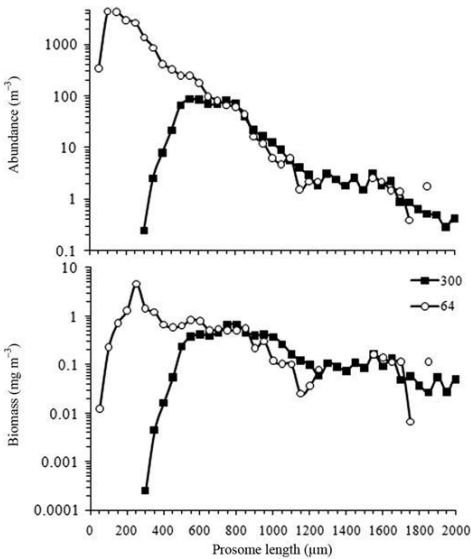
Bergo et al. 2017



Bergo et al. 2017



Projeto ECOSAN



Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area

Leonardo Kenji Miyashita, Mauro de Melo Júnior, Rubens M. Lopes

Journal of Plankton Research, Volume 31, Issue 8, August 2009, Pages 815–826, <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp039>

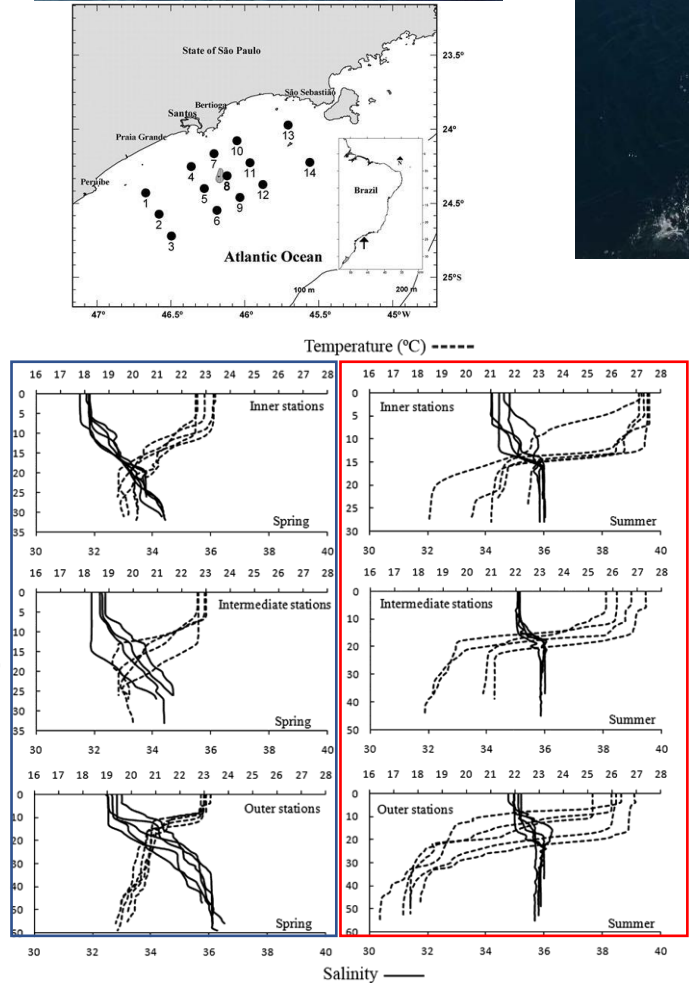
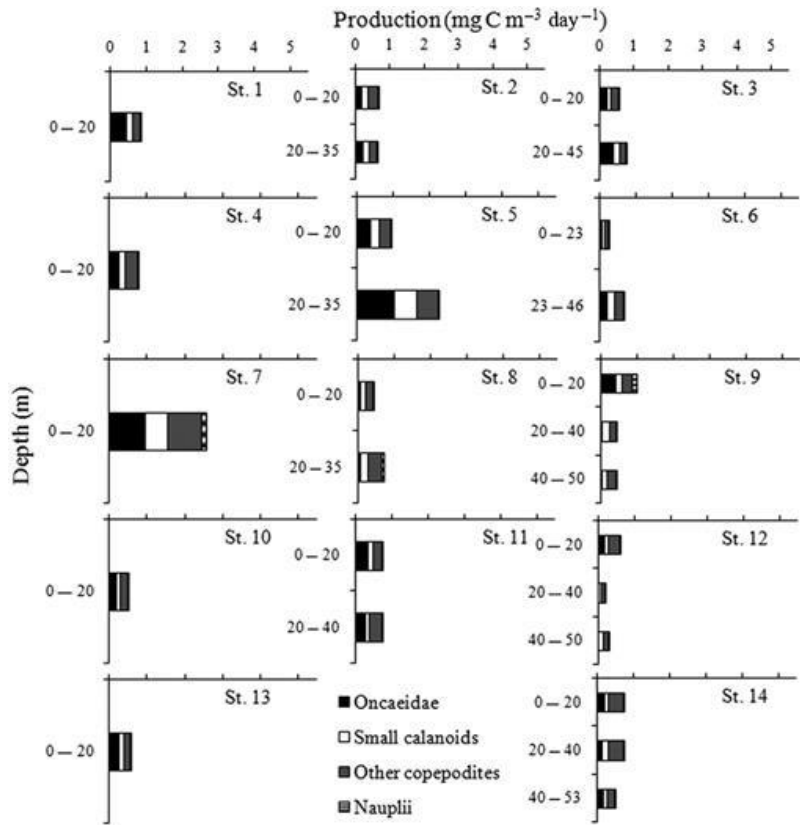


Table IV: Copepod abundance, biomass and secondary production sampled with 64- and 300-µm mesh nets

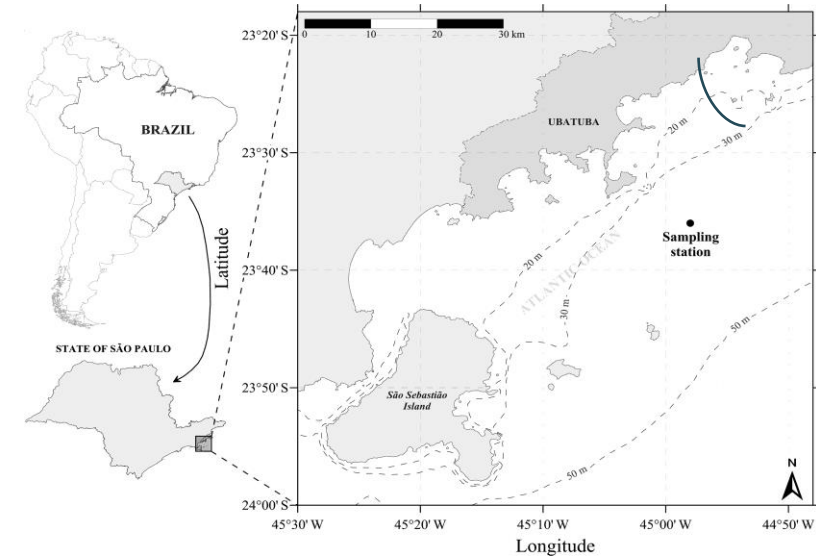
Empirical model		64-µm net		300-µm net	
		Spring	Summer	Spring	Summer
Abundance (ind. m ⁻³)	-	9847 ± 8555	26 008 ± 21 000	519 ± 229	950 ± 480
Biomass (mg C m ⁻³)	-	2.52 ± 2.46	7.37 ± 5.97	2.55 ± 1.19	3.45 ± 1.97
Production (mg C m ⁻³ day ⁻¹)	Hirst and Lampitt (1998)	0.59 ± 0.58	1.90 ± 1.53	0.29 ± 0.13	0.46 ± 0.28
	Huntley and Lopez (1992)	1.14 ± 1.08	3.80 ± 3.03	0.88 ± 0.81	1.92 ± 1.42

Mean ± standard deviation.



Miyashita et al. 2009

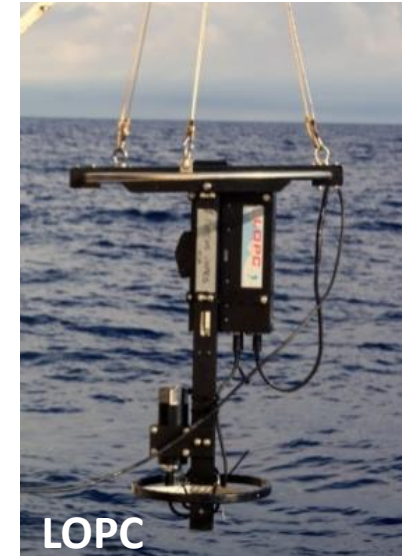
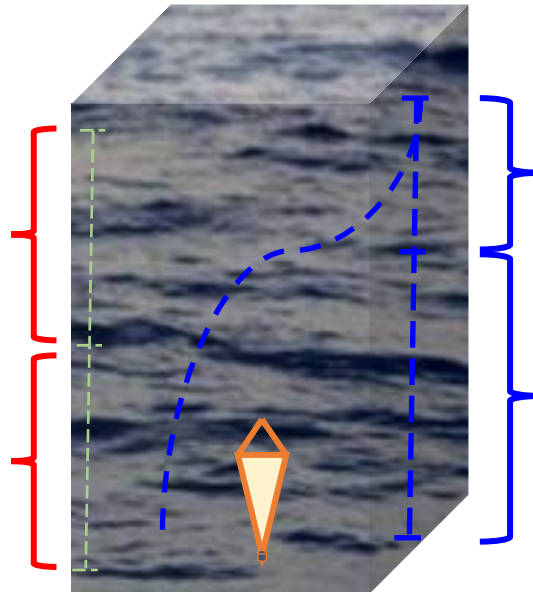
Projeto ANTARES – Ubatuba: primeiros esforços em quantificar o plâncton por imageamento



Marcolin et al. 2015

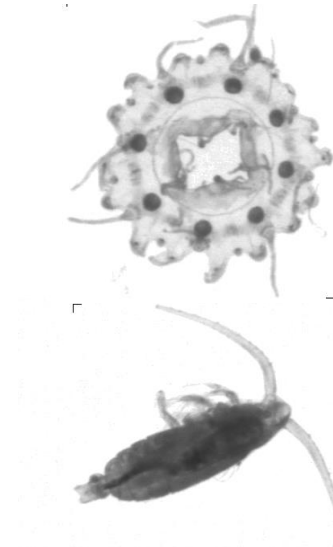
Amostragens mensais em uma
estação fixa
de julho de 2007 a junho de 2012

Gaeta & Kampel (Coords.)



Perfilagens
verticais com
CTD, coletas de
água e de
zooplâncton

Perfilagens
verticais de
partículas em
suspensão



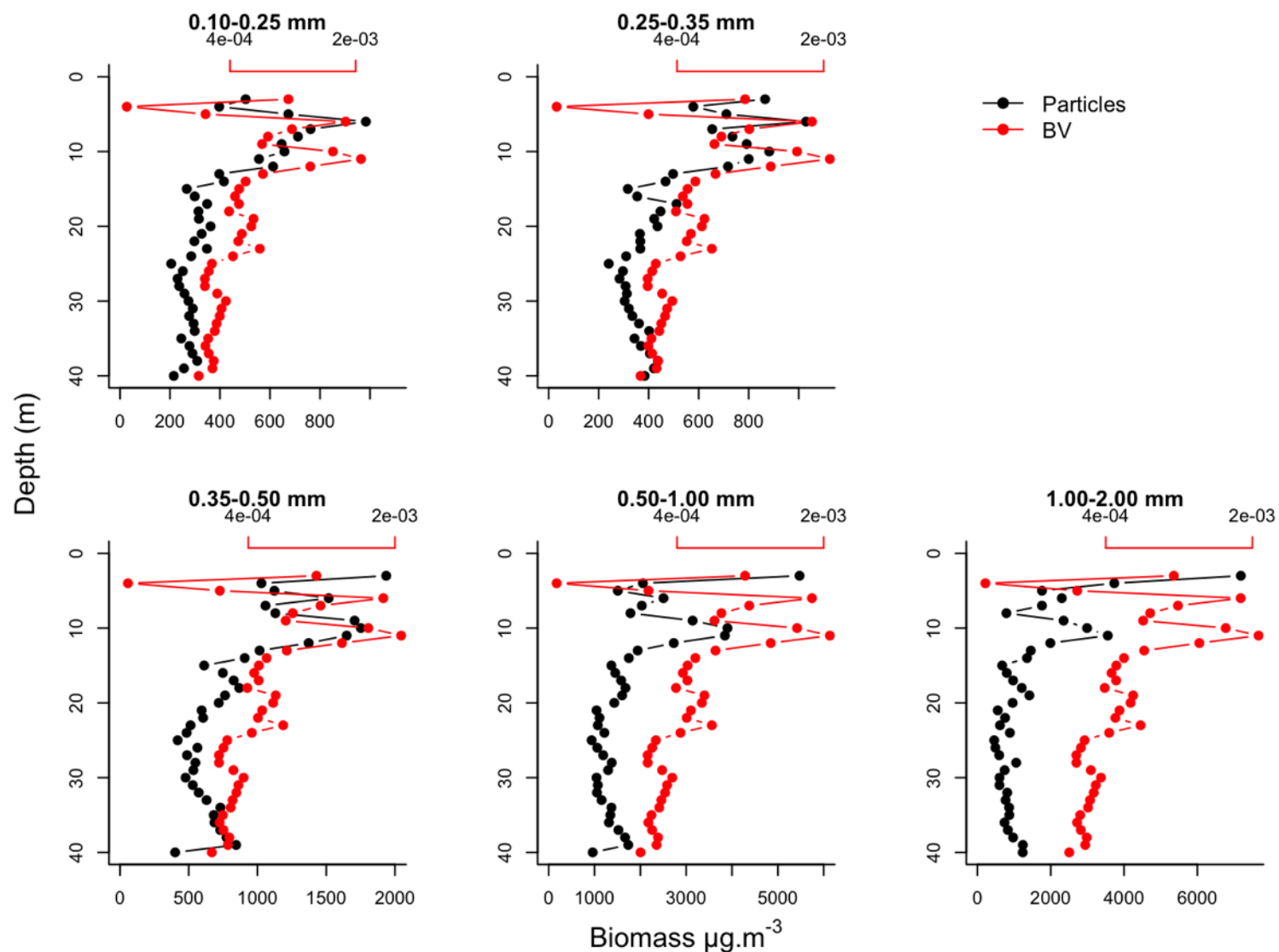
Imagens: LAPS/IOUSP

Perfilagens verticais com o LOPC - Ubatuba

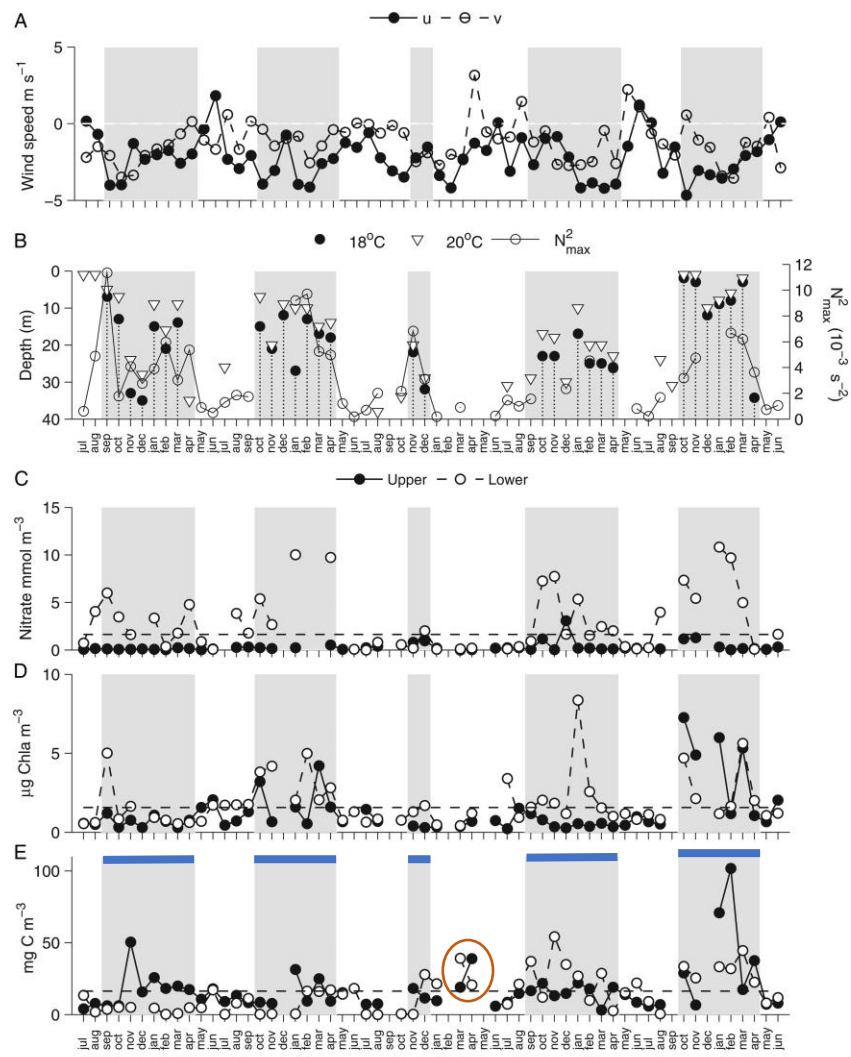
OPC e LOPC foram utilizados por mais de duas décadas para quantificação de partículas atribuídas ao zooplâncton (>0.1 mm).

Biomassa das partículas estimada por classes de tamanho assumindo 1 mg mm^{-3} (Herman & Harvey 2006). Valores integrados a cada 1 m.

Hoje sabemos que uma porcentagem significativa do espectro de partículas corresponde a agregados.



Resultados – Projeto ANTARES - Ubatuba



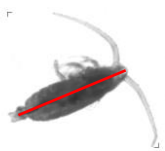
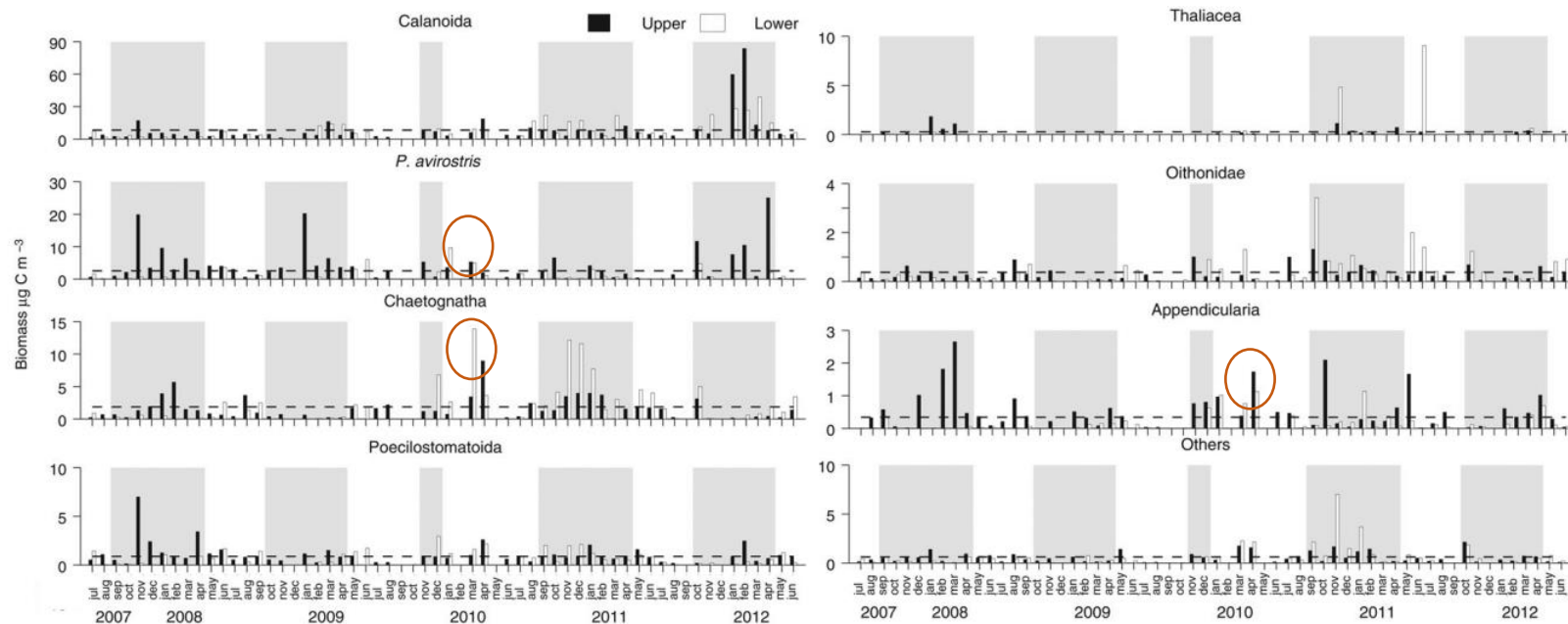
Caracterização da sazonalidade e das variações interanuais da influência da ACAS sobre o fito (clorofila) e o zooplâncton na plataforma interna.

Seasonal and interannual variability of zooplankton vertical distribution and biomass size spectra off Ubatuba, Brazil

Catarina R. Marcolin ✉, Salvador Gaeta, Rubens M. Lopes

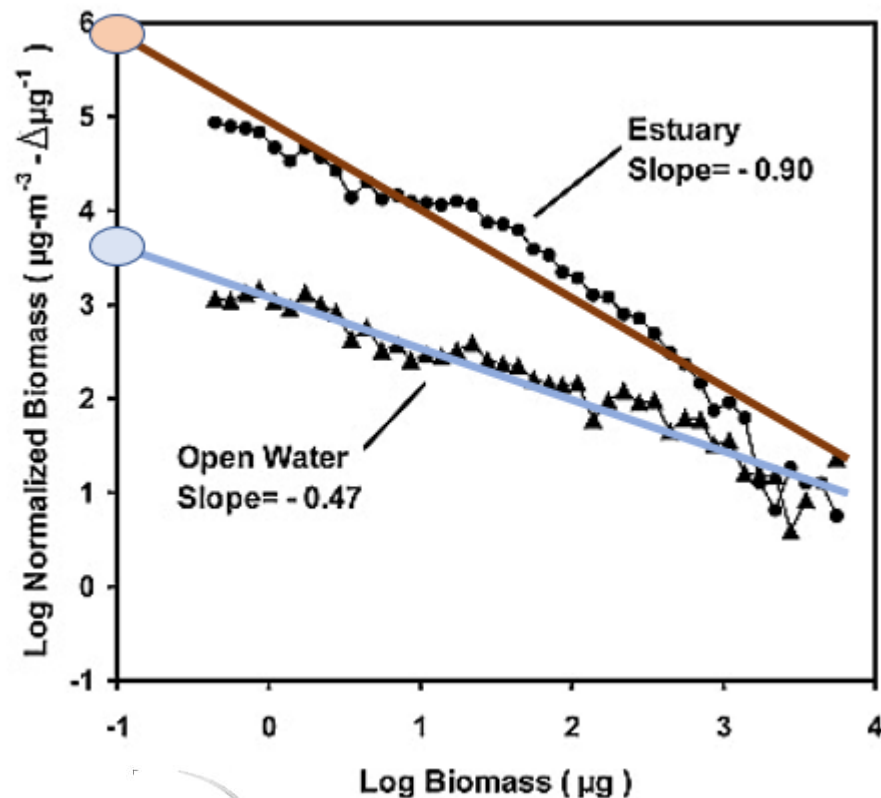
Journal of Plankton Research, Volume 37, Issue 4, July/August 2015, Pages 808–819,

“Intrusões da ACAS levaram a aumentos de nitrato, clorofila e zooplâncton em diferentes estratos de profundidade. (...) Os componentes temporais da variabilidade do zooplâncton neste ecossistema costeiro subtropical foram governados por intrusões da ACAS, afetando a distribuição vertical da biomassa do zooplâncton e a estrutura de tamanho.



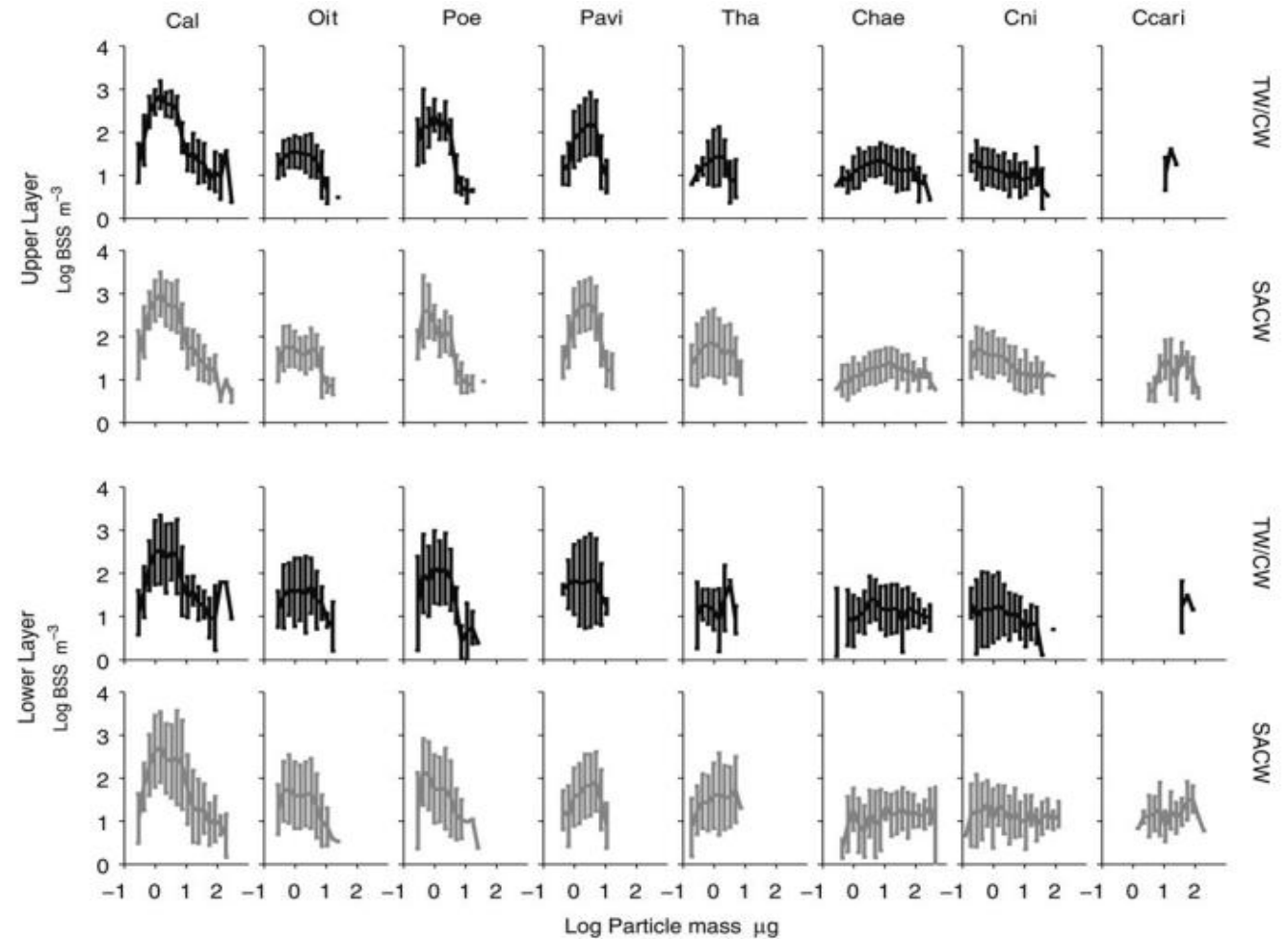
$$\ln DW (\mu g) = 2.73 \ln PL (\mu m) - 15.93$$

Projeto ANTARES – Ubatuba – NBSS via LOPC e ZooScan



$$\ln DW (\mu\text{g}) = 2.73 \ln PL (\mu\text{m}) - 15.93$$

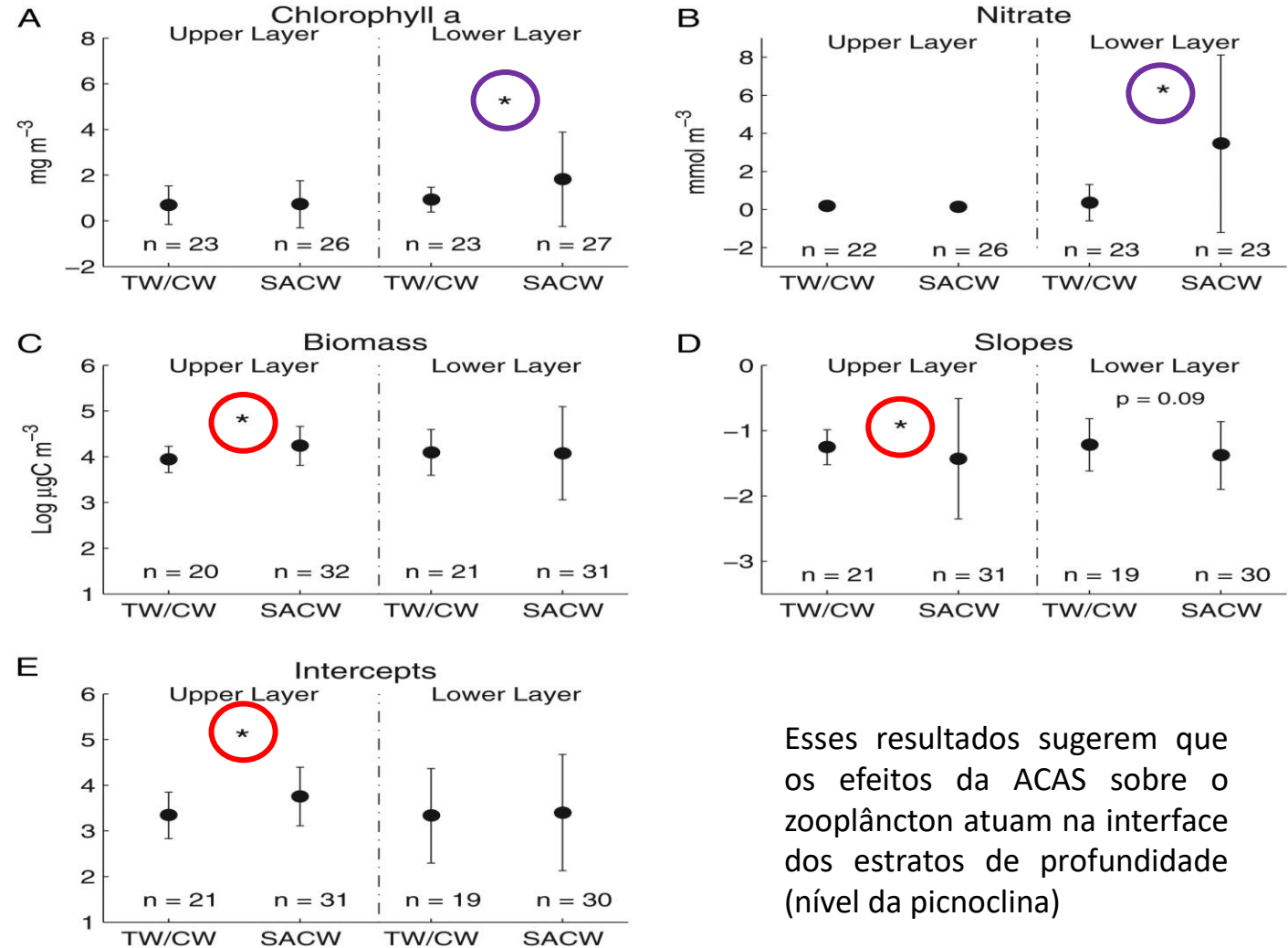
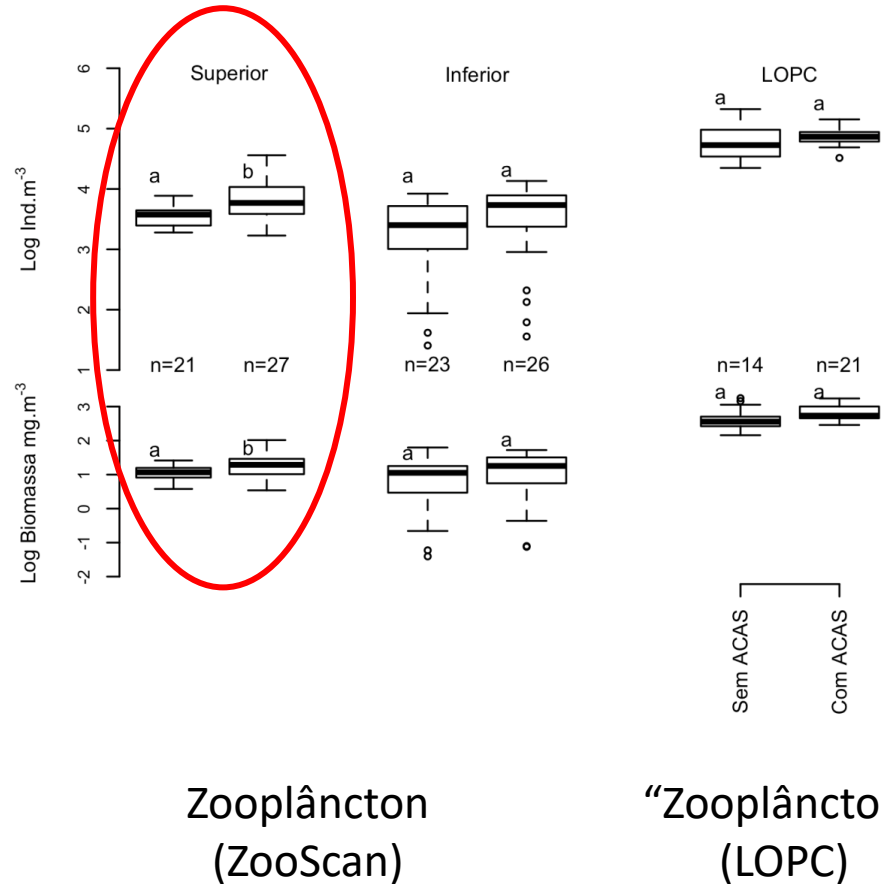
NBSS = $\Delta M / \Delta m$, onde ΔM é a biomassa total em um intervalo de tamanho e Δm é a diferença da massa entre o menor e o maior organismo no mesmo intervalo.



NBSS estimados para os principais grupos taxonômicos do zooplâncton amostrados nos 5 anos do projeto ANTARES.

Resultados – Projeto ANTARES - Ubatuba

Clorofila, nitrato, biomassa do zooplâncton e NBSS:
síntese dos cinco anos de dados em Ubatuba



Esses resultados sugerem que os efeitos da ACAS sobre o zooplâncton atuam na interface dos estratos de profundidade (nível da picnoclina)

Projeto PROABROLHOS

LIMNOLOGY
and
OCEANOGRAPHY: METHODS

Limnol. Oceanogr.: Methods 7, 2009, 771–784
© 2009, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

Laser Optical Plankton Counter and Zooscan intercomparison in
tropical and subtropical marine ecosystems

Sabine Schultes and Rubens M. Lopes*
Oceanographic Institute, Department of Biological Oceanography, University of São Paulo, Praça do Oceanográfico 191, 05508-900 São Paulo, Brazil



Continental Shelf Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/csr

Plankton and seston size spectra estimated by the LOPC and ZooScan in the Abrolhos Bank ecosystem (SE Atlantic) Continental Shelf Research 70 (2013) 74–87

Catarina da Rocha Marcolin ^{a,*}, Sabine Schultes ^{a,1}, George A. Jackson ^b, Rubens M. Lopes ^a



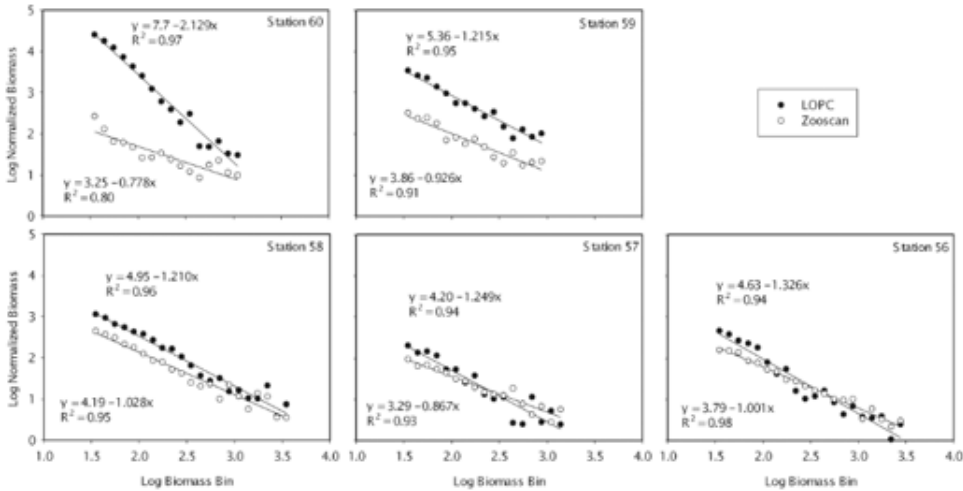
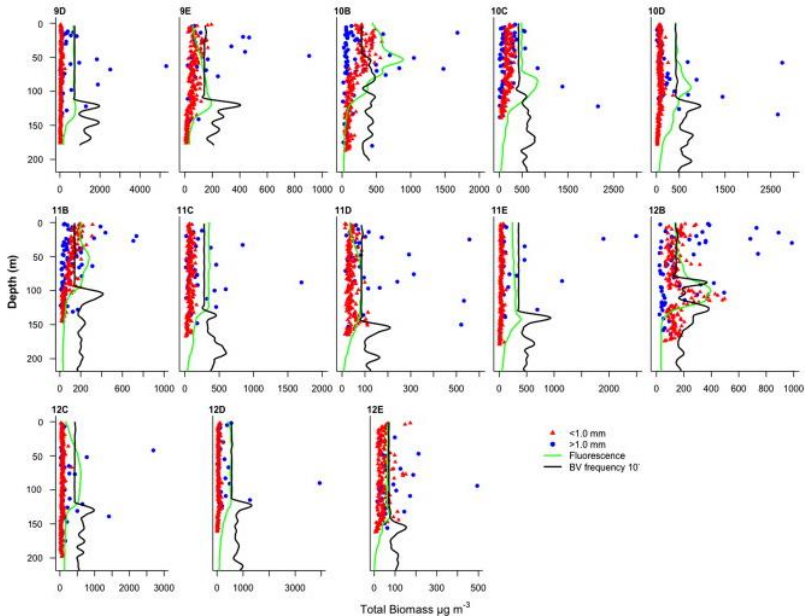
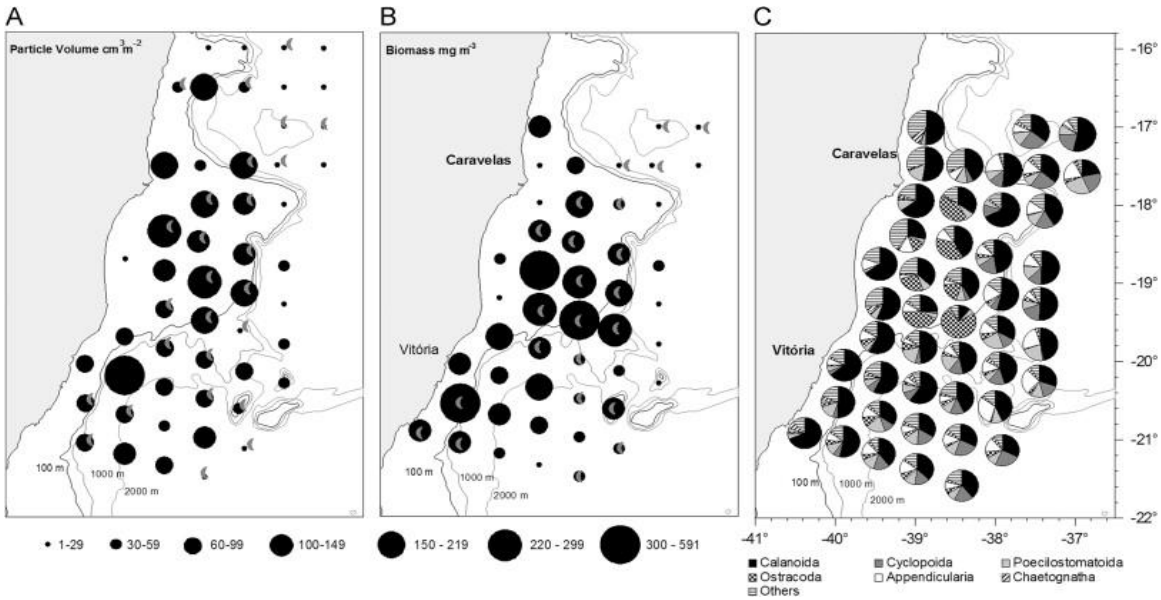
Continental Shelf Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/csr

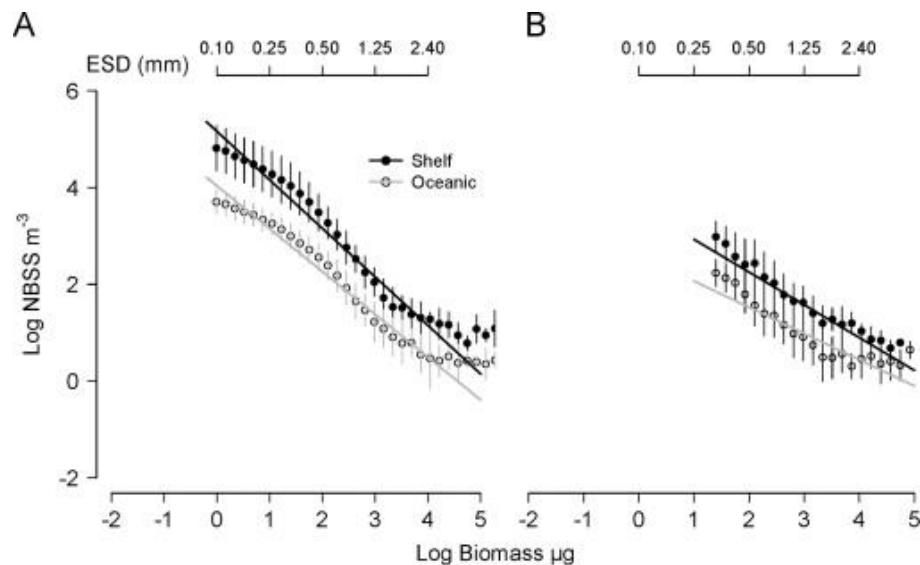
Meroplankton spatial structure and variability on Abrolhos Bank and adjacent areas, with emphasis on brachyuran larvae

Andréa Green Koettker ^a, Rubens M. Lopes

Continental Shelf Research 70 (2013) 97–108

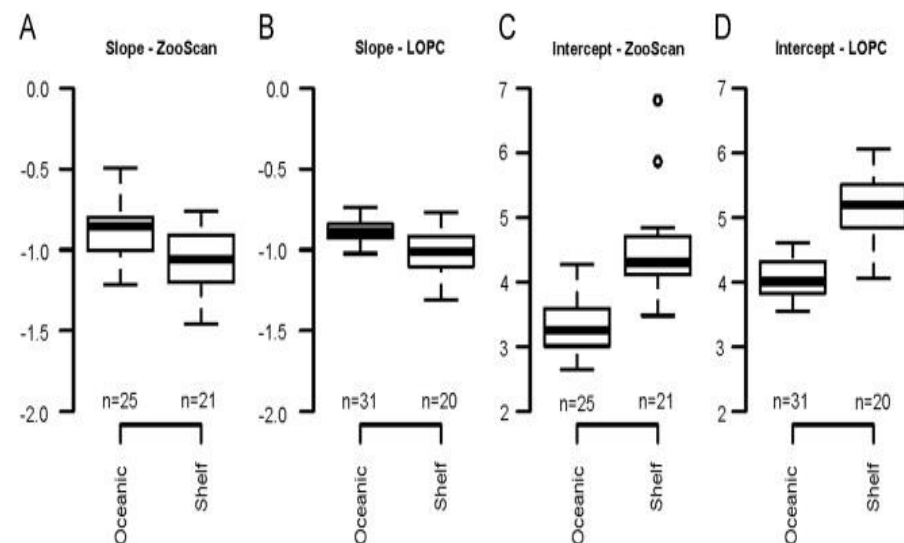


Projeto PROABROLHOS



Espectros de tamanho de biomassa normalizados (NBSS) estimados usando o LOPC (A) e amostras preservadas analisadas com o ZooScan (B), para plataforma e estações oceânicas

NBSS – inclinações (A-B) e interceptos (C-D) estimados usando dados do ZooScan (A e C) e LOPC (B e D) nas estações de plataforma e oceânicas. Testes de Wilcoxon detectou diferenças entre as duas áreas para todas as comparações ($p < 0.05$).

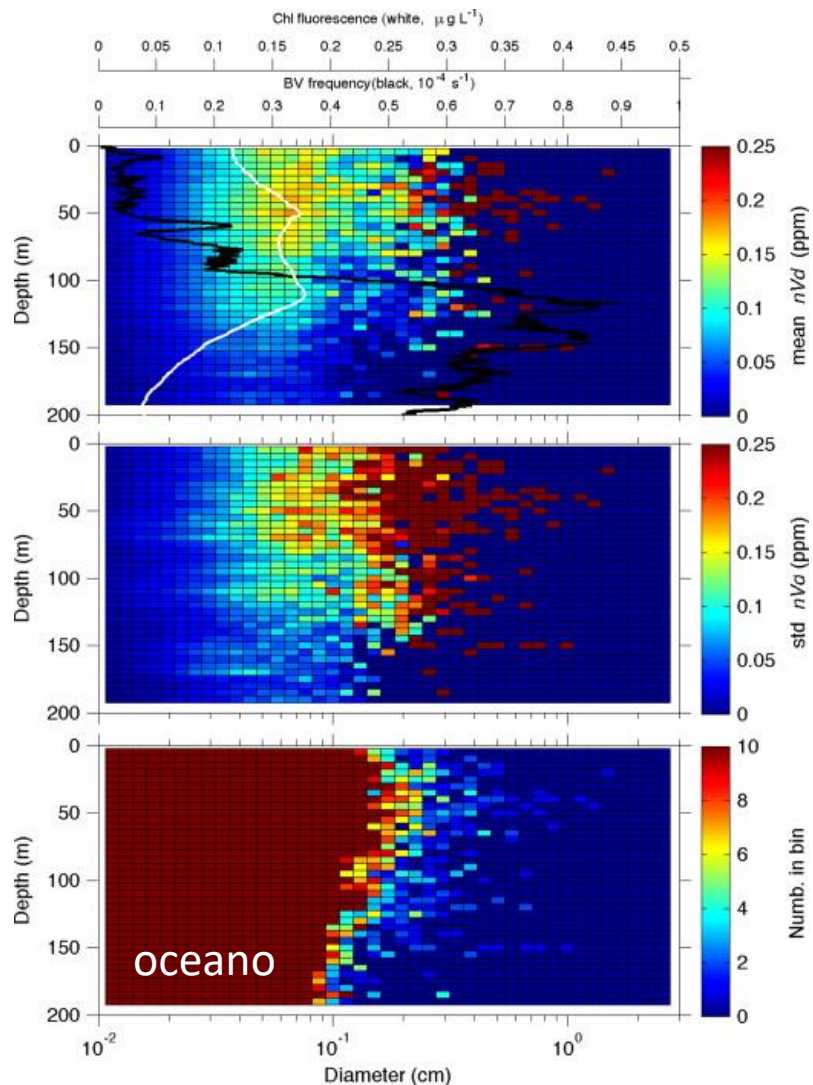
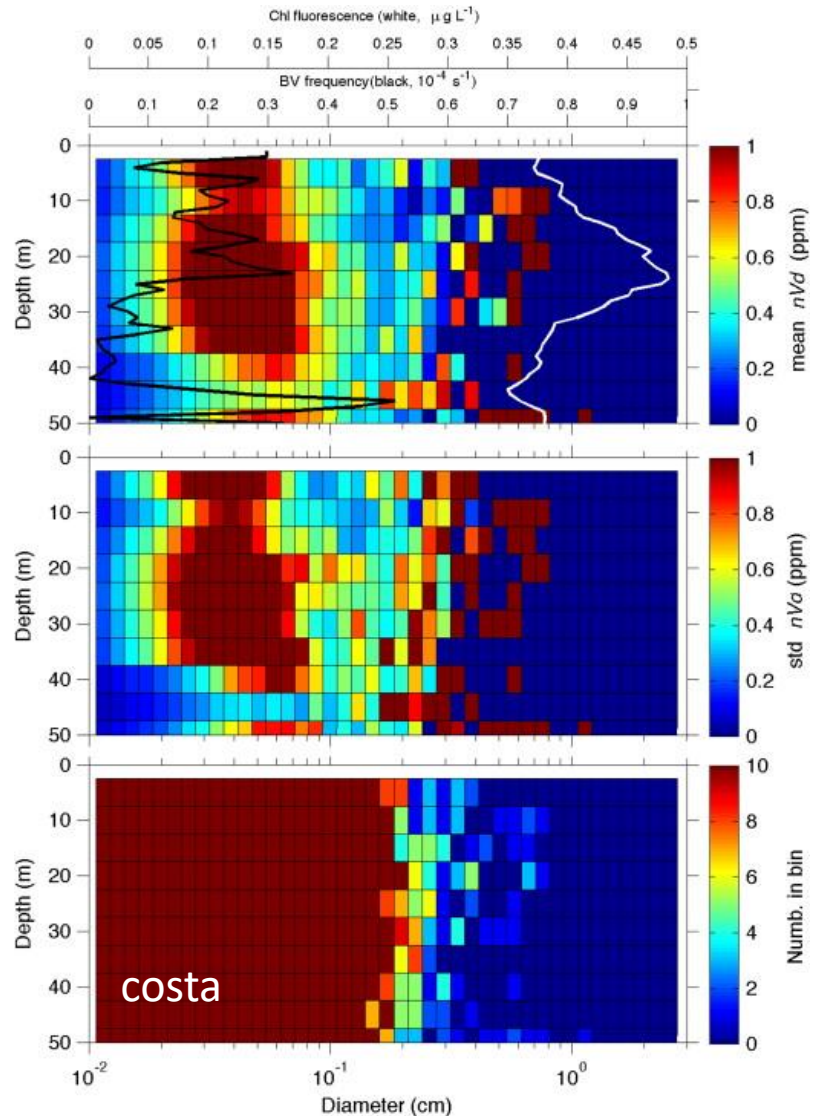


Projeto PROABROLHOS

média

desv. pad.

n



Espectro normalizado do volume de partículas (nVds) calculado a partir dos dados do LOPC.

Linha preta:
frequência média de Brunt–Väisälä;

Linha branca: fluorescência da clorofila

Tamanho das partículas

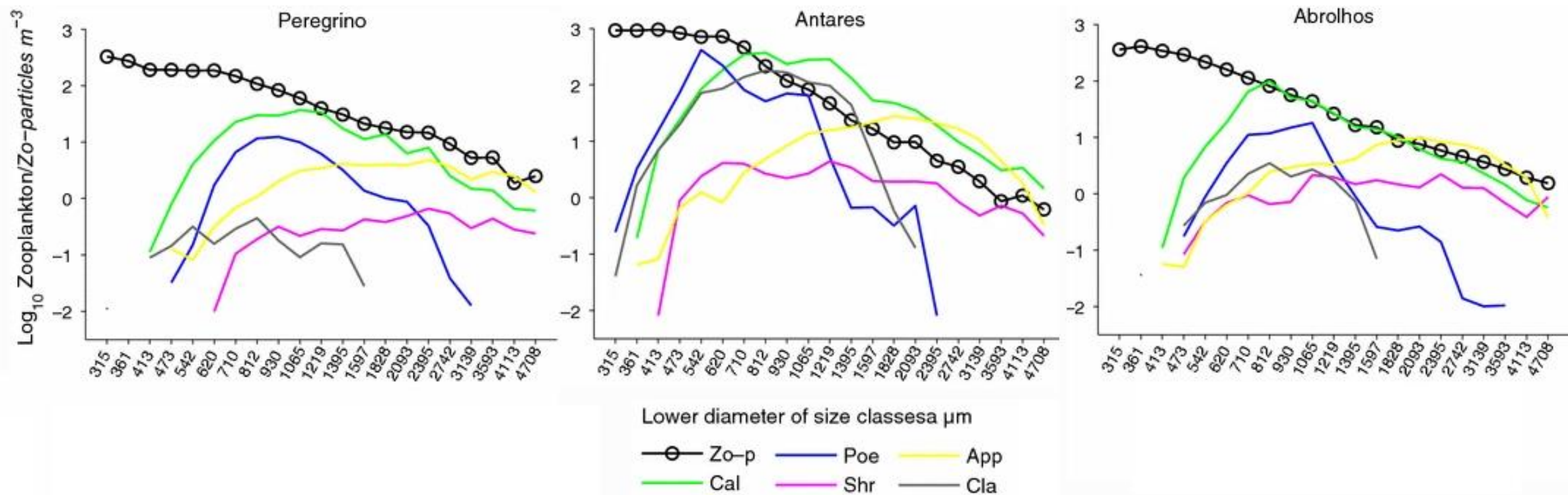
Marcolin et al., 2013

Conciliando os dados do LOPC e do ZooScan para estimativas da distribuição vertical do zooplâncton

Mar Biol (2015) 162:2171–2186

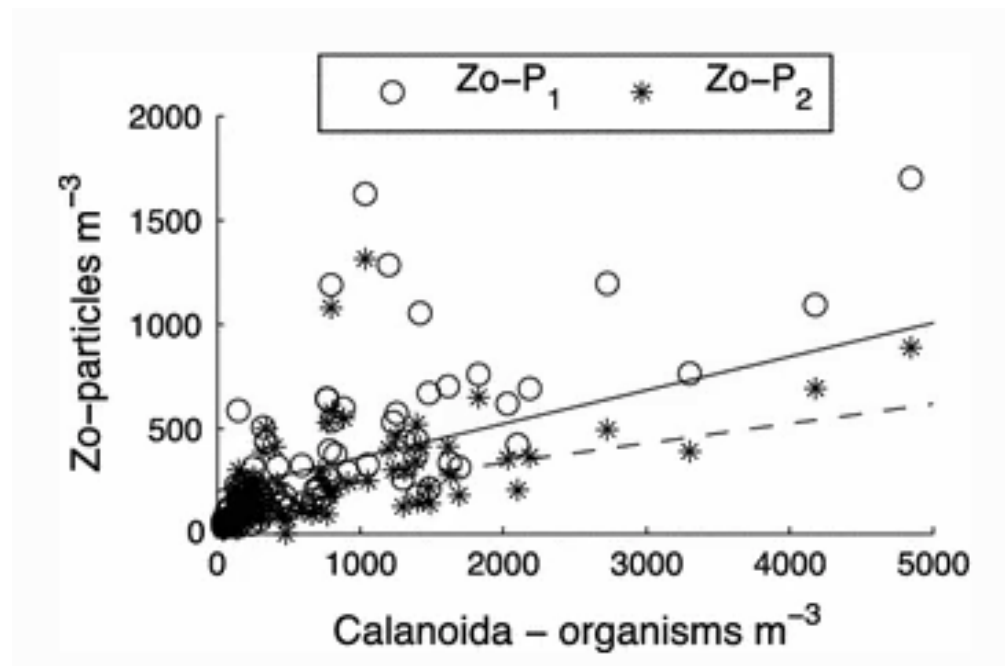
DOI 10.1007/s00227-015-2753-2

Estimating zooplankton vertical distribution from combined LOPC and ZooScan observations on the Brazilian Coast

Catarina R. Marcolin¹ · Rubens M. Lopes¹ · George A. Jackson²

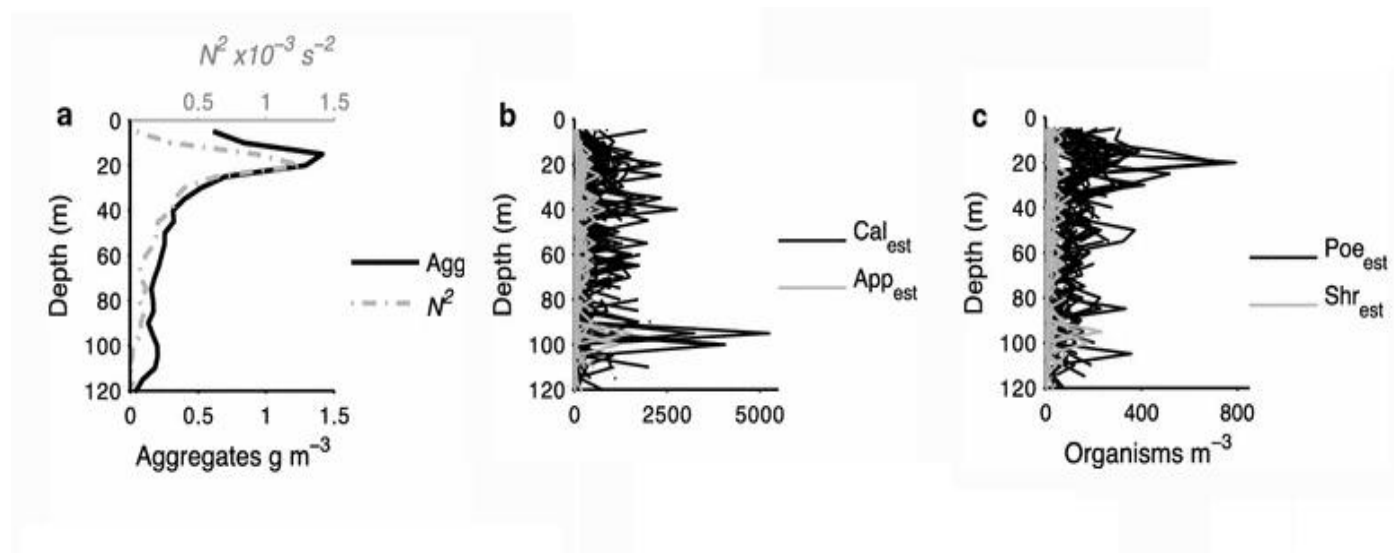
Distribuição de tamanho de zooplâncton (organismos m^{-3}) e Zo-partículas (m^{-3}) ao largo de Cabo Frio (Peregrino), ao largo de Ubatuba (Antares) e no Banco dos Abrolhos e adjacências. Os valores são a média de todas as amostras por projeto.

Conciliando os dados do LOPC e do ZooScan para estimativas da distribuição vertical do zooplâncton



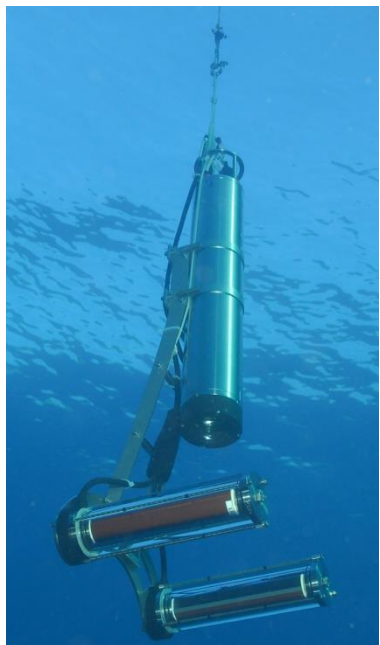
Correlação entre abundância de Calanoida e abundância de Zo-partículas. Todos os conjuntos de dados combinados ($n = 99$).

Zo-P₁: Zo-partículas de 620 a 710 μm ;
 Zo-P₂: Zo-partículas de 710 a 812 μm .

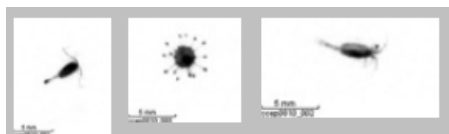


Perfis verticais da frequência de Brunt–Väisälä ($N^2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$) e concentração agregada (g m^{-3}) (a; média) e a abundância estimada de plâncton (b e c; todas as amostras são mostradas) no Campo Peregrino. Cal_{est}: Calanóides; Poe_{est}: Poecilostomatoida; Shr_{est}: Outros crustáceos; App_{est}: Apendicularia; Agg: agregados, ou seja, partículas capturadas pelo LOPC que se ajustam a uma distribuição Gaussiana.

Novas tecnologias observacionais - imageamento *in situ*



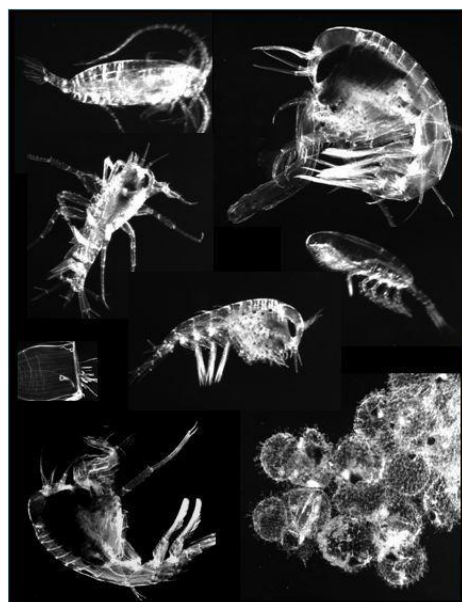
UVP



Picheral et al. 2010



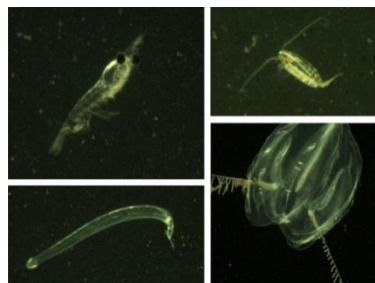
Loki



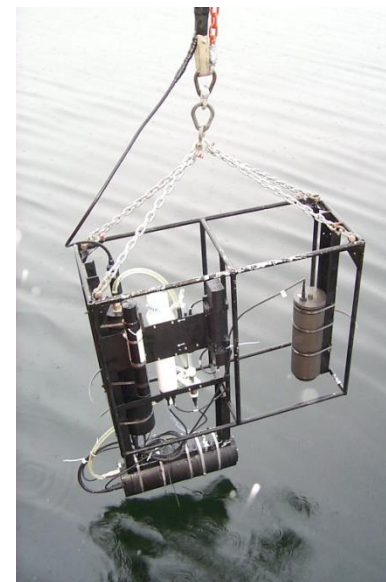
Schmid et al. 2016



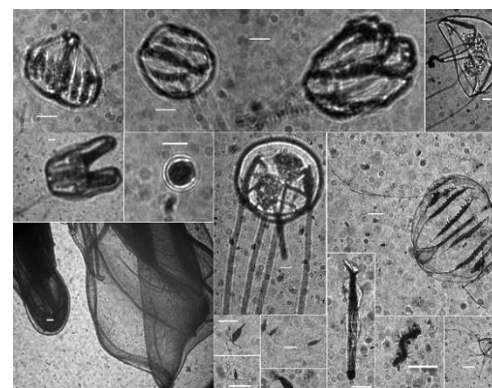
VPR



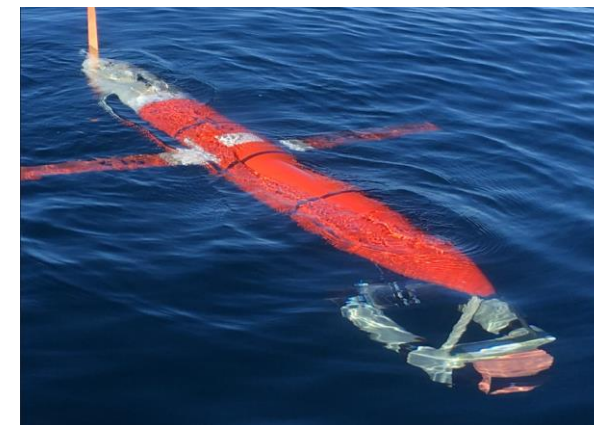
<http://www.whoi.edu/main/vpr> (C. Davis)



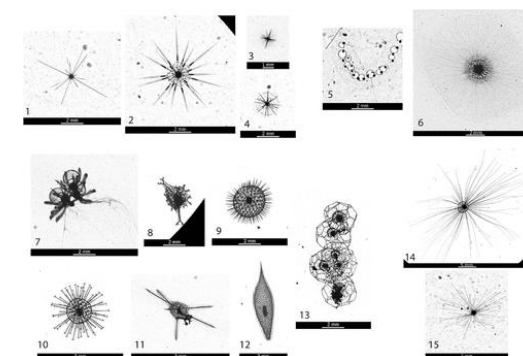
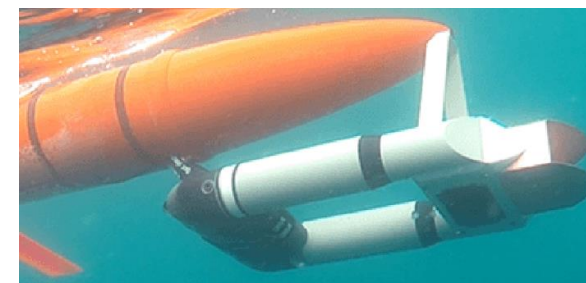
ZOOVIS



Bi et al. 2012

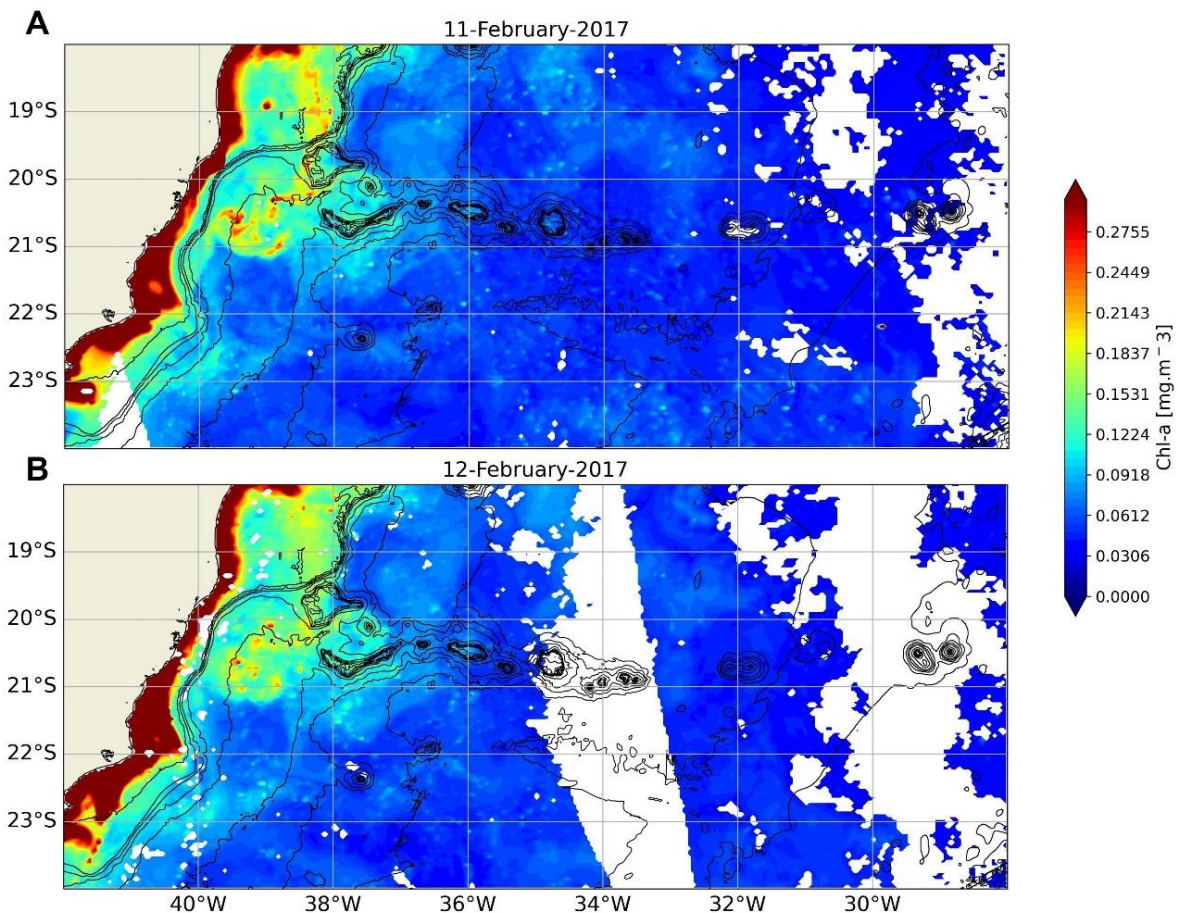
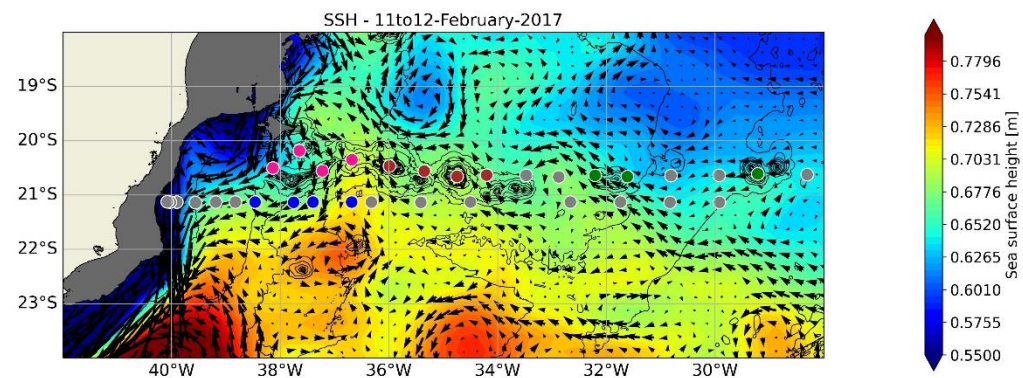
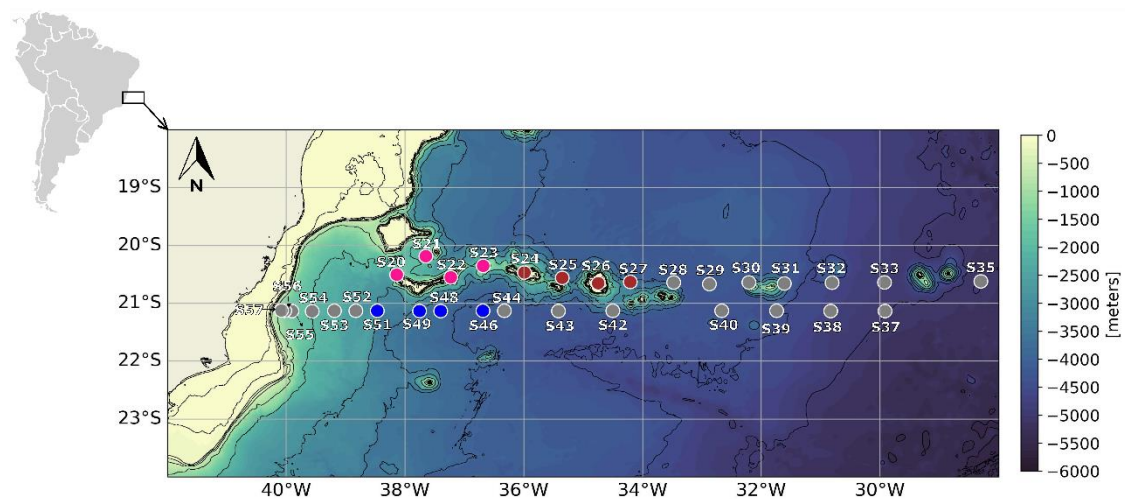


ZooGlider

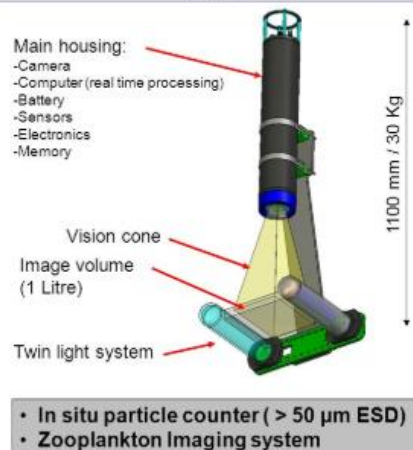


Ohman et al. 2019

Projeto ILHAS – Cadeia Vitória-Trindade



Projeto ILHAS – Cadeia Vitória-Trindade

UNDERWATER VISION PROFILER
model 5

Picheral et al. 2010

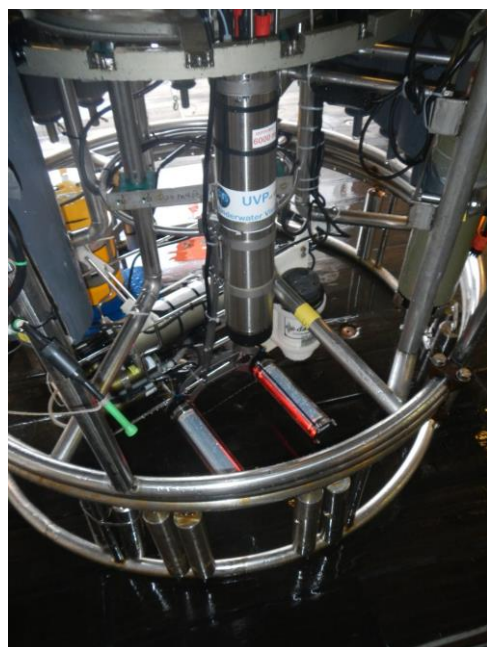


Imagem: R. Kiko

Cálculo das taxas de afundamento:

$$F = \int_0^\infty n(d)m(d)w(d) dd$$

$$m(d) = \alpha d^3$$

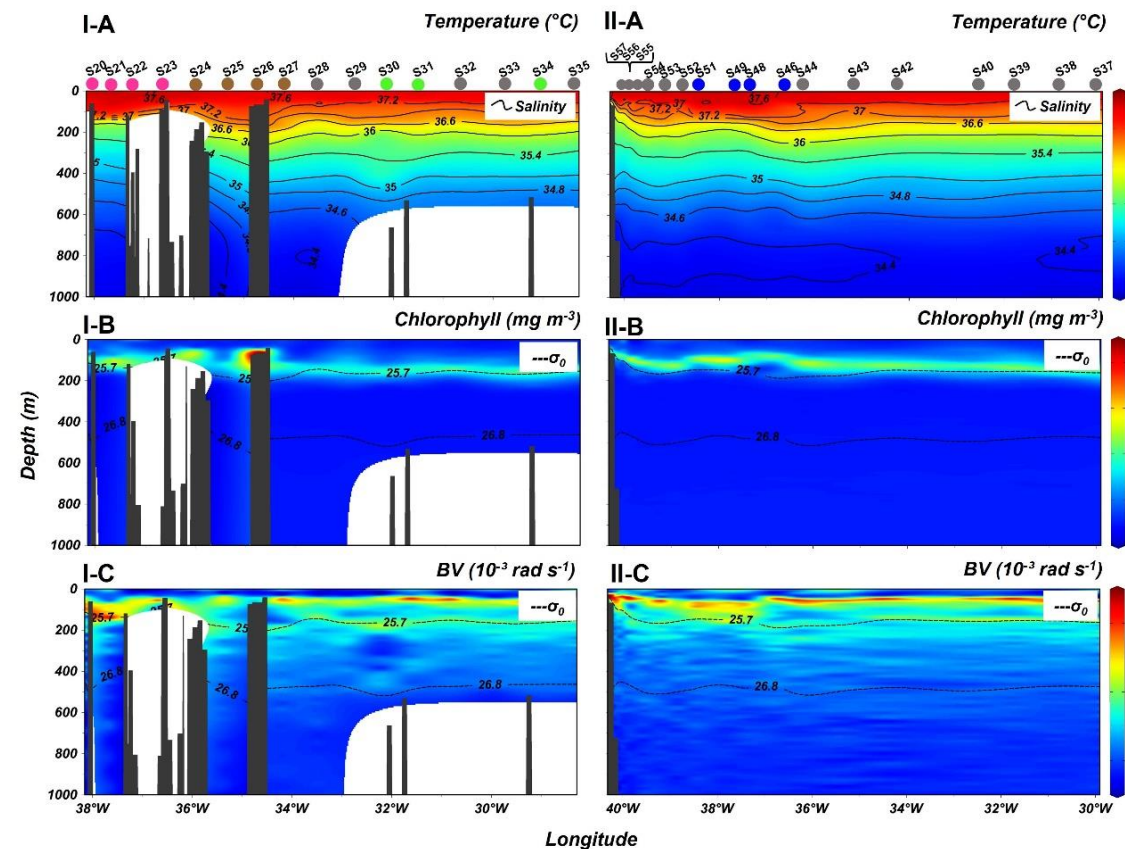
onde $\alpha = \pi \rho / 6$ e ρ é a densidade média; a taxa de afundamento é calculada usando a lei de Stokes,

$$w(d) = \beta d^2$$

$$\beta = g(\rho - \rho_0)(18\nu\rho_0)^{-1}$$

Onde g é a aceleração gravitacional, ρ_0 é a densidade do fluido e ν é a viscosidade cinemática

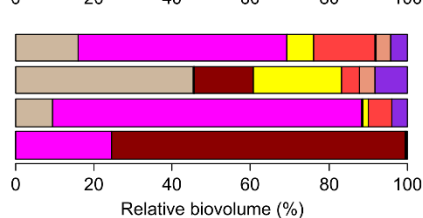
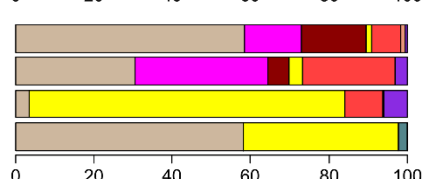
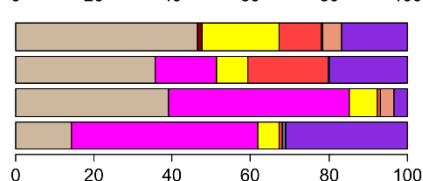
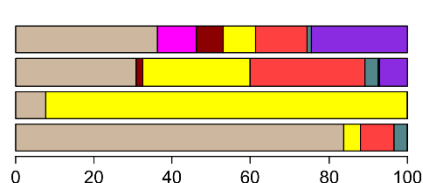
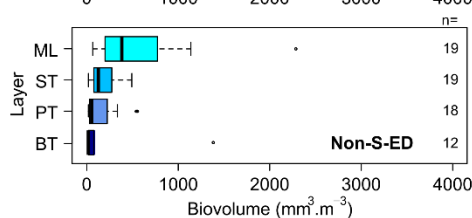
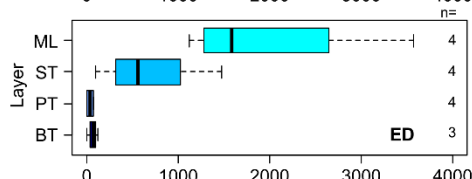
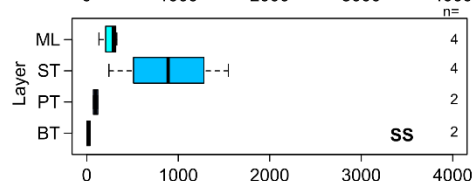
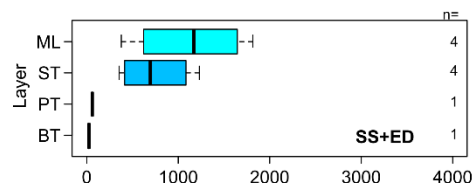
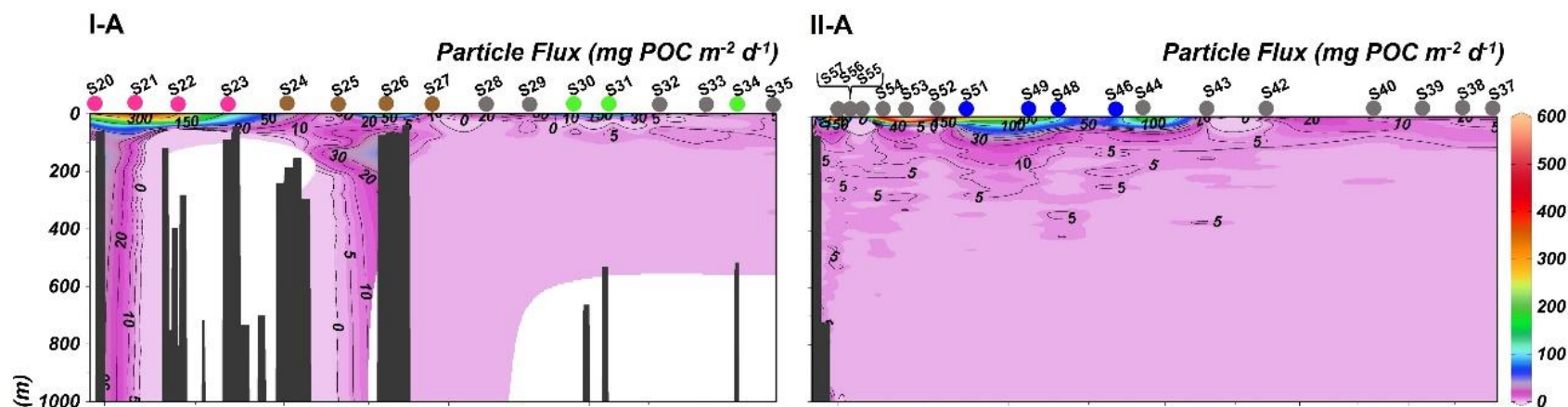
Guidi et al., 2008



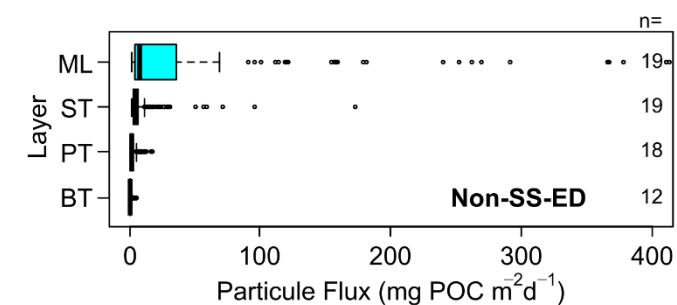
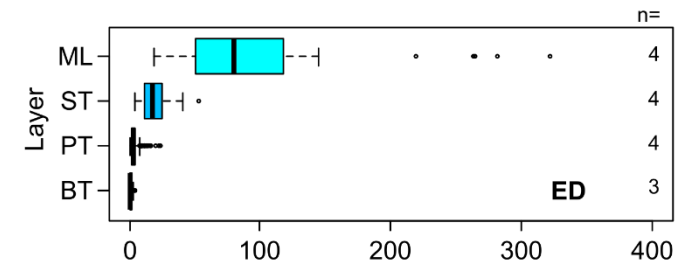
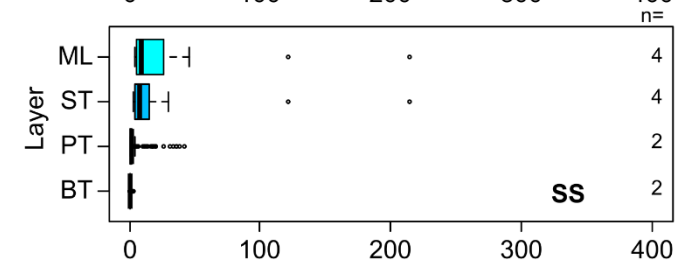
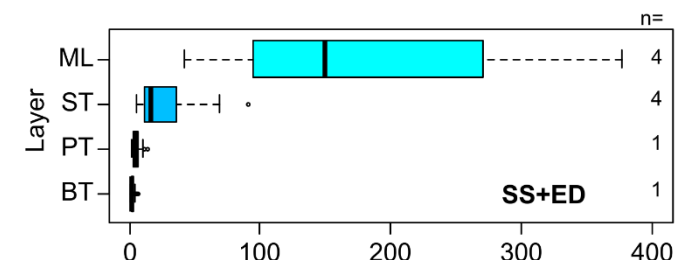
Santos et al. (in prep.)

- Detecção do máximo subsuperficial de clorofila
- Influência do vórtice de Vitória e da topografia

Projeto ILHAS – Cadeia Vitória-Trindade



Rhizaria
Cnidaria
Polychaeta
Copepoda
Eumalacostraca
Ostracoda
Echinodermata
Chaetognatha

Particle Flux (mg POC m⁻² d⁻¹)

Legendas:

SS – montes rasos

ED – vórtice

ML – camada de mistura

ST – termoclina rasa

PT – termoclina permanente

BT – abaixo da termoclina

Desenvolvimento e implementação de sistemas de imageamento no LAPS/IOUSP

Sistema de imagens de séries temporais
(para fundeios, piers, plataformas etc.):

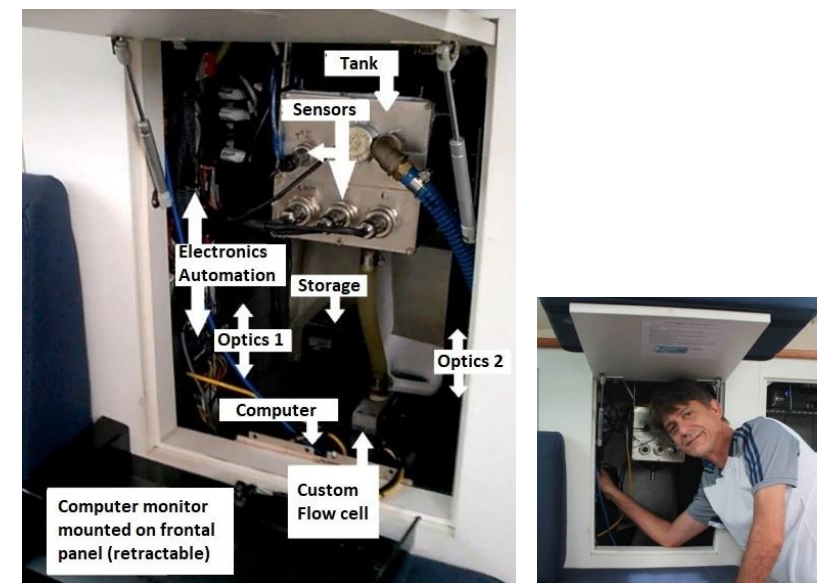
Sistema de imageamento fixo
(águas profundas)



Sistema de imageamento fixo
(águas rasas)



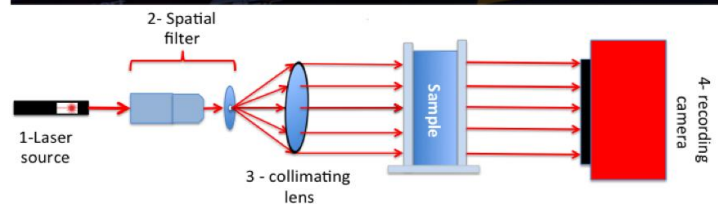
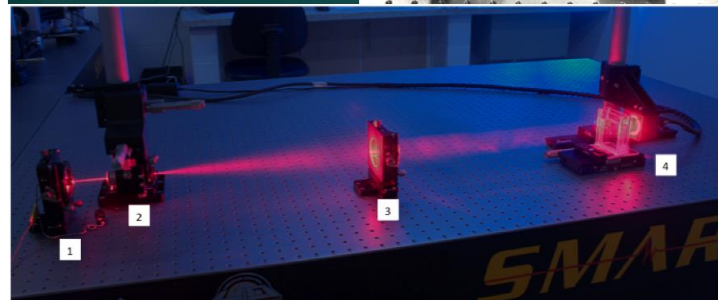
Sistema de imageamento embarcado:



↑ Amostragem contínua da Indonésia ao Brasil

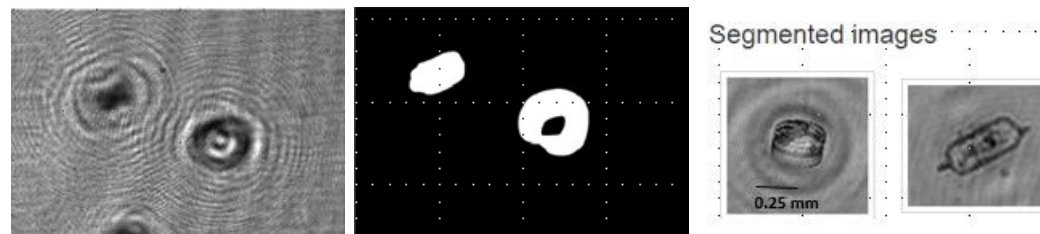


Desenvolvimento e implementação de sistemas de imageamento no LAPS/IOUSP



Versão 1.0: 100 m; resolução $\sim 5.5 \mu\text{m}$;
perfilagem vertical ou acoplado a ROV/
AUV/Glider

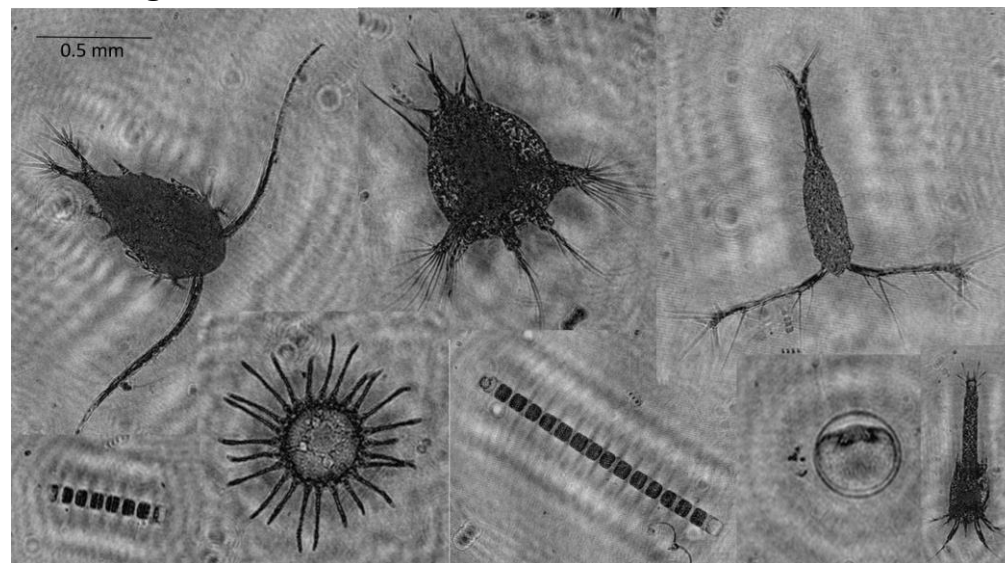
Possibilidade de conversão em sistema holográfico



Programa de reconstrução holográfica – LAPS/IOUSP

Holograma $\rightarrow$ ROI $\rightarrow$ reconstrução

Qualidade das reconstruções é equivalente aos
algoritmos estado-da-arte



Pattern Recognition Letters
Volume 138, October 2020, Pages 497–506

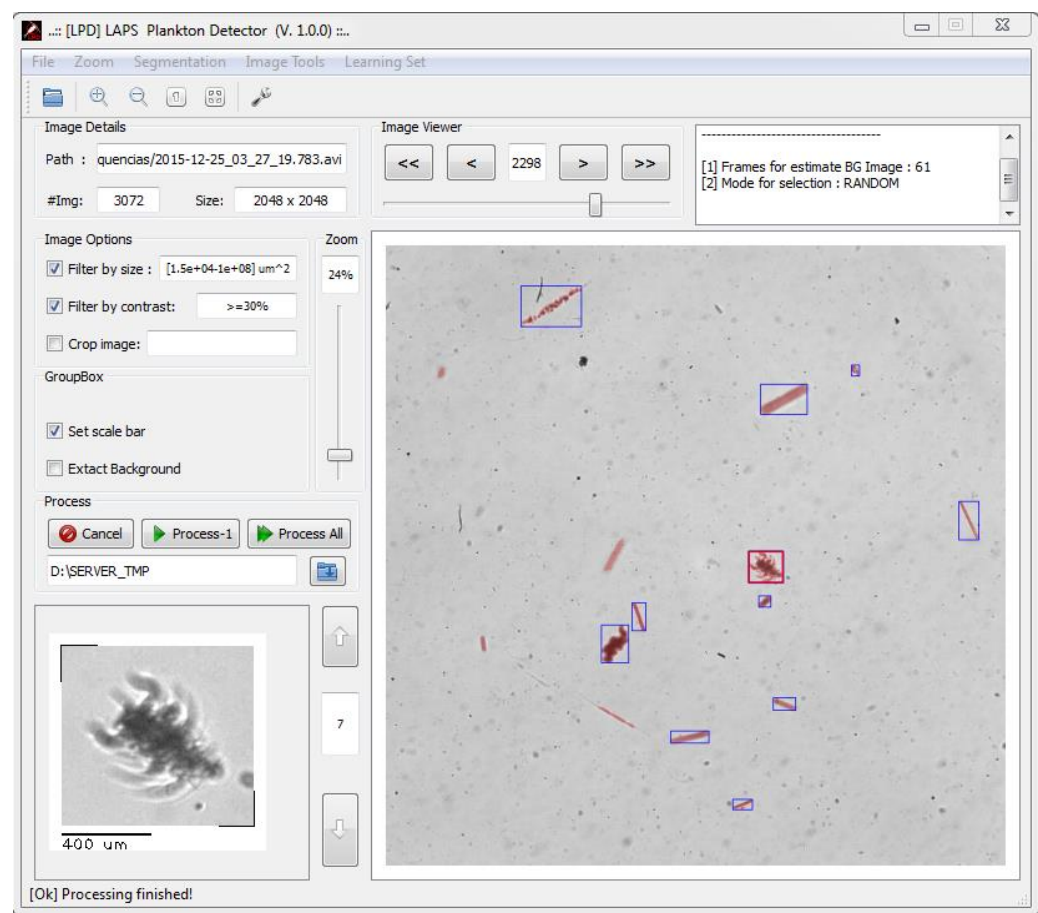


A new focus detection criterion in holograms of planktonic organisms ☆

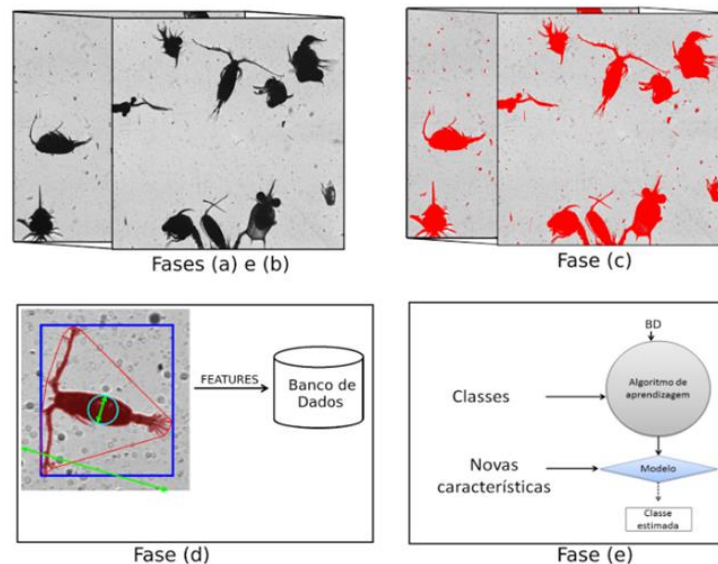
Gelaysi Moreno^a, Jefferson S. Ascano^b, Jorge O. Ricardo^c, Leandro T. De La Cruz^a, Yaumel Arias^c, J. Rudi Strickler^d, Rubens M. Lopes^a



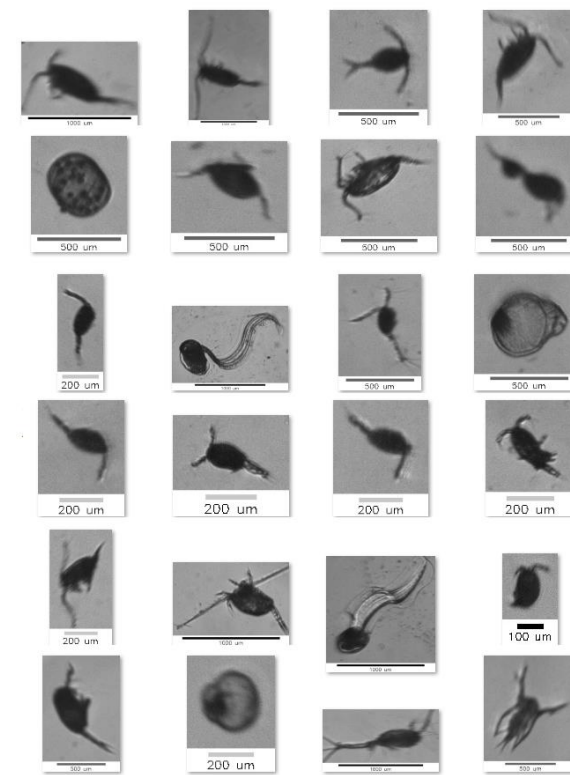
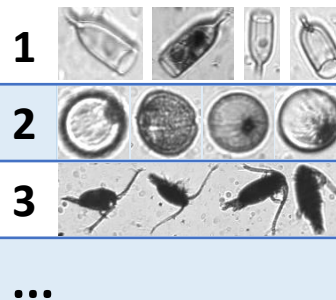
Desenvolvimento e implementação de sistemas de imageamento no LAPS/IOUSP



Interface do software LAPS Plankton Detector, com um quadro de vídeo.

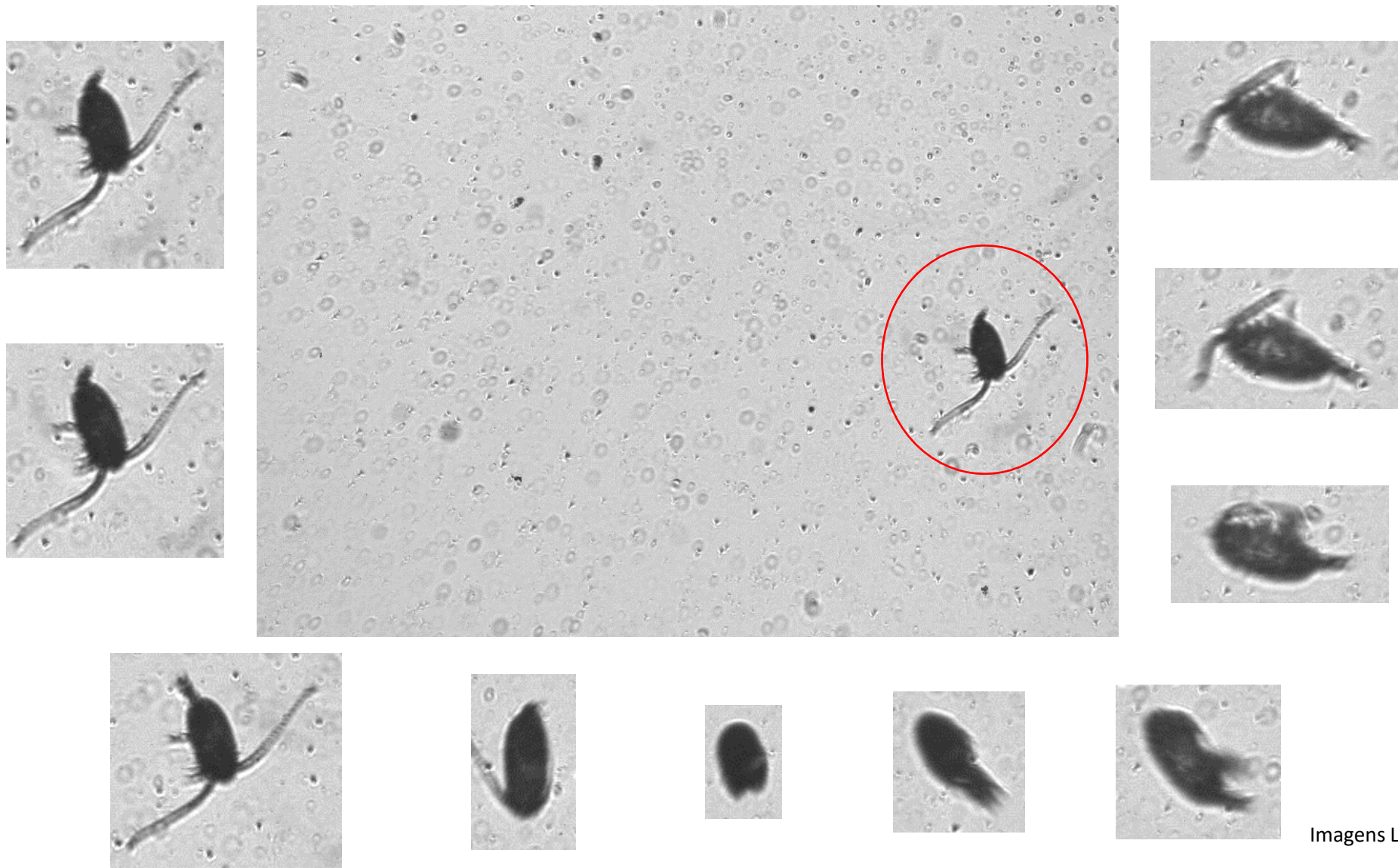


CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

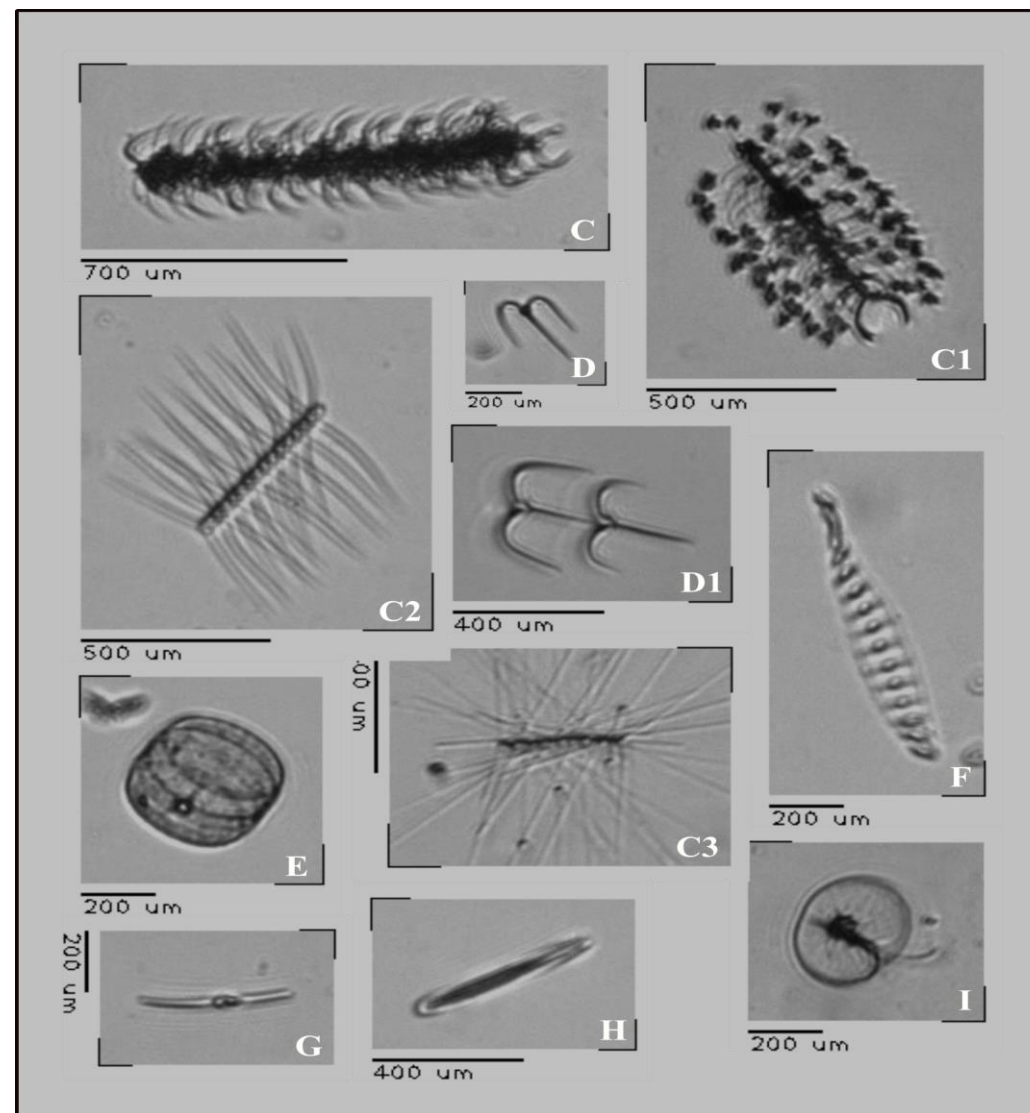
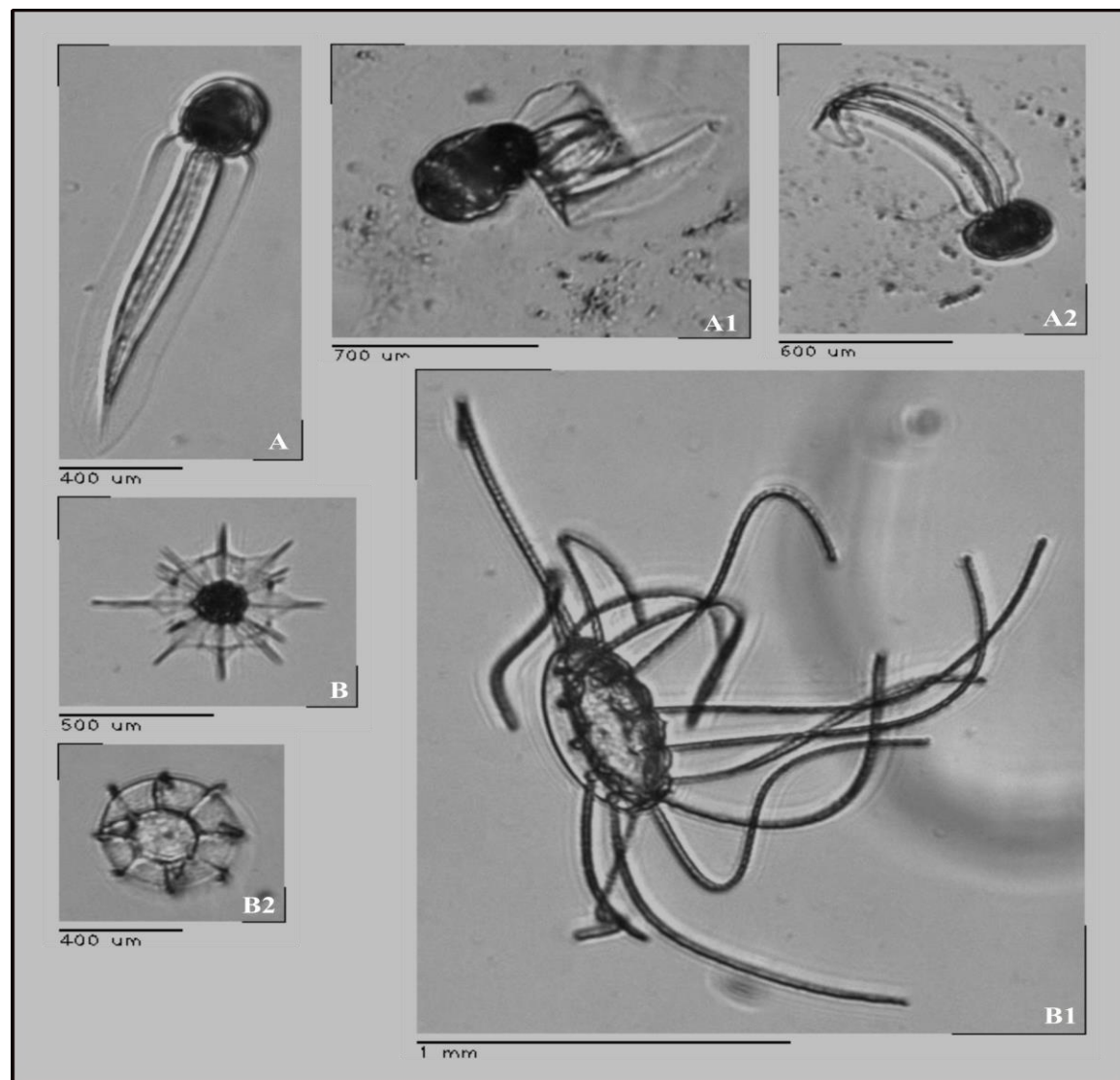


Colagem de imagens obtidas com o sistema de imageamento submersível do LAPS -IOUSP baseado na microscopia de campo claro

Sistema em fluxo, Ubatuba - SP



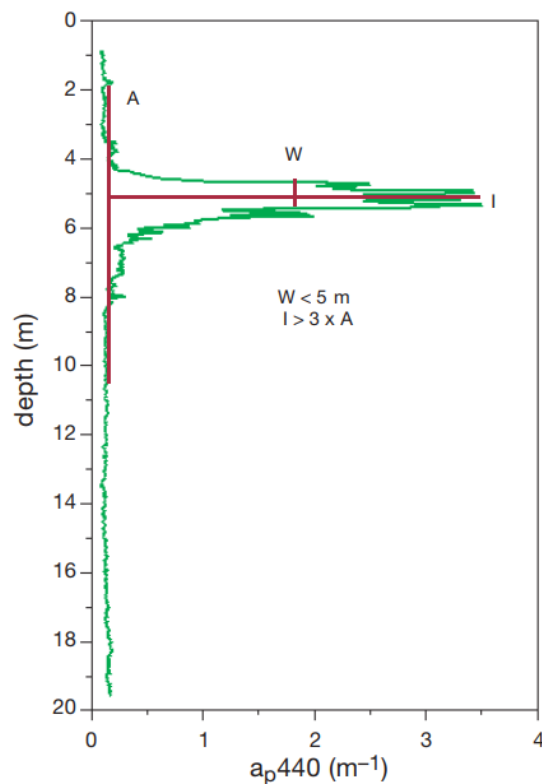
Imagens *in situ* capturadas ao largo de Ubatuba - SP



Contextualizando as aplicações dos sistemas de imageamento

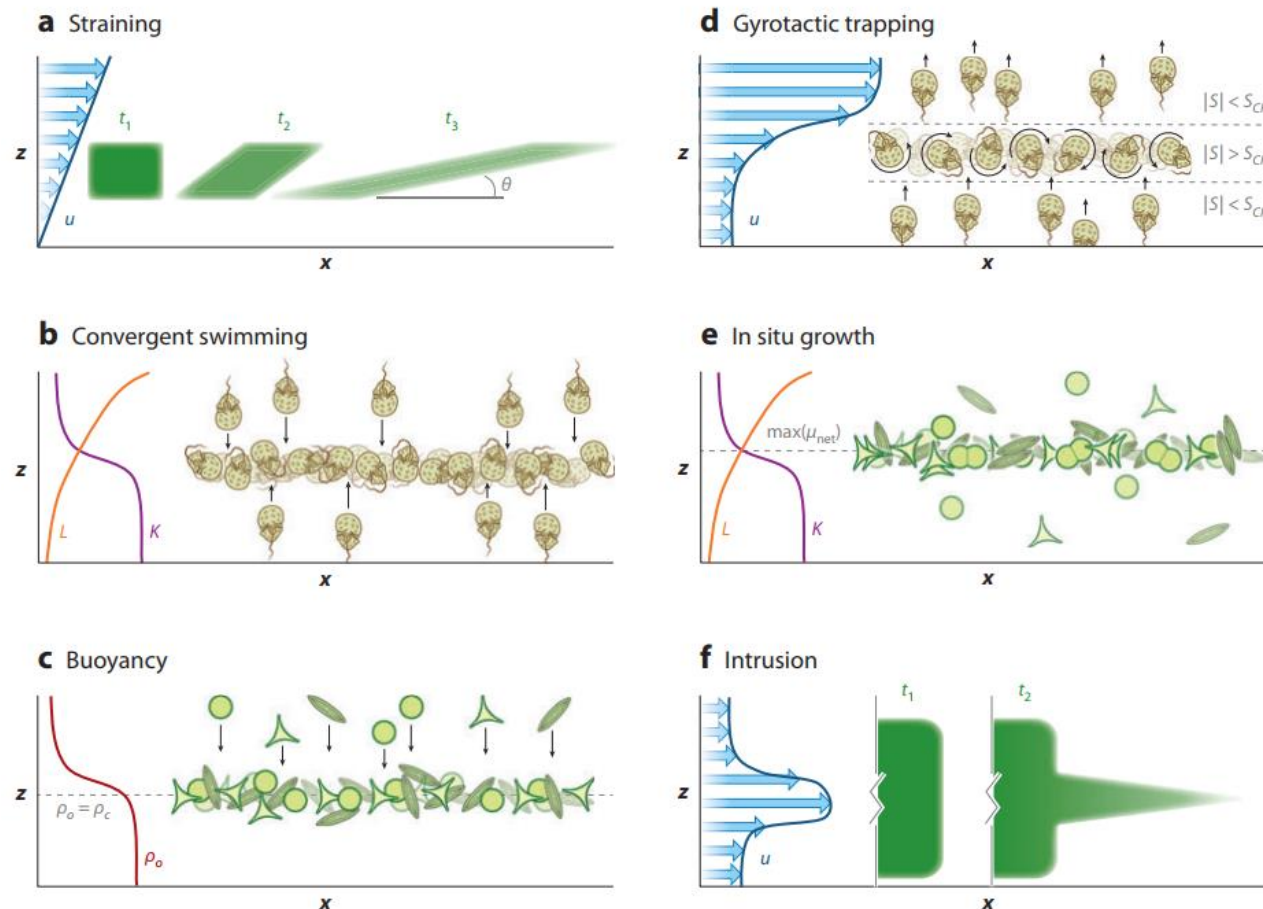
Estudo sobre camadas finas de plâncton - Ubatuba

Modos de formação de camadas finas.



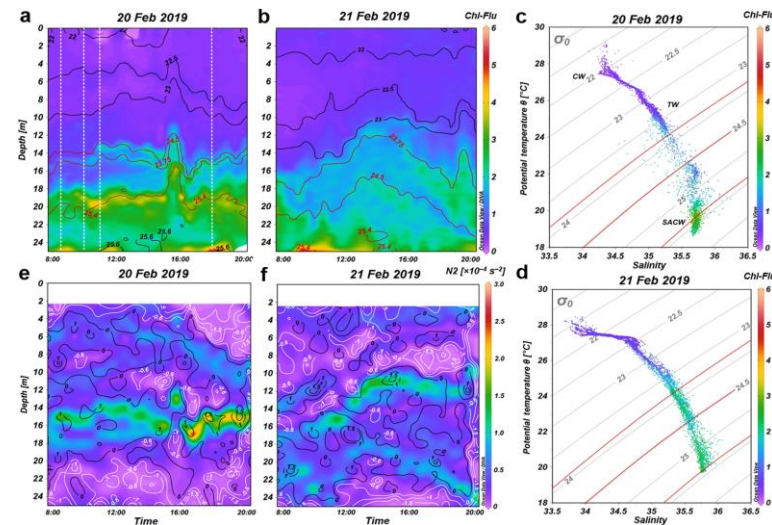
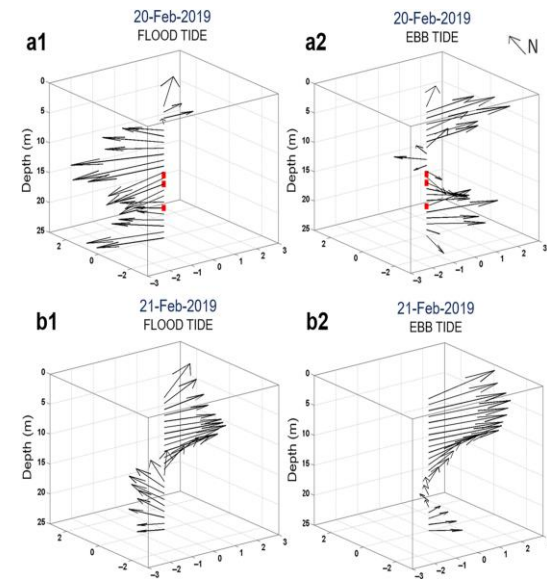
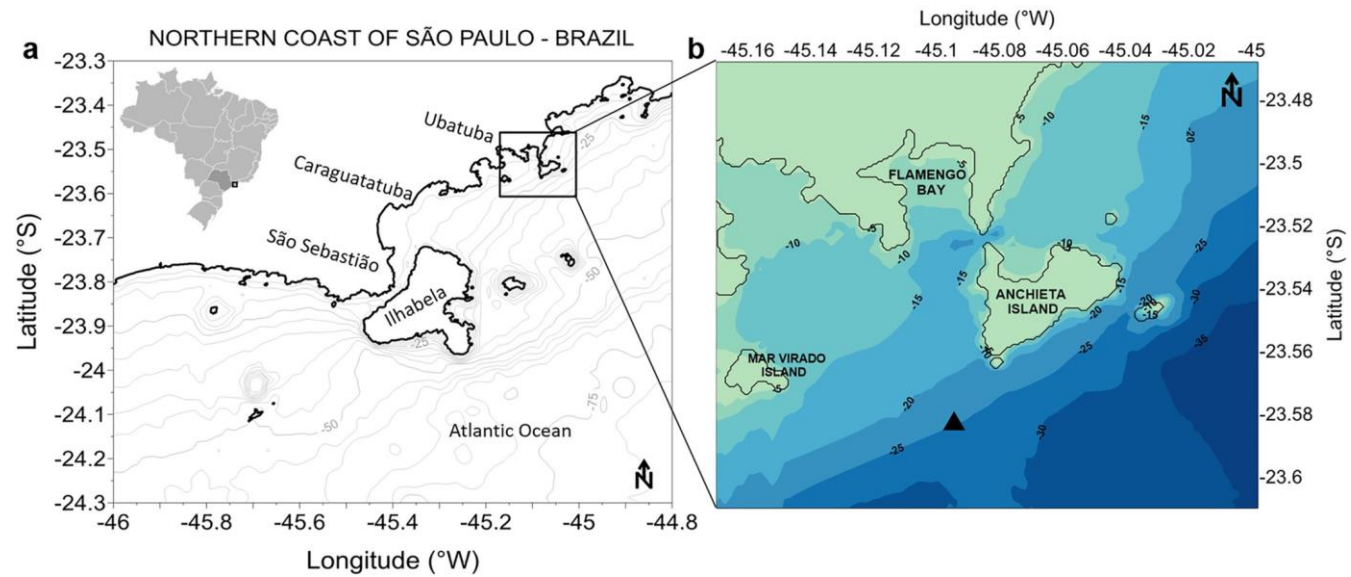
Camadas finas são definidas matematicamente como estruturas de clorofila que têm uma dimensão vertical < 3 (5) m e concentração > 2X o valor-base estimado de clorofila na coluna de água.

Dekshenieks et al., 2010



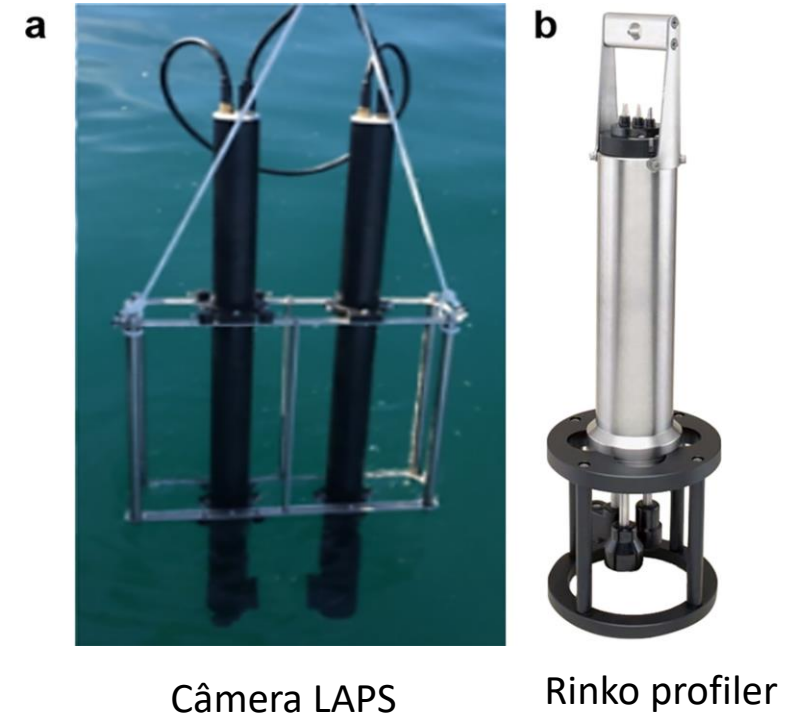
Durham & Stoecker, 2012

Camadas Finas - Ubatuba

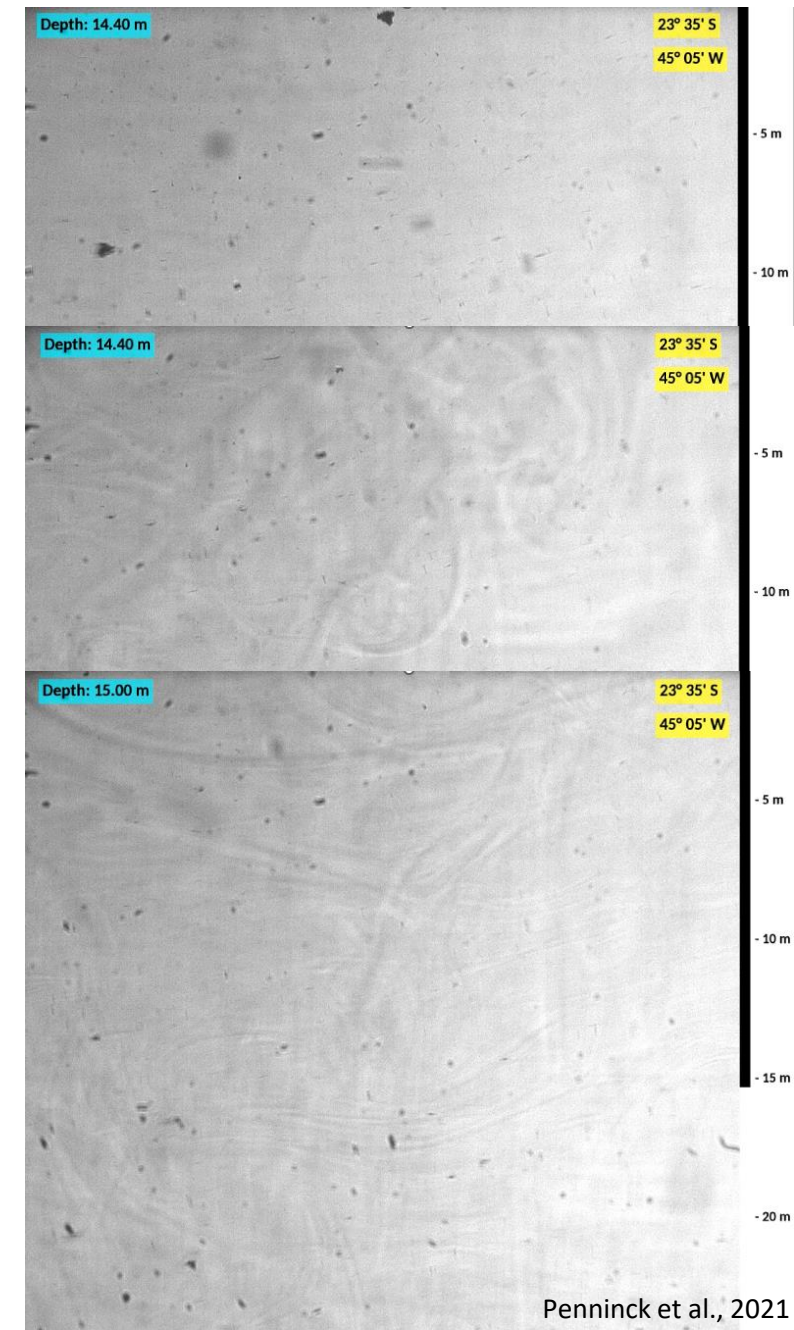
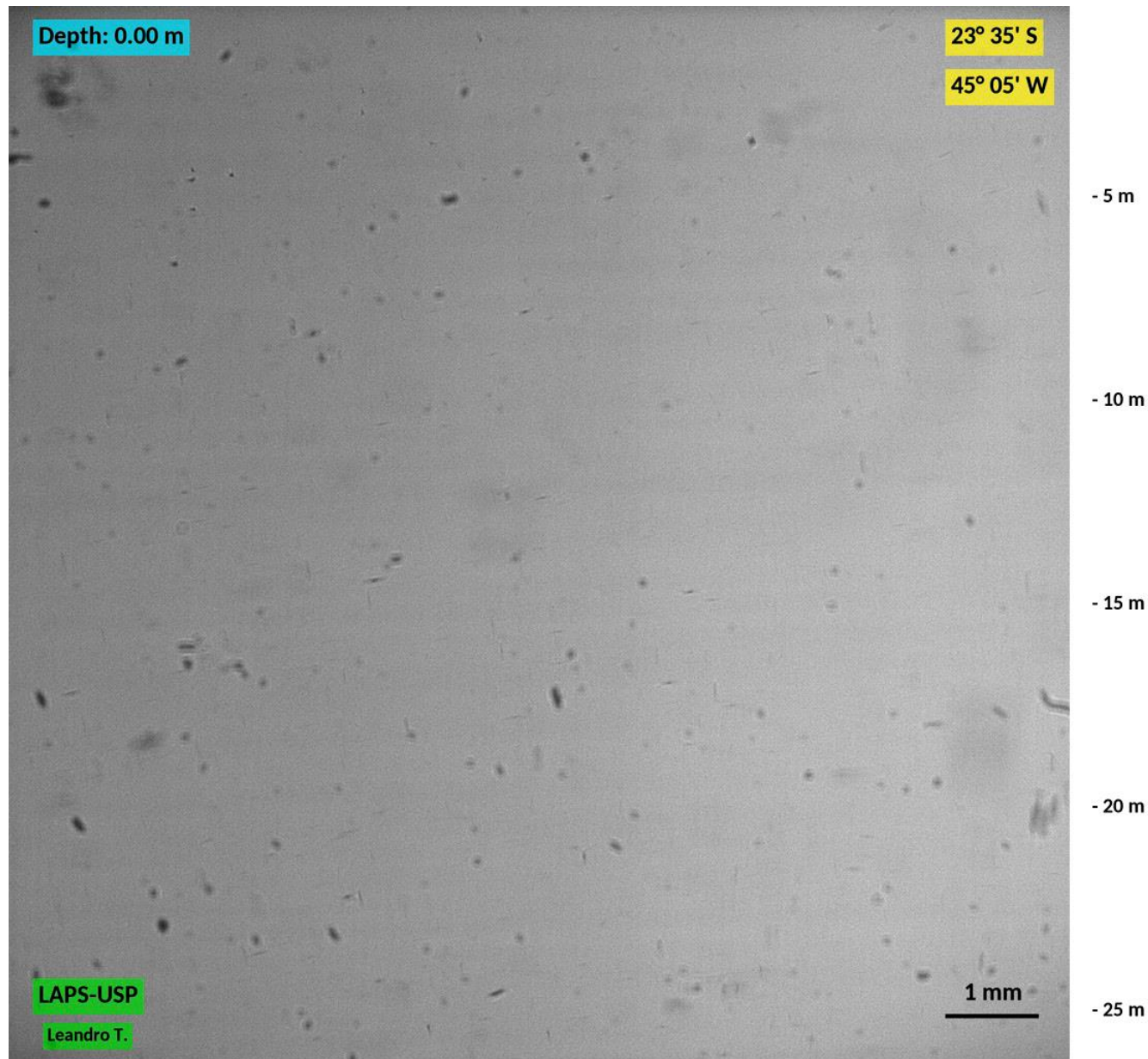


Thin layers in the coastal zone of Ubatuba, Brazil: Mechanisms of formation and dissipation

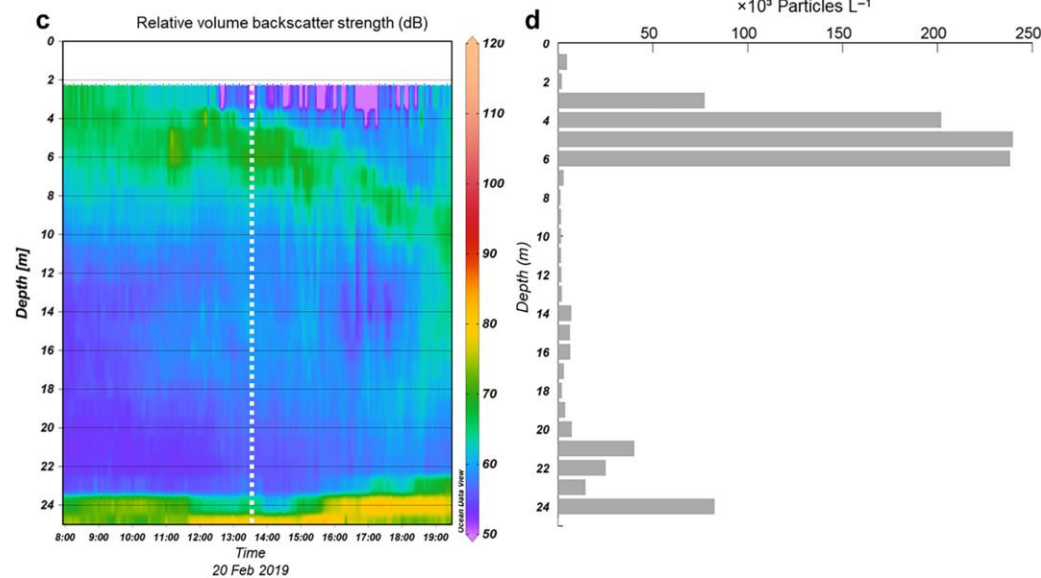
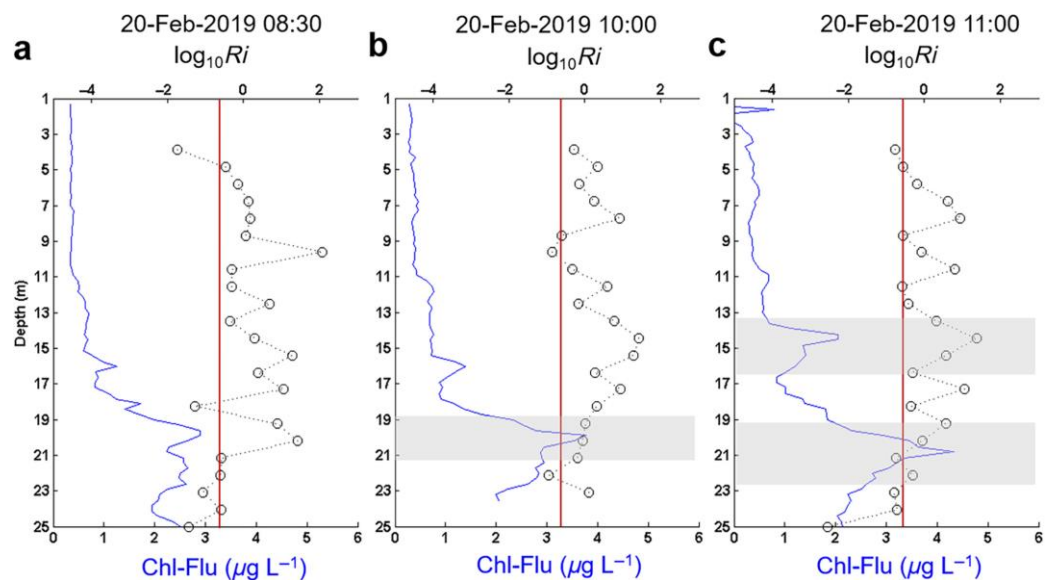
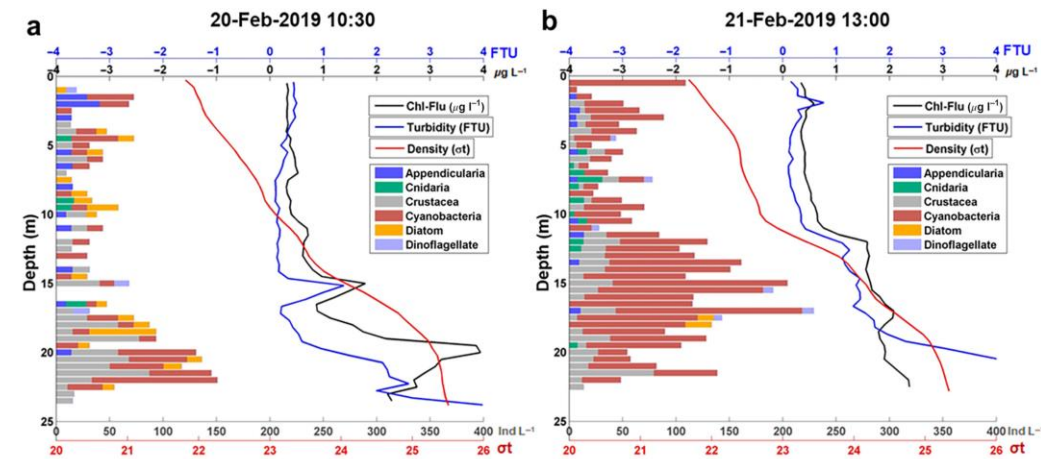
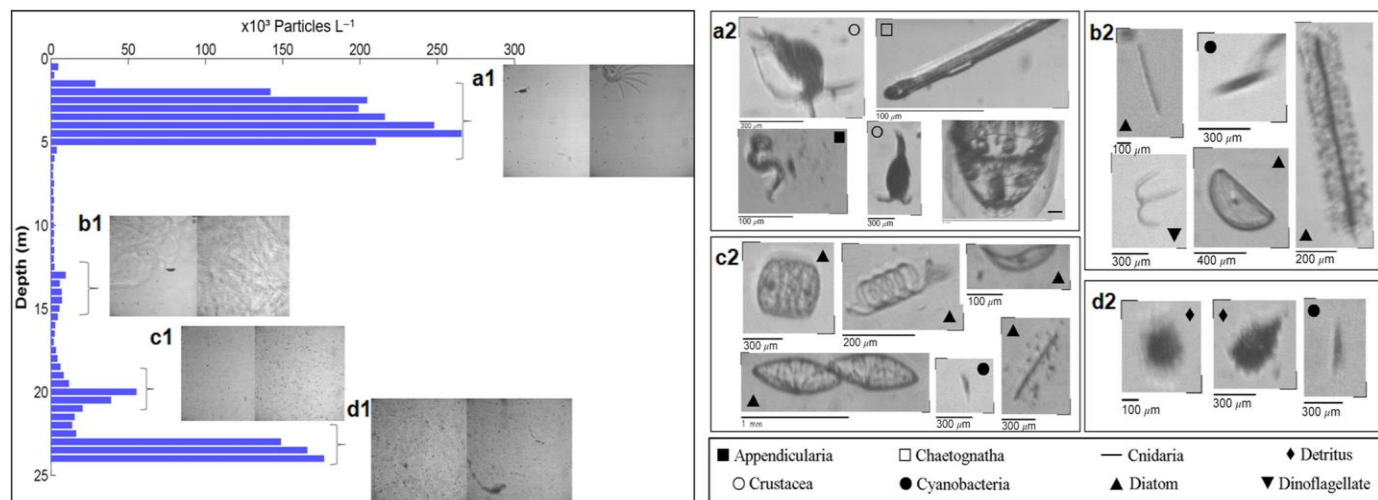
Silvana B. Penninck, Rubens M. Lopes, Josiane F. Lima, Margaret A. McManus
First published: 29 October 2020 | <https://doi.org/10.1002/lno.11623>



Perfilagem vertical - camadas finas - Ubatuba

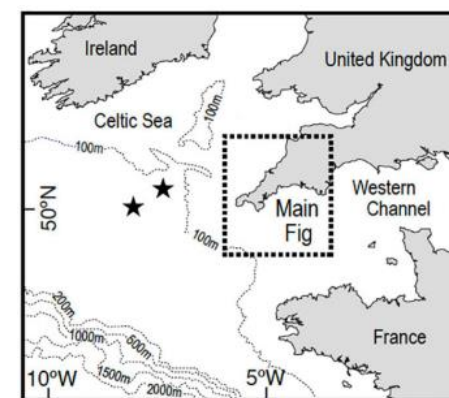
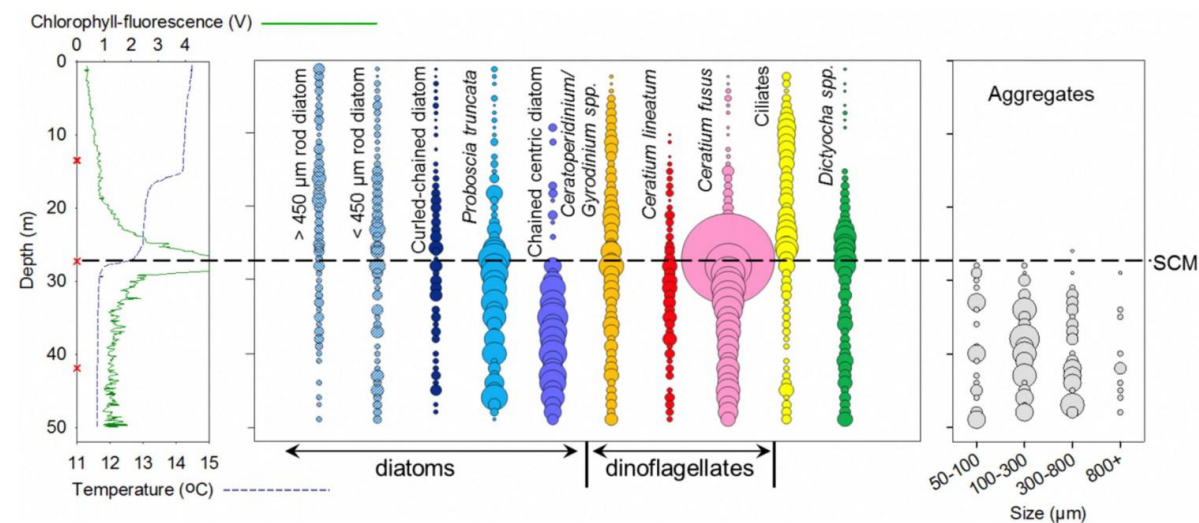
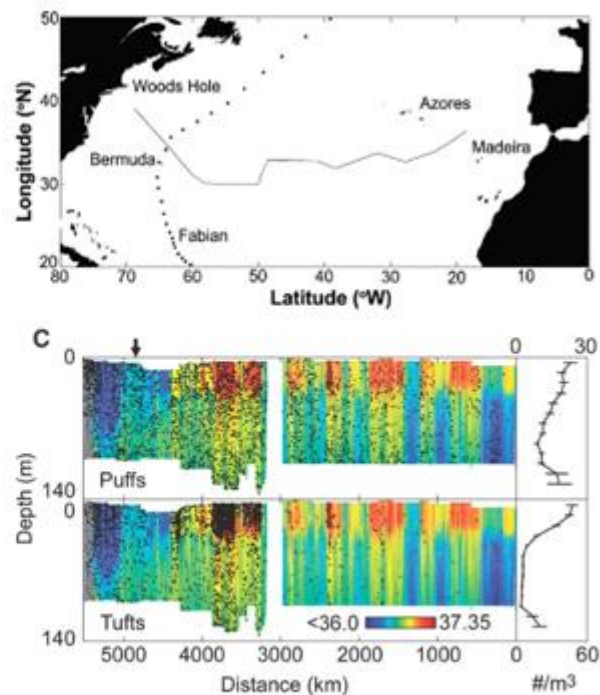
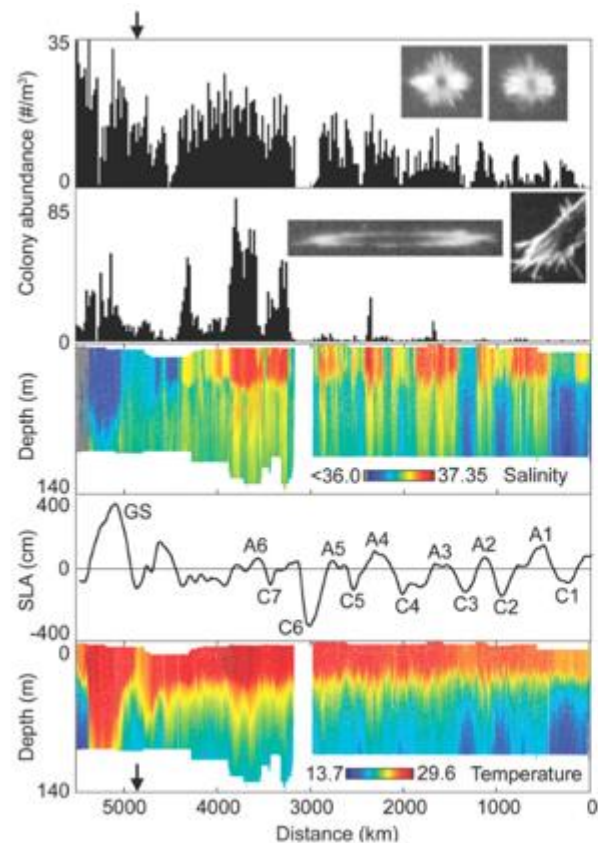


Camadas Finas - Ubatuba



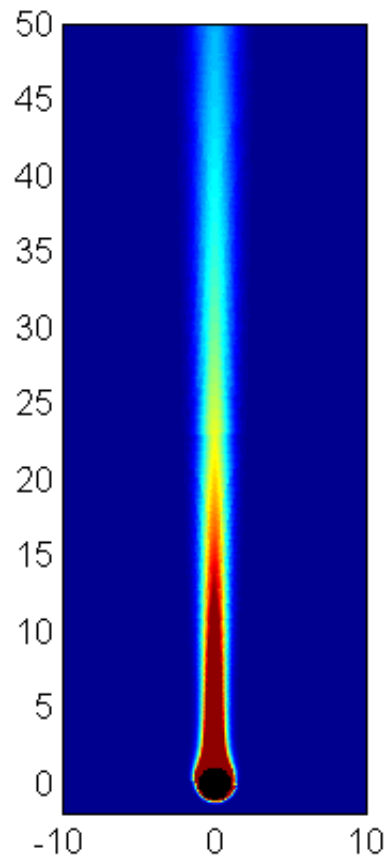
Considerações finais

É necessário “olharmos” com mais atenção no Brasil para as escalas de espaço e tempo em que os organismos planctônicos de fato interagem entre si e com o meio físico.

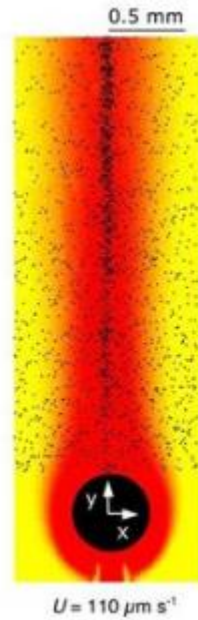


Barnet et al. 2022

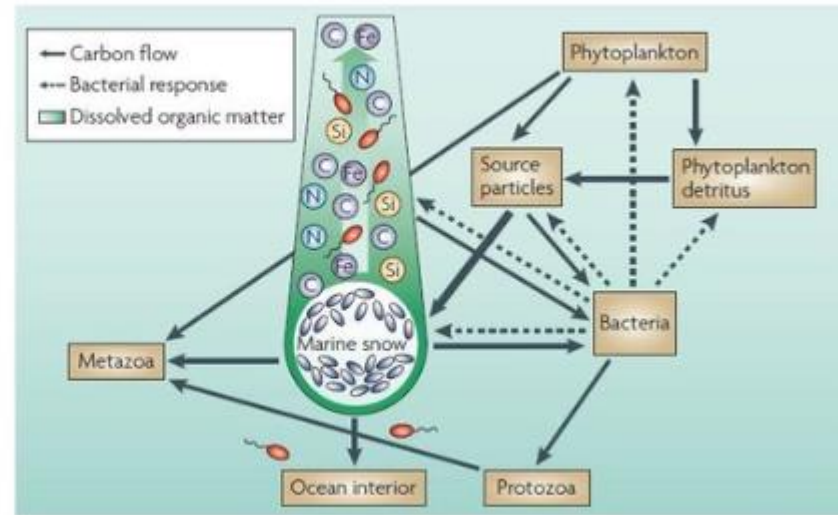
Gradientes espaciais e temporais ocorrem tanto em macro- quanto em microescala



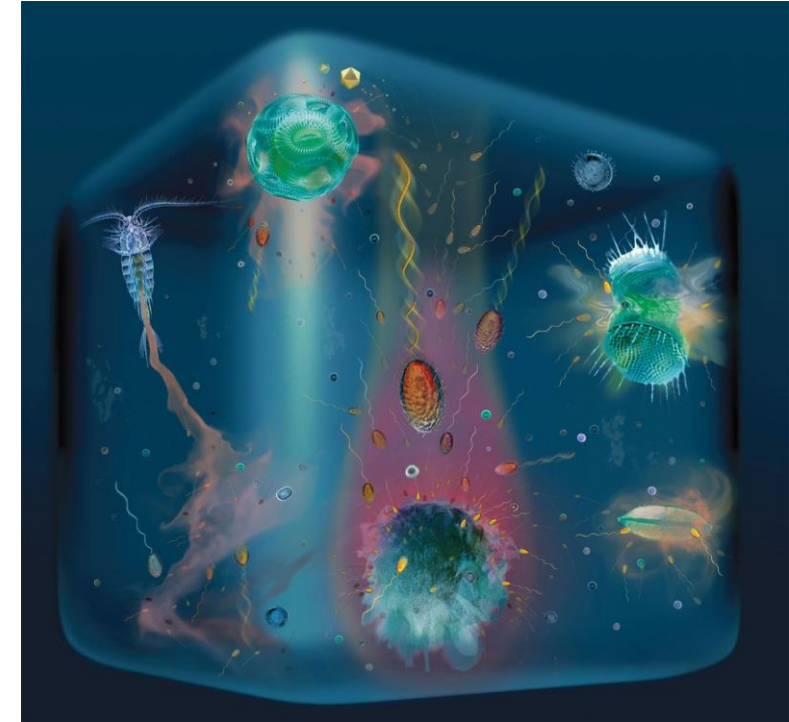
Kiorboe et al., 2001



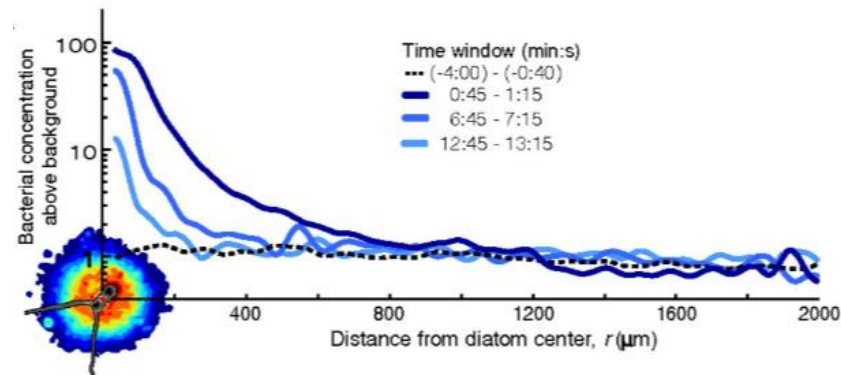
Stoecker et al., 2008



Azam et al., 2007



Stoecker, 2012



Smriga et al., 2016

Considerações finais

Ao contrário da **macro- e mesoescala**, os processos em **submesoescala e microescala** ainda são relativamente subestimados

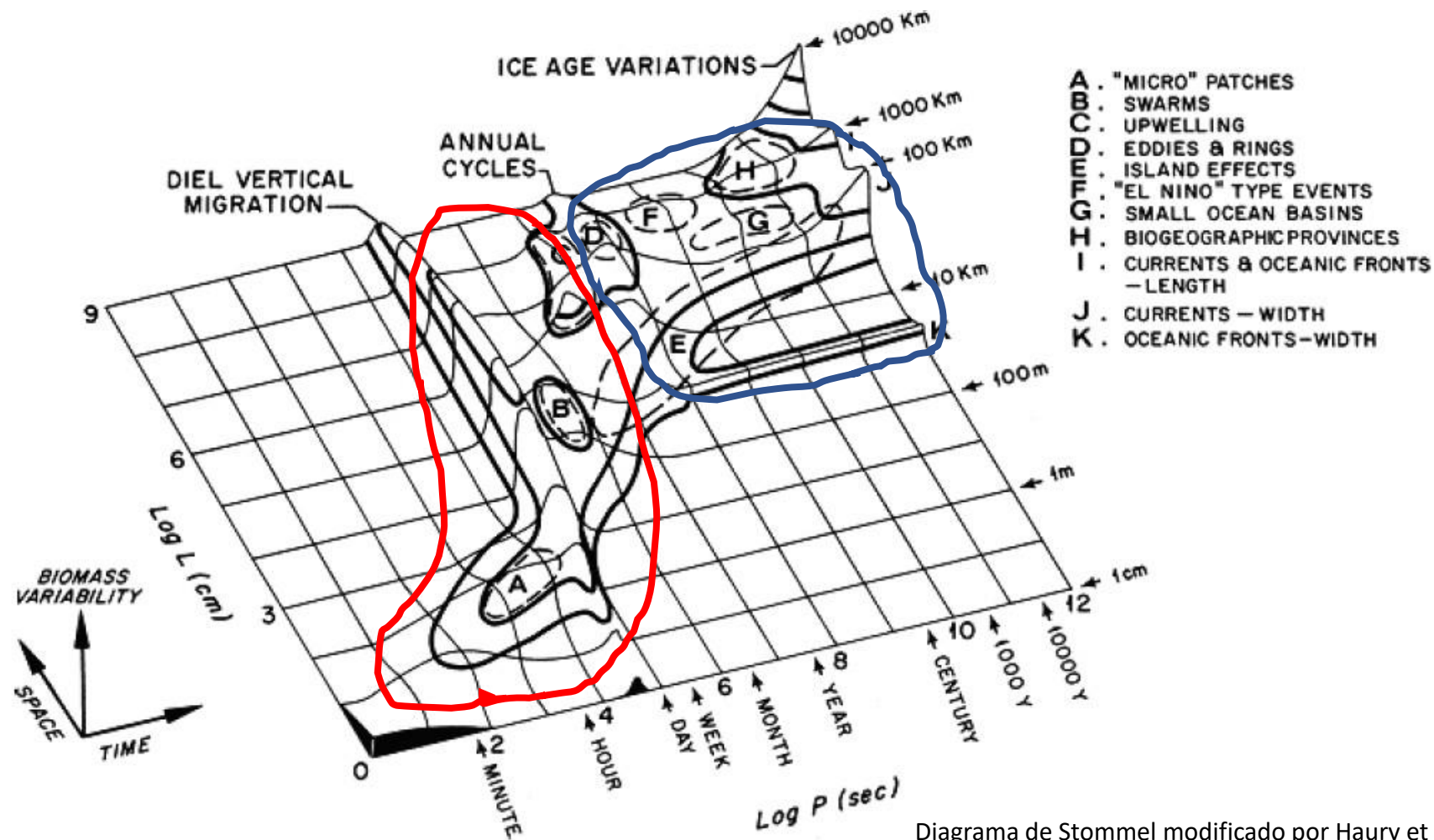


Diagrama de Stommel modificado por Haury et al., 1978.

Considerações finais

Quase 150 anos depois, continuamos fazendo as mesmas perguntas de Victor Hensen:

“Qual é a concentração, a composição e a variação temporal do plâncton marinho em um determinado local”?



Pioneers of plankton research: Victor Hensen (1835–1924) FREE

John R Dolan ✉

Journal of Plankton Research, Volume 43, Issue 4, July/August 2021, Pages 507–510,

<https://doi.org/10.1093/plankt/fbab045>

Published: 10 July 2021



Mas atingimos uma nova era da oceanografia biológica:

Da visão bidimensional em escala regional para a oceanografia em quatro dimensões, utilizando ferramentas que permitem “dissecar” os detalhes da vida planctônica nas escalas espaciais e temporais relevantes para a biologia das espécies e suas interações, inclusive com o meio físico e no contexto dos processos biogeoquímicos.

Cabe a nós agora conciliar as escalas fenomenológicas (microescala, mesoescala e macroescala)