

PARQUE ESTADUAL MARINHO
LAJE DE SANTOS

Foto: FF/PEMLS – José Edmilson de Araujo Mello Jr.



DIAGNÓSTICO

Governo do Estado de São Paulo

Marcio França – Governador

Secretaria do Meio Ambiente

Eduardo Trani – Secretário

Fundação para a Conservação e a Produção Florestal

Gerd Sparovek - Presidente

Rodrigo Levkovicz - Diretor Executivo

Carlos Zacchi Neto - Diretor Litoral Norte

Lafaiete Alarcon da Silva - Gerente Baixada Santista

Fernanda Lemes - Coordenadora do Núcleo Planos de Manejo

José Edmilson de Araújo Mello Jr. - Chefe da Unidade

Comitê de Integração dos Planos de Manejo

Eduardo Trani – Secretário do Meio Ambiente

Lúcia Bastos Ribeiro de Sena – Gabinete

Lie Shitara Schutzer - Gabinete

Gil Kuchembuck Scatena – CPLA

Cristina Maria do Amaral Azevedo – CPLA

Carolina Born Toffoli – CBRN

Marina Eduarte Pereira – CBRN

Beatriz Truffi Alves – CFA

Naiana Lanza Landucci – CFA

Alexsander Zamorano Antunes – IF

Elaine Aparecida Rodrigues – IF

Valéria Augusta Garcia – IBt

Maria de Fátima Scaf – IBt

Renato Tavares – IG

Rogério Rodrigues Ribeiro – IG

Fernanda Lemes de Santana – FF

Rodrigo Antonio Braga Moraes Victor – FF

Ana Cristina Pasini da Costa – CETESB

Iracy Xavier da Silva – CETESB



CRÉDITOS

FUNDAÇÃO FLORESTAL

Adriana de Arruda Bueno
Aleph Bönecker da Palma
Ana Paula Garcia de Oliveira
Anne Karoline de Oliveira
Bianca Dias Damazio
Carlos Zacchi Neto
Davi Henrique Souza Bavaro
Fernanda Lemes de Santana
José Edmilson de Araújo Mello Junior
Lafaiete Alarcon da Silva
Leandro Costa Nogueira
Marcos Hiroshi Okawa
Marília Britto Rodrigues de Moraes
Matheus Monteiro dos Santos
Mônica Doll Costa
Tatiana Yamauchi Ashino
Thais dos Santos Santana
Victor Del Mazo Quartier

INSTITUTO DE BOTANICA

Mutue Toyota Fujii
Nelson Antonio Leite Maciel

INSTITUTO FLORESTAL

Daniela Fessel Bertani
Marcos Buhrer Campolim

INSTITUTO GEOLÓGICO

Celia Regina de Goveia Souza

UNESP

Denis Abessa
Roberto Fioravanti Carelli Fontes

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE GABINETE

Lie Shitara Schutzer

COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Cristina Maria do Amaral Azevedo
Gil Scatena
Isadora Le Senechal Parada

COORDENADORIA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Rodrigo Machado
Simone Oliveira do Amaral

COORDENADORIA DE FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL

Beatriz Truffi Alves

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Iracy Xavier da Silva

CONSELHO GESTOR DO PARQUE ESTADUAL MARINHO LAJE DE SANTOS

BIÊNIO 2018-2020

**MAPEMLS- Monitoramento
Ambiental do Parque Estadual
Marinho da Laje de Santos**

MEIO FÍSICO

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA
ÁGUA**

Chiara Machado Vieira
Elisabete de Santis Braga
Gláucia Bueno Benedetti Berbel,
Natalia Cristina Garrido Andrade
Vitor Gonzalez Chiozzini

CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Roberto Fioravanti Carelli Fontes
Belmiro Mendes de Castro Filho

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE
SEDIMENTOS**

Denis Abessa
Thaisa Marques Vicente
Lucas Buruaem Moreira
Lucas Gonçalves Morais
Ana Carolina Feitosa Cruz
Mirella Massonetto
Bruno Galvão de Campos
Márcia Caruso Bicego
Satie Taniguchi
Marcos Antonio Hortellani
Jorge Eduardo de Souza Sarkis

Conteúdo

1.	INFORMAÇÕES GERAIS DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (UC).....	4
2.	MEIO ANTRÓPICO.....	4
3.	MEIO BIÓTICO	4
4.	MEIO FÍSICO	4
4.1.	QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA	4
4.2.	CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA	5
4.3.	QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS SEDIMENTOS	9
5.	LINHAS DE PESQUISA EM ANDAMENTO OU CONCLUÍDAS	10
6.	MARCOS LEGAIS: POLÍTICAS PÚBLICAS E LEGISLAÇÃO APLICADA	11
7.	ANÁLISE INTEGRADA	11
8.	ZONEAMENTO.....	11
9.	PROGRAMAS DE GESTÃO.....	11
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
11.	ANEXOS	13

1. INFORMAÇÕES GERAIS DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (UC)

2. MEIO ANTRÓPICO

3. MEIO BIÓTICO

4. MEIO FÍSICO

O presente diagnóstico teve como material base os dados do projeto MAPEMLS, Monitoramento Ambiental do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos, realizado entre 2013 e 2015. O projeto foi coordenado pela Fundação de Estudos e Pesquisa Aquáticas (FUNDESPA) e realizado por uma equipe de pesquisadores do Instituto Oceanográfico da USP, Universidade Estadual Paulista – campus São Vicente, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) - Campus Baixada Santista, Centro de Biologia Marinha (Cebimar) - Universidade de São Paulo, and Instituto Albatroz and Instituto de Pesca de Santos) (SANTOS, 2017).

Os documentos na íntegra encontram – se em Fundação Florestal, 2016. Parte desse diagnóstico foi publicado no periódico Brazilian Journal of Oceanography em um volume especial, 65(4), em 2017 e estão disponíveis no endereço eletrônico abaixo:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1679-875920170004&lng=en&nrm=iso

4.1. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

Um dos aspectos mais importantes em áreas marinhas protegidas diz respeito à qualidade das águas, o que em geral é avaliado por parâmetros físico-químicos, concentrações de elementos e substâncias químicas, e toxicidade. Com relação aos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos (BRAGA *et al.*, 2017a), estes permitem inicialmente avaliar a presença das diferentes massas de água que por sua vez podem influenciar no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, em especial a diversidade e a produtividade. Estudos realizados demonstraram a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) no parque marinho, durante os períodos de amostragem de primavera e verão (Fundação Florestal, 2016), por meio da ocorrência de baixas temperaturas (<17°C) associadas a valores de salinidade em torno de 35 no fundo da coluna de água, indicando uma característica termohalina típica. O oxigênio dissolvido apresentou valores elevados, com poucos dados abaixo de 4 ml de L-1 ocorrendo no fundo da coluna de água. O pH foi típico para valores marinhos (~ 8) .

Silicato e fosfato dissolvidos apresentaram valores elevados associados com a intrusão ACAS, escoamento continental e processos de ressuspensão de sedimentos, atingindo valores máximos de 15,86 e 1,23 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente. As formas inorgânicas nitrogenadas também foram associadas com um processo de fertilização natural pela presença do ACAS na parte inferior da coluna de água, como evidenciado pelas elevadas concentrações de nitrato (> 7,00 $\mu\text{mol L}^{-1}$), enquanto as concentrações de N-amoniaco (< 9,86 $\mu\text{mol L}^{-1}$) demonstraram a regeneração rápida da matéria orgânica, principalmente na zona eufótica. Entretanto, essa análise foi

influenciada por fatores climáticos, pois nos períodos de verão houve uma diferença anual, devido ao fato de janeiro de 2014 ter sido mais seco do que janeiro de 2015, o que influenciou a disponibilidade de alguns nutrientes e os padrões de distribuição de parâmetros hidroquímicos nesta região.

Os resultados das análises de nutrientes não demonstraram variações sazonais estatisticamente significativas para o Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e o Fósforo Orgânico Dissolvido (POD), todavia, tanto o COD quanto o Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD), apresentaram um pequeno aumento de suas concentrações no período de verão, mostrando o aumento da atividade biológica e a influência continental (BRAGA *et al.*, 2017b). Por outro lado, o NOD apresentou valores elevados em junho (2014 - inverno) e janeiro de 2015, variando de 12.51 a 32.76 $\mu\text{mol L}^{-1}$, segundo o método de análise ANOVA ($p < 0,01$). Foram observados baixos valores de NOD em janeiro de 2014 (0,32-8,98 $\mu\text{mol L}^{-1}$), em um verão anormalmente seco, enquanto que os valores mais elevados foram observados em julho de 2014 (27.50 $\mu\text{mol L}^{-1}$). Os níveis de ureia apresentaram-se baixos na região do PEMLS e zonas costeiras atingindo 4,00 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Muitas vezes, a concentração de ureia pode estar associada com atividade de mergulho no parque, ou pela degradação da ureia excretada no guano das aves marinhas por bactérias e fungos (LEE *et al.*, 2013; LEÓN *et al.*, 2016). COD, NOD e ureia apresentaram valores ou diferenças entre as estações no PEMLS (5-10) e aquelas mais costeiras (1-4). O COD nas estações costeiras atingiu 267 $\mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto que no PEMLS, o valor máximo foi de 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Nenhuma variação significativa foi observada quanto à distribuição espacial entre as estações costeiras e as do parque para o POD (ANOVA $p < 0,01$).

Quanto à toxicidade, uma pesquisa realizada em 2004 identificou uma amostra de água tóxica no PEMLS, porém sem identificar as causas (ABESSA *et al.*, 2004). Os autores sugeriram, à época, que óleo ou resíduos de embarcações poderiam ter causado tal toxicidade, sugerindo que mais estudos fossem realizados e que maior controle em relação às embarcações fosse estabelecido. Mais recentemente, grandes manchas de óleo foram fotografadas próximo à área do parque, mostrando que os navios fundeados ao largo da região (que inclui a APAMLC) podem constituir uma fonte potencial de poluição para o PEMLS.

Portanto, os resultados existentes, calcados nos estudos mais recentes sobre parâmetros hidrológicos e nutrientes, confirmam as condições preservadas da água do mar ao redor da Laje de Santos, caracterizada pela excelente qualidade da água. Os mesmos estudos concluem que, a região costeira próxima à Baía de Santos encontra-se eutrofizada, porém o impacto dessas águas sobre a região do PEMLS é mínimo. Porém, considerando-se a existência de fontes potenciais de contaminação, há consenso na literatura em apontar a necessidade de monitoramento da qualidade da água na região.

4.2. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Com o intuito de diagnosticar a circulação marinha no Parque Estadual Marinho da Laje de Santos (PEMLS), apresentamos uma breve descrição da circulação geral na Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE) e resultados obtidos do Projeto de Monitoramento MAPEMLS, extraídos de análise de séries temporais de correntes medidas no âmbito do referido projeto.

A Plataforma Continental de São Paulo (PCSP) é a parte central da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) sendo esta, definida como uma plataforma larga, com corrente de contorno oeste na quebra continental, segundo a classificação de LODER *et al.* (1998). No caso da PCSE, a corrente de contorno oeste é a Corrente do Brasil (CB), que flui principalmente sobre o talude continental ao longo da linha da quebra da plataforma continental, transportando Água Tropical (AT) na camada de mistura (0-150m, aproximadamente) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na camada de pycnoclina (150-500 m, aproximadamente). Plataformas desse tipo podem ser subdivididas regionalmente, na direção perpendicular à costa, em Plataforma Continental Interna (PCI), Plataforma Continental Média (PCM) e Plataforma Continental Externa (PCE).

As correntes na PCE da PCSP são altamente influenciadas tanto pelo fluxo médio quanto pela variabilidade de mesoescala da CB (CASTRO e MIRANDA, 1998; SOUZA, 2000; CASTRO *et al.*, submetido). Na PCI, mesmo na ausência de grandes rios, as descargas estuarinas geram gradientes de pressão que impulsionam correntes paralelas à costa para N-NE, deixando a costa à esquerda (CASTRO, 1996; MOREIRA, 1999; REZENDE, 2003; COELHO, 2008; MAZZINI, 2009) e, ainda, ocasionam o aparecimento de plumas estuarinas de pequena escala. Em toda largura da PCSP, principalmente na PCI e na PCE, os ventos sazonais (escala temporal anual) e sinóticos (escala temporal entre poucos dias e poucas semanas) forçam correntes que se alinham com as isóbatas e são bidirecionais, dependendo da direção do vento. Os ventos médios sazonais compõe o lado oeste do giro anticiclônico da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e, por isso, atingem a PCSP soprando de NE-E para SW-W. Tais ventos forçam correntes para S-SW, que deixam a costa à sua direita. Os sistemas meteorológicos frontais (frentes frias) são os principais responsáveis pela variabilidade sinótica do campo de ventos sobre a PCSP. Esses sistemas têm origem no sul do continente e deslocam-se para NW-NE ao longo da PCSE, trazendo ventos que sopram de S-SW para N-NE sobre a PCSP. A resposta da PCSP a esses ventos sinóticos ocorre na forma de correntes que fluem para N-NE, deixando a costa à esquerda (CASTRO, 1996; DOTTORI e CASTRO, 2009).

Na escala dos movimentos de curto períodos (supra-inerciais), as marés na larga PCSP ocorrem essencialmente como respostas co-oscilantes às marés do oceano profundo adjacente (PEREIRA *et al.*, 2007). As correntes de maré típicas na PCSP têm intensidades da ordem de centímetros por segundo enquanto que as correntes forçadas pelo vento têm intensidades da ordem de dezenas de centímetros por segundo.

De acordo com a regionalização proposta por Castro (1996, 2014) para a PCSP, o PEMLS está situado na PCI (PCI-SP), principalmente durante o outono e o inverno, podendo ficar na PCM (PCM-SP) durante o verão e a primavera. Essa regionalização considera os processos hidrotermodinâmicos atuantes e não está associada a acidentes geomorfológicos. Conseqüentemente, segundo os trabalhos anteriormente citados, as correntes no PEMLS são prevalentemente paralelas à costa, bidirecionais, forçadas principalmente pelos ventos sazonais e sinóticos, deixando a costa à direita no primeiro caso e à esquerda no segundo. As correntes de maré têm menos energia cinética do que aquelas geradas pelo vento e ocorrem principalmente

na direção perpendicular à costa. A influência dinâmica da CB no PEMLS deve ser praticamente inexistente. Também, as águas marinhas que banham o PEMLS são resultantes da mistura das já mencionadas AT, caracterizada por alta salinidade ($S > 36$) e ACAS, caracterizada por baixas temperaturas ($T < 18^{\circ}\text{C}$), e ainda da Água Costeira, que possui tipicamente baixas salinidades (CASTRO, 1996; AMOR, 2004; CERDA e CASTRO, 2014; CASTRO, 2014). As intrusões subsuperficiais da ACAS em direção à costa da PCSP são comuns no verão e na primavera. Nessas estações, a massa de água posiciona-se mais próxima da costa e em contato com o fundo, ocasionando o aparecimento de uma aguda termoclina sazonal na região do PEMLS. Durante o inverno e o outono, a ACAS afasta-se da costa, praticamente suprimindo a estratificação vertical de massa.

Os dados correntográficos analisados foram coletados em fundeios de perfilador acústico de correntes (ADP), instalados a 39 m de profundidade. As componentes do vetor velocidade são designadas por u (quase perpendiculares à isóbata local, $u > 0$ apontando para o largo) e v (quase paralelas à isóbata, $v > 0$ apontando para a esquerda de $u > 0$). De forma geral, essas componentes de velocidade u e v serão denominadas componentes perpendiculares e componentes paralelas, respectivamente. É importante notar que nos pontos dos fundeios as isóbatas de 30 m e de 40 m desenvolvem-se localmente, em pequena escala, aproximadamente na direção N-S, principalmente em LS1 (**APÊNDICE 4.1.A.**), diferentemente da característica de larga escala da PCSP, em que as isóbatas apresentam posicionamento geral na direção NE-SW (**APÊNDICE 4.1.A.**).

Não encontramos dados meteorológicos observacionais locais amostrados sobre a PCSP disponíveis para análise. Utilizamos, então, séries de ventos superficiais fornecidas pelo NCEP/DOE Reanalysis-2 (KANAMITSU *et al.*, 2002). Estes dados têm intervalo amostral de 6 h e resolução espacial original de $2,125^{\circ}$, tendo sido interpolados para cada $0,5^{\circ}$. A localização do ponto do NCEP/DOE utilizado está indicada no mapa do **APÊNDICE 4.1.A.** Analisamos a série de tempo de ventos com extensão de 29/08/2013 a 11/06/2016, segmentada de acordo com o comprimento das séries de tempo correntográficas obtidas em LS1 e em LS2. Desde que os ventos sinóticos têm escala espacial muito maior do que os efeitos batimétricos locais que ocorrem nos pontos LS1 e LS2, o vetor velocidade do vento foi decomposto na direção de máxima variância obtida por Mazzini (2009) quando da análise de dados meteorológicos coletados na Laje de Santos: 54° a partir do norte geográfico, também no sentido horário.

As correntes medidas em LS1 (exemplo no **APÊNDICE 4.1.B.**) e LS2 (exemplo no **APÊNDICE 4.1.C.**) apresentam, visualmente, comportamento essencialmente barotrópico, isto é, o cisalhamento vertical do vetor velocidade é pequeno: as intensidades e as direções dos vetores pouco variam na direção vertical, ao longo da coluna de água.

As tabelas no **APÊNDICE 4.1.D.** são apresentados momentos estatísticos estimados para medições próximas à superfície, à meia água e próximas ao fundo. As médias de ambas componentes de corrente em LS1 e LS2 são pequenas em comparação com os valores extremos medidos. Essas diferenças, associadas ainda aos relativamente grandes desvios padrões das médias, indicam a alta variabilidade temporal das duas componente de

velocidade. Em LS1, as correntes médias perpendiculares são convergentes à costa e, em LS2, são divergentes. Por outro lado, para as correntes paralelas às isóbatas (Tabela do **APÊNDICE 4.1.D.(b)**), embora a média também seja pequena comparativamente ao desvio padrão, há preferência em todos os níveis e nos dois pontos de medição para o sentido que deixa as isóbatas à esquerda. Essas diferenças entre as duas componentes de velocidade, aliadas ao fato que, em geral, os valores extremos e os desvios padrões são maiores em módulo para as componentes paralelas do que para as componentes perpendiculares, sugerem que a advecção média medida ocorre preferencialmente na direção quase paralela à costa, mas com sinal de convergência à costa em LS1 e de divergência em LS2.

As características gerais das correntes em LS1 confirmam o maior número de eventos para correntes que deixam a isóbata à esquerda e que são convergentes à costa (**APÊNDICE 4.1.E.**). As correntes para SE-S, que deixam a costa à direita, também são frequentes em LS1. EM LS2 as correntes também exibem grande polarização na direção paralela à costa, embora apresentando características mais comuns de divergência da costa (**APÊNDICE 4.1.F.**). Em geral os **APÊNDICES 4.1.E e F** comprovam que a advecção, tanto em LS1 quanto em LS2, é essencialmente paralela às isóbatas locais.

A energia relativa contida nas oscilações subinerciais e suprineriais pode ser mais bem comparada pela estimativa do espectro de energia, como fizemos para as séries correntográficas coletadas aproximadamente à meia água, em posição intermediária entre a superfície e o fundo (**APÊNDICE 4.1.G e H.**). Essas figuras confirmam que em LS1 e LS2, na banda subinercial, as componentes paralelas contêm mais energia do que as componentes perpendiculares. Nessa banda, as maiores energias aparecem na faixa de frequências entre 0,004 a 0,007 cph, correspondendo a períodos entre 6 e 10 dias. As frequências associadas às marés semidiurnas (frequência de aproximadamente 0,08 cph) são as mais energéticas para as componentes paralelas do vetor velocidade na banda suprinerial (**APÊNDICE 4.1.G e H.**). Verifica-se, também, acúmulo de energia em torno da frequência de 0,04 cph, faixa das marés diurnas, principalmente para as componentes paralelas às isóbatas. Como as séries de tempo analisadas são longas, foi possível separar espectralmente a maré diurna, com frequências maiores ou iguais a 0,04 cph, das oscilações inerciais, que têm frequências entre 0,03 e 0,04 cph, correspondendo a períodos próximos a 28 h.

Principalmente em plataformas continentais largas, como a PCSP, a variabilidade subinercial das correntes é, em geral, forçada pelas oscilações sinóticas da tensão de cisalhamento superficial. Essa tensão é proporcional ao quadrado da velocidade do vento. O histograma direcional para a velocidade do vento durante o período de medições (**APÊNDICE 4.1.I.**) mostra claramente a predominância de ventos de leste (que sopram para oeste), correspondentes às épocas em que há influência preponderante da ASAS, na ausência de frentes frias.

A região do PEMLS, onde foram instalados os fundeios LS1 e LS2, está situada numa plataforma continental larga (PCSP) que contém uma corrente de limite oeste na sua borda. Plataformas continentais desse tipo foram classificadas e discutidas por Loder *et al.* (1998). Nelas, em geral, a corrente de

limite oeste, que é a Corrente do Brasil (CB) no caso da PCSP, tem forte influência na parte externa da plataforma continental, transferindo energia mecânica para as correntes e trocando massas de água com a plataforma continental. Nas partes internas e médias dessas plataformas continentais, onde está situado o PEMLS, entretanto, a influência hidrodinâmica das correntes de limite oeste é geralmente pequena. Nessas duas últimas regiões predominam as respostas da plataforma continental às forças tensão de cisalhamento do vento, marés e descarga fluvial.

Os resultados obtidos para as correntes em LS1 e em LS2 confirmam a adequação da classificação de Loder *et al.* (1998) para a região. As correntes subinerciais explicam mais de 70% da variância observada na direção paralela e menos de 50% na direção perpendicular. Isto é, LS1 e LS2, situados na PCI, exibem respostas típicas para plataformas continentais largas às forças ventos e marés: a variabilidade sinótica dos ventos força oscilações subinerciais das correntes na direção paralela e a cooscilação das marés domina as correntes na direção perpendicular. Esse comportamento contrastante entre as duas componentes do vetor velocidade foi também observado por diversos autores na PCI em pontos próximos ao PEMLS: Moreira (1999) ao largo da Praia Grande, Mazzini (2009) ao largo de Peruíbe, de Santos e da Ilha Montão de Trigo e Castro (1996) ao largo de Ubatuba. A alta variabilidade temporal das correntes subinerciais paralelas, com preferência para aquelas que deixam a isóbata à esquerda, com períodos típicos entre 6 e dias, foi observada também pelos autores já citados (Moreira, 1999; Mazzini, 2009). A preponderância das correntes de maré semidiurnas em ambas as direções, embora com maior energia na direção perpendicular, foi observada anteriormente por Pereira *et al.* (2007) e por Ruffato (2007) quando da análise de dados correntográficos coletados na PCI da PCSP.

As correntes subinerciais, essencialmente paralelas às isóbatas, são forçadas pelos ventos sinóticos. Essa resposta, característica de áreas internas de plataformas continentais largas, foi observada anteriormente em outros pontos da PCSP (CASTRO, 1990; DOTTORI e CASTRO, 2009; MAZZINI, 2009).

Em síntese,

- 1) A região do PEMLS comporta-se hidrodinamicamente segundo a classificação de Loder *et al.* (1998) para áreas internas e médias de plataformas continentais largas;
- 2) As correntes subinerciais são essencialmente paralelas à costa, forçadas pelo vento sinótico, bidirecionais mas, com maior frequência, orientadas no sentido em que a isóbata situa-se à esquerda do movimento. Esse sentido, projetado numa escala geográfica maior do que a dos acidentes topográficos existentes em LS1 e LS2 é de SW para NE;
- 3) As correntes de maré, suprainerciais, são mais energéticas na direção perpendicular à isóbata, com predomínio das componentes semidiurnas M_2 e S_2 .

4.3. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS SEDIMENTOS

Em relação aos sedimentos do PEMLS e de outras duas áreas marinhas protegidas próximas (Parque Estadual Xixová-Japuí– PEXJ; Área de Proteção Ambiental Litoral Centro APAMLC), todas na porção da costa central de São

Paulo, foi avaliada a presença de alguns grupos de contaminantes (metais e hidrocarbonetos) e toxicidade sobre invertebrados marinhos. Os métodos estão descritos em Fundação Florestal, 2016 e Abessa *et al.*, 2017.

Os sedimentos nessas áreas são arenosos, exceto no ponto próximo à Ilha da Moela (P2, dentro da APAMLC), onde o substrato é lamoso. As quantidades de COT, MO e CaCO₃ são variáveis, embora próximo das ilhas e parciais mais afastados (caso do PEMLS) os níveis de CaCO₃ sejam em geral bem mais altos, o que é explicado pela deposição de fragmentos de bivalves, tubos de poliquetos e colônias fragmentadas de algas e invertebrados marinhos, inclusive rodólitos e corais.

A maioria dos sedimentos apresentou baixas concentrações de metais (exceto aqueles de P2 – Ilha da Moela, na APAMLC), de acordo com alguns índices aplicados, tais como Índice Geoquímico (Igeo) e Fatores de Enriquecimento (FE). No ponto P1, localizado no PEXJ, níveis moderados de metais ocorreram ocasionalmente, como resultado de fontes próximas, como áreas urbanas ou semi-urbanizadas e emissários de esgoto. Em P2, os sedimentos apresentaram maiores concentrações de hidrocarbonetos. Nos sedimentos dos pontos P7 e P9, já dentro do perímetro do PEMLS, eventualmente observou-se presença de hidrocarbonetos petrogênicos, ainda que em baixas concentrações. Nos sedimentos de P3 (Parcelo Dom Pedro II, dentro da APAMLC) e P5-P10 (região do PEMLS), os níveis de metais podem ser considerados como “background”. Em P1 (PEXJ), e especialmente em P2 (Ilha da Moela, APAMLC), os dados indicaram baixa qualidade de sedimentos, possivelmente devido às fontes antrópicas.

Quanto à toxicidade, tanto informações pretéritas (GOBBATO, 2012) quanto recentes (ABESSA *et al.*, 2017) indicam que os testes realizados com sedimento do PEMLS provocaram aumento da mortalidade de microcrustáceos da espécie *Tiburonella viscana* (Amphipoda), em especial devido à textura grosseira e rica em CaCO₃ em alguns pontos de coleta. Da mesma forma, ensaios de toxicidade com embriões de ouriço do mar *L. variegatus* indicaram efeitos sobre o desenvolvimento embrionário em algumas amostras, sendo tais efeitos atribuídos aos níveis naturais de amônia. No PEXJ (P1) e na Ilha da Moela, localizada dentro da APAMLC (P2) efeitos tóxicos mostraram correlação com os níveis de contaminação, distinguindo as condições ambientais desses dois pontos daquelas observadas no PEMLS e no Parcel Dom Pedro II.

Os dados existentes indicam boas condições na região doo PEMLS, porém a existência de pulsos de hidrocarbonetos nos pontos P7 e P9 sugerem a ação de alguma fonte para estes compostos. Registros recentes de grandes manchas de óleo em zonas próximas ao PEMLS e à APAMLC têm sido feitos por embarcações de mergulho, alertando para a possibilidade dos navios fundeados ao largo representarem uma fonte de poluição para o parque. Eventuais vazamentos de óleo, a partir de embarcações de pesca e de turismo que se aproximam da Laje de Santos também podem constituir fontes passíveis de monitoramento, visando manter as boas condições ambientais da região.

5. LINHAS DE PESQUISA EM ANDAMENTO OU CONCLUÍDAS

6. MARCOS LEGAIS: POLÍTICAS PÚBLICAS E LEGISLAÇÃO APLICADA

7. ANALISE INTEGRADA

8. ZONEAMENTO

9. PROGRAMAS DE GESTÃO

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEIO FÍSICO

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Projeto MAPEMLS - Monitoramento Ambiental do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos. 2016.

SANTOS, M.C.O. 2017. Editorial. Braz. j. oceanogr. vol.65 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592017065ed1>.

QUALIDADE FÍSICO QUÍMICA DA ÁGUA

ABESSA, D.M.S.; PEREIRA, C.D.S.; MACHADO, M.B. 2004. Toxicidade de água coletada na região do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos: dados preliminares. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, (18-21 Jul), Santos, SP, CD-Rom, pp. 202-204.

BRAGA, E.S., CHIOZZINI, V. G. & VIEIRA, C.M. 2017a. Seasonal variation of nutrients and hydrological conditions in the State Marine Park of Laje de Santos (SMPLS) and adjacent continental shelf areas (South Atlantic Ocean - Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(4):628-643. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592017136806504>

BRAGA, E.S., BERBEL, G.B.B., CHIOZZINI, V. G. & ANDRADE, N.C.G. 2017b. Dissolved organic nutrients (C, N, P) in seawater on the continental shelf in the Southwestern South Atlantic with emphasis State Marine Park of Laje de Santos (SMPLS) - São Paulo – Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(4): 614-627. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592017136506504>.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. Projeto MAPEMLS - Monitoramento Ambiental do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos. 2016.

LEE, I.R.; YANG, L.; SEBETSO, G.; ALLEN, R.; DOAN, T.H.; BLUNDELL, R.; LUI, E.Y.; MORROW, C.A.; FRASER, J.A. 2013. Characterization of the complete uric acid degradation pathway in the fungal pathogen *Cryptococcus neoformans*. *PLoS One*. 8(5): e64292. doi: 10.1371/journal.pone.0064292.

LEÓN, A.V.; SANCHEZ-FLORES, A.; ROSENBLUETH, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. 2016. Fungal Community Associated with *Dactylopius* (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) and Its Role in Uric Acid

CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA

- AMOR, C.C., 2004. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul sobre a plataforma continental situada entre a Ilha de São Sebastião (SP) e o Cabo de São Tomé (RJ). *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 254 p.
- CASTRO, B.M., 1996. Correntes e massas de água na Plataforma Continental de São Paulo. *Tese de Livre-Docência*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 248 p.
- CASTRO, B.M., 2014. Summer/winter stratification variability in the central part of the South Brazil Bight. *Cont. Shelf Res.*, 89: 15-23.
- CASTRO, B.M., L.B. MIRANDA, 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located Between 4°N and 34°S. In: *The Sea*, Vol. 11, A.R. Robinson & K.H. Brink (Eds.), John Wiley, New York, pp. 209-251.
- CASTRO, B.M., A.F. PEREIRA, M. DOTTORI, G.C.A. PASCHOAL, A. DE CAROLI, I.C.A. SILVEIRA, C.C. AMOR, *submetido*. Correntes e massas de água na Plataforma Continental da Bacia de Santos. Submetido à PETROBRAS.
- CERDA, C., B.M. CASTRO, 2014. Hydrographic climatology of South Brazil Bight shelf Waters between São Sebastião (24°S) and Cabo São Tomé (22°S). *Cont. Shelf Res.*, 89: 5-14.
- COELHO, A.L., 2007. Resposta da plataforma continental sudeste a ventos sazonais e sinóticos de verão: estudos numéricos. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 188 p.
- DOTTORI, M., B.M. CASTRO, 2009. The response of the Sao Paulo continental shelf, Brazil, to synoptic winds. *Ocean Dynamics*, 59: 603-614.
- KANAMITSU, M., W. EBISUZAKI, J. WOOLLEN, S. YANG, J.J. HNILO, M. FIORINO, G.L. POTTER, 2002. NCEP/DOE AMIP-II reanalysis (R-2), *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 83, pp. 1631-1643.
- KUNDU, P.K., 1976. Ekman veering observed near the ocean bottom. *J. Phys. Oceanogr.*, 6: 238-242.
- LODER, J.W., W.C. BOICOURT, J.H. SIMPSON, 1998. Western ocean boundary shelves: Coastal segment (W). In: *The Sea*, A.R. Robinson & K.H. Brink (Eds.), John Wiley, New York, pp. 3-27.
- MAZZINI, P.L.F., 2009. Correntes subinerciais na plataforma continental interna entre Peruíbe e São Sebastião: observações. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 112 p.
- MOREIRA, M.H.R., 1999. Circulação na plataforma interna do litoral norte do Estado de São Paulo. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 153 p.

- PEREIRA, A.F., B.M. CASTRO, L. CALADO, I.C.A. SILVEIRA, 2007. Numerical simulation of M_2 internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. *J. Geophys. Res.*, 112: C04009, doi:10.1029/2006JC003673.
- REZENDE, J.H.M., 2003. Intrusão da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste durante o verão. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 120 p.
- RUFFATO, D.G., 2007. Marés barotrópica e baroclínica na porção norte da plataforma continental sudeste. *Monografia de Bacharelado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 109 p.
- SOUZA, M.C.A., 2000. A Corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 169 p.
- WALTERS, R.A., C. HESTON, 1982. Removing the tidal-period variations from time-series data using low-pass digital filters. *J. Phys. Ocean.*, 12: 112-115.

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS SEDIMENTOS

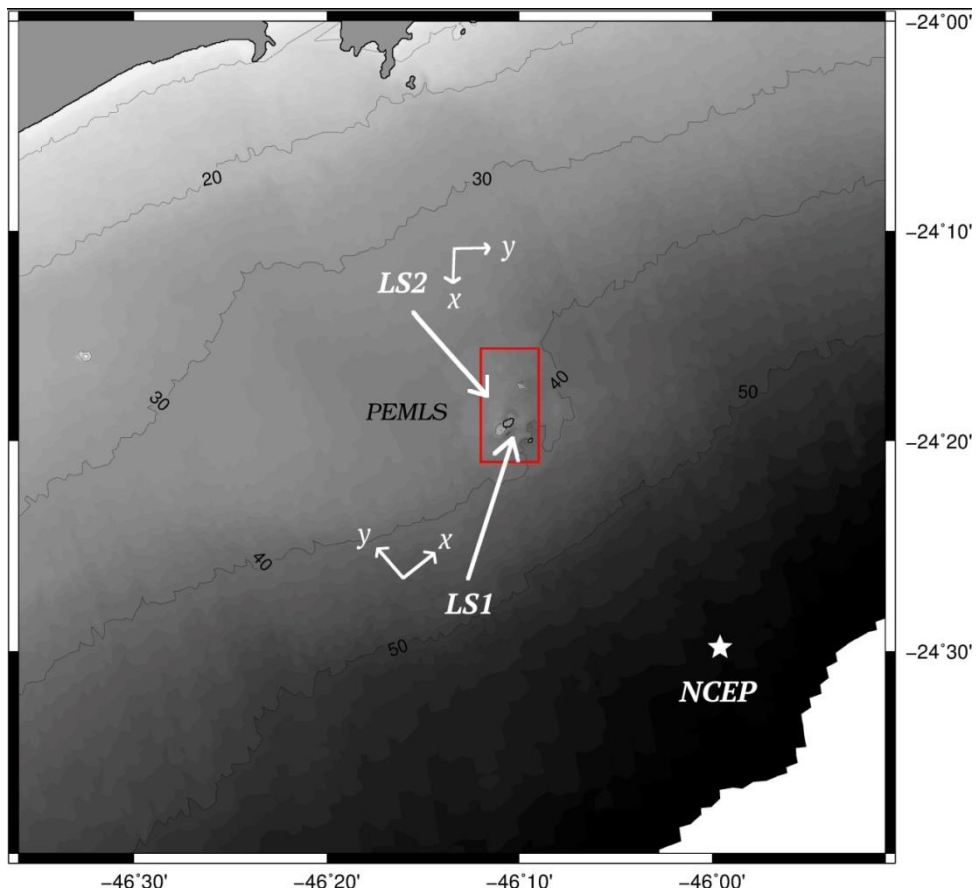
- ABESSA, D.M.S.; VICENTE, T.M.; MOREIRA, L.B.; MORAIS, L.G.; CRUZ, A.C.F.; MASSONETTO, M.; CAMPOS, B.G.; BÍCEGO, M.C.; TANIGUCHI, S.; HORTELLANI, M.A.; SARKIS, J.E.S. 2017. Assessing the sediment quality of the Laje de Santos marine state park and other marine protected areas of the central coast of São Paulo (Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(4): 532-548. <https://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592017128606504>
- FUNDAÇÃO FLORESTAL. Projeto MAPEMLS - Monitoramento Ambiental do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos. 2016.
- GOBBATO, G.M. 2012. Avaliação do gradiente de contaminação por elementos metálicos e hidrocarbonetos nos sedimentos desde a zona costeira do sistema estuarino de Santos e São Vicente até o Parque Estadual Marinho da Laje de Santos. *Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. 156p.*
- MOREIRA, L.B.; VICENTE, T.M.; TANIGUCHI, S.; HORTELLANI, M.A.; SARKIS, J.E.S.; BÍCEGO, M.C.; ABESSA, D.M.S. 2017. Monitoring the levels of metals and hydrocarbons in sediments of Marine Protected Areas from the central coast of São Paulo. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(4): 549-563. <https://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592017128806504>

11. ANEXOS

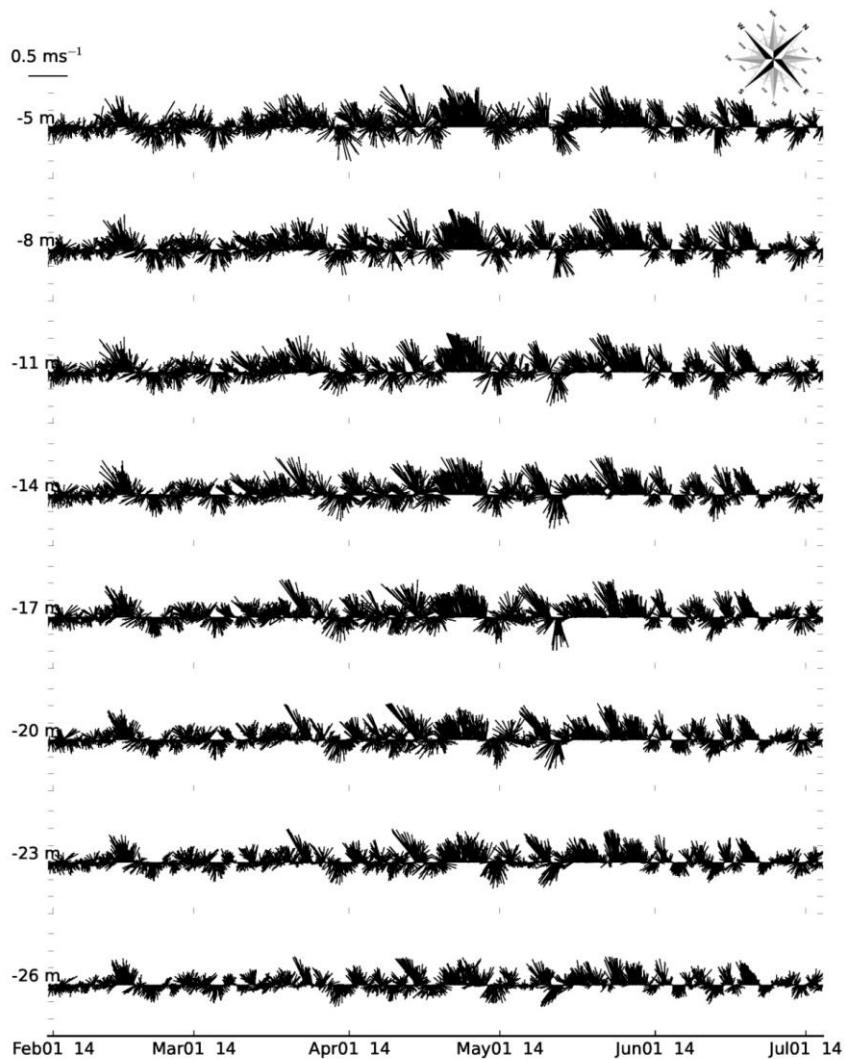
ANEXO IV – MEIO FÍSICO

APÊNDICE 4.1.A. Mapa batimétrico da região em torno das posições de fundeio LS1 e LS2. As isóbatas de 30 m e de 40 m aparecem em destaque. Os

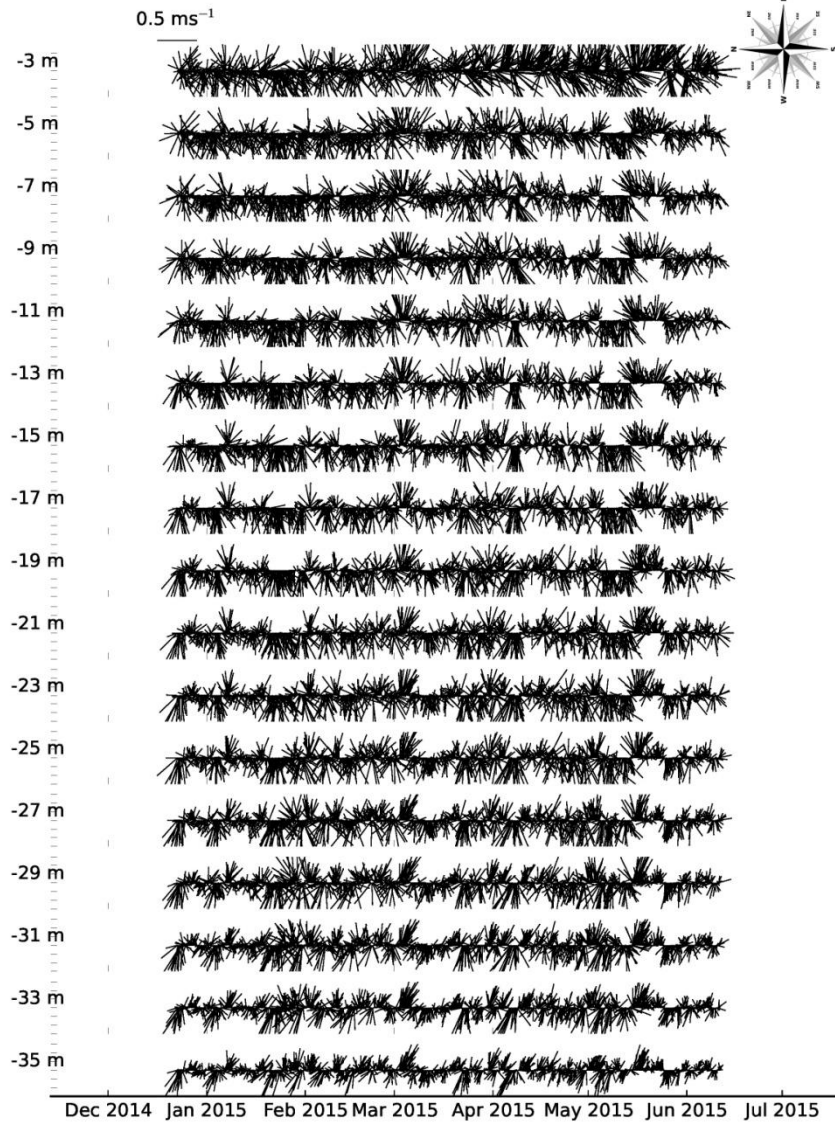
eixos x e y indicam as direções perpendicular e paralela às isóbatas, respectivamente. LS1 e LS2 são os pontos de fundeios. O ponto NCEP indica a posição dos dados de ventos.



APÊNDICE 4.1.B. Séries de tempo dos vetores velocidade de correntes amostrados em LS1, entre 24 de janeiro de 2014 e 4 de julho de 2014. A escala está indicada no canto superior esquerdo. A direção dos vetores está de acordo com a rosa dos ventos do canto superior direito. Eixo das abcissas: tempo, mês/dia/ano. Eixo das ordenadas: profundidade, m.



APÊNDICE 4.1.C. Séries de tempo dos vetores velocidade de correntes amostrados em LS2, entre 18 de dezembro de 2013 a janeiro de 2014 e 11 de junho de 2015. A escala está indicada no canto superior esquerdo. A direção dos vetores está de acordo com a rosa dos ventos do canto superior direito. Eixo das abcissas: tempo, mês/ano. Eixo das ordenadas: profundidade, m.



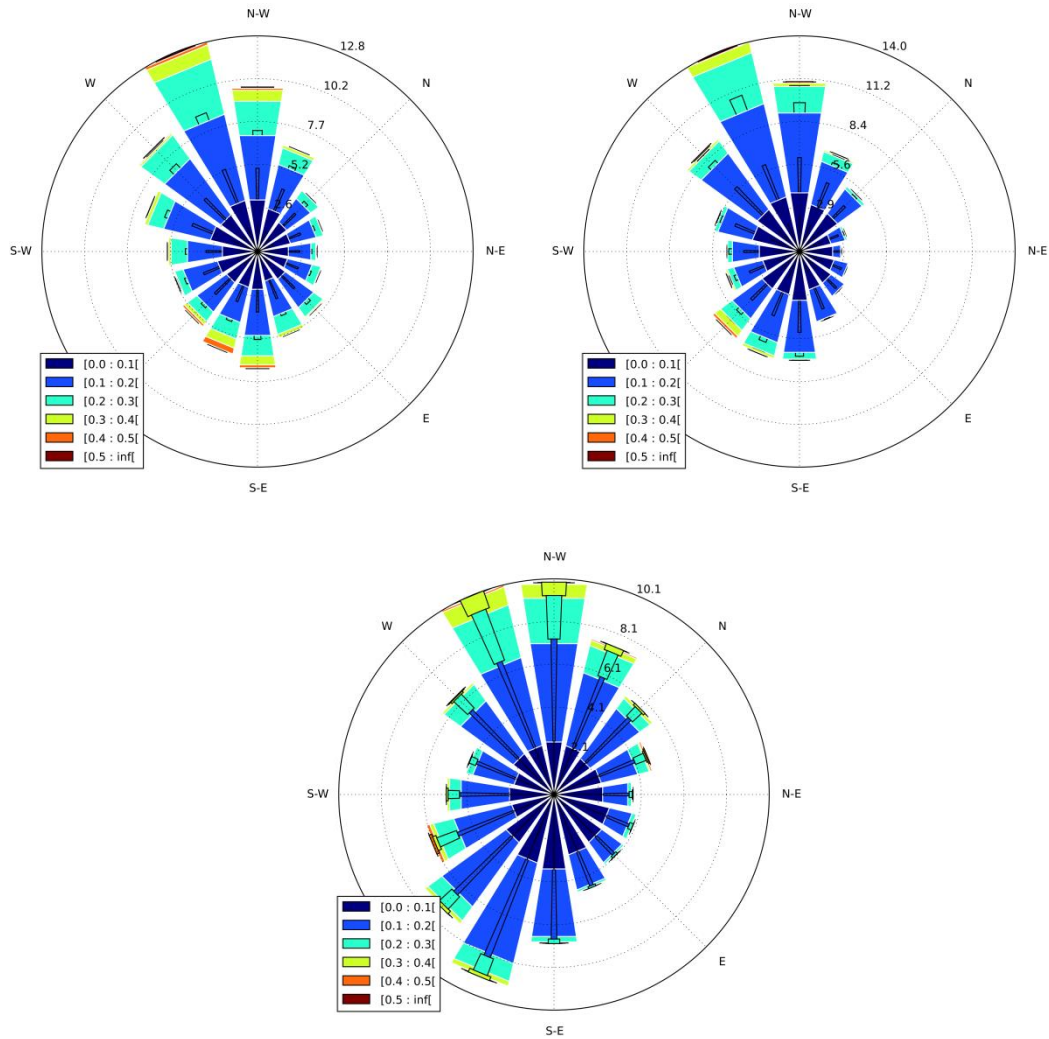
APÊNDICE 4.1.D. (a) Primeiros momentos estatísticos da componente perpendicular (u) à isóbata do vetor velocidade de corrente em LS1 e LS2: nível (N, m), mínimo (Mín, $m s^{-1}$), máximo (Máx, $m s^{-1}$), média (Méd, $m s^{-1}$), desvio padrão (DP, $m s^{-1}$).

	LS1				LS2				
	N	Mín	Máx	Méd	DP	Mín	Máx	Méd	DP
-3,0	-	-	-	-	-	-0,60	0,67	0,04	0,16
-8,0	-0,72	0,61	-0,03	0,14	-	-	-	-	-
-19,0	-	-	-	-	-0,37	0,49	0,01	0,10	-
-23,0	-0,60	0,33	-0,04	0,10	-	-	-	-	-
-35,0	-0,46	0,45	-0,02	0,09	-0,22	0,25	0,01	0,06	-

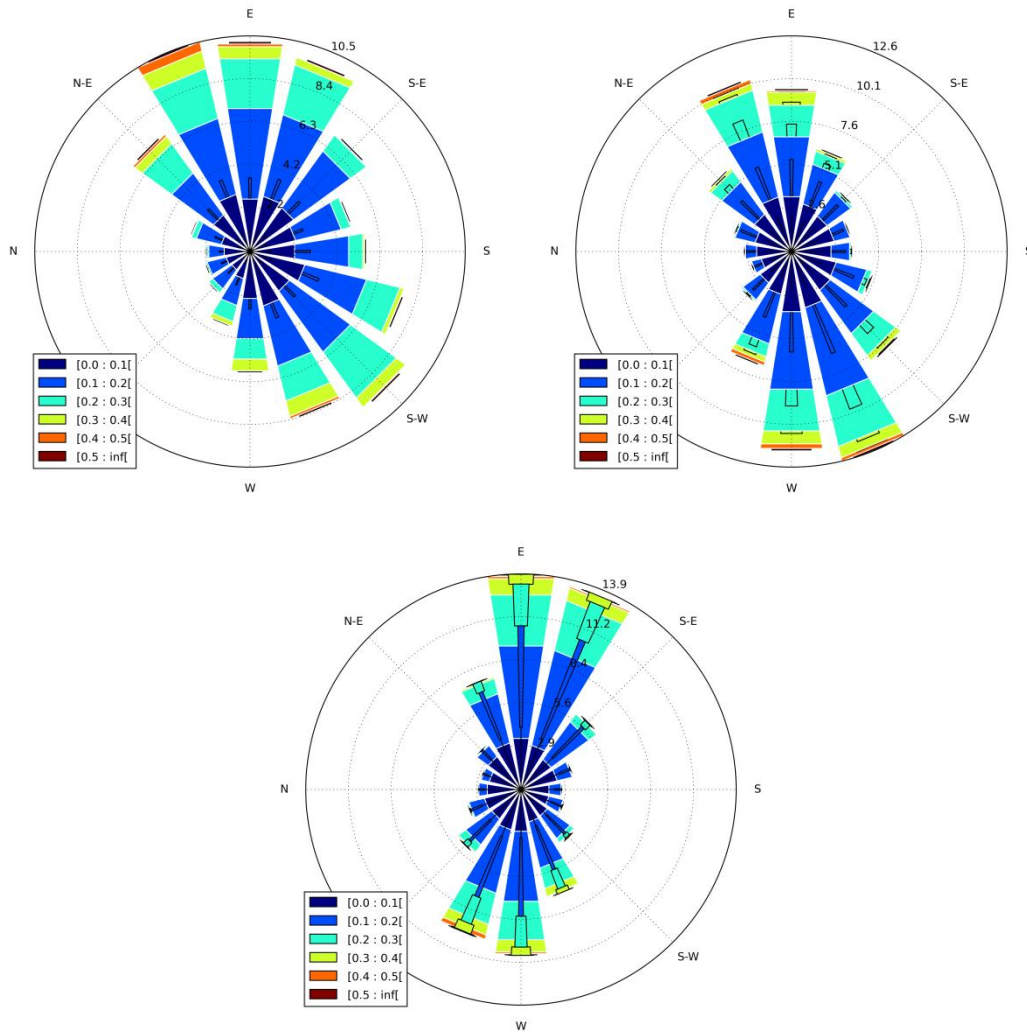
APÊNDICE 4.1.D. (b) Primeiros momentos estatísticos da componente paralela (v) à isóbata do vetor velocidade de corrente em LS1 e LS2: nível (N, m), mínimo (Mín, $m s^{-1}$), máximo (Máx, $m s^{-1}$), média (Méd, $m s^{-1}$), desvio padrão (DP, $m s^{-1}$).

	LS1				LS2				
	N	Mín	Máx	Méd	DP	Mín	Máx	Méd	DP
-3,0	-	-	-	-	-	-0,65	0,72	0,03	0,23
-8,0	-0,58	0,61	0,03	0,19	-	-	-	-	-
-19,0	-	-	-	-	-0,57	0,53	0,00	0,18	-
-23,0	-0,44	0,50	0,04	0,15	-	-	-	-	-
-35,0	-0,33	0,37	0,02	0,11	-0,38	0,39	0,01	0,13	-

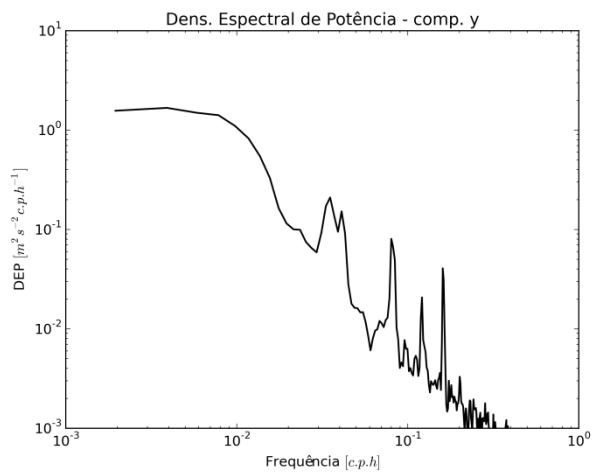
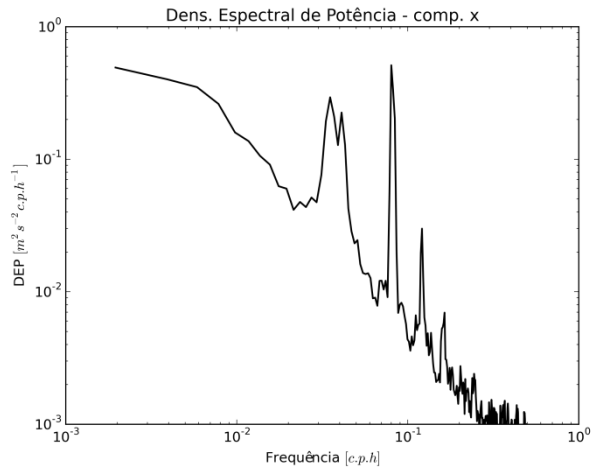
APÊNDICE 4.1.E. Histogramas direcionais das correntes em LS1 em três níveis: próximo à superfície (-8 m, painel superior esquerdo), no meio da coluna de água (-23 m, painel superior direito) e próximo ao fundo (-35 m, painel inferior). Intensidade (m s^{-1}), direção ($^{\circ}$, coordenadas geográficas), frequência de ocorrência (%). A isóbata local orienta-se na direção NW, ou 315° .



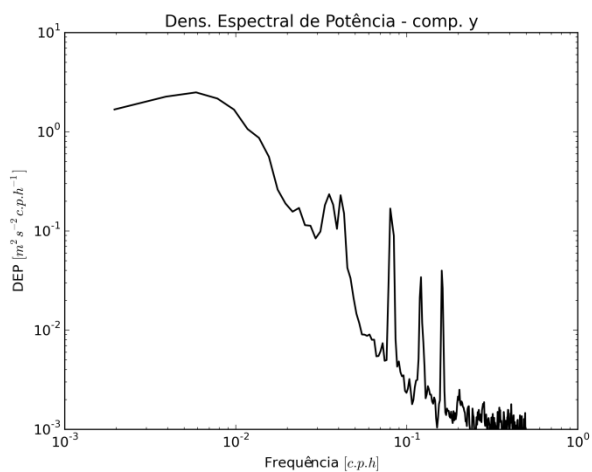
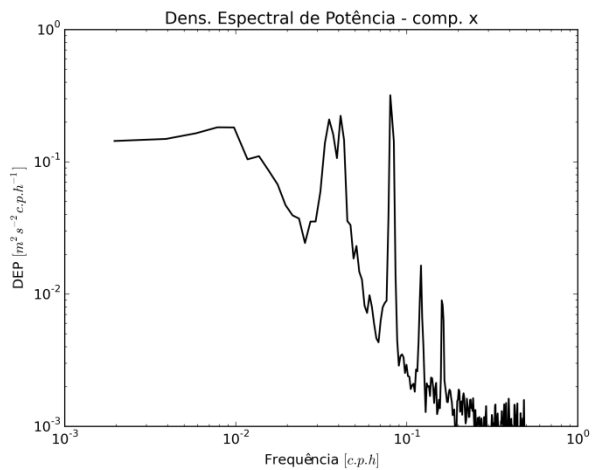
APÊNDICE 4.1.F. Figura 5: Histogramas direcionais das correntes em LS2 em três níveis: próximo à superfície (-3 m, painel superior esquerdo), no meio da coluna de água (-19 m, painel superior direito) e próximo ao fundo (-35 m, painel inferior). Intensidade (m s^{-1}), direção ($^{\circ}$, coordenadas geográficas), frequência de ocorrência (%). A isóbata local orienta-se na direção NE, ou 45° .



APÊNDICE 4.1.G. Espectros de energia ($\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{cph}^{-1}$) das componentes normal (u, painel superior) e paralela (v, painel inferior) à isóbata do vetor velocidade observado no meio da coluna de água, em LS1.



APÊNDICE 4.1.H. Espectros de energia ($m^2 s^{-2} cph^{-1}$) das componentes normal (u, painel superior) e paralela (v, painel inferior) à isóbata do vetor velocidade observado no meio da coluna de água, em LS2.



APÊNDICE 4.1.I. Histogramas direcionais dos ventos no ponto NCEP. Intensidade (m s^{-1}), direção ($^\circ$, coordenadas geográficas), frequência de ocorrência (%). A isóbata local orienta-se na direção NE, ou 45° .

