

Danilo Augusto Silva

Circulação Gerada por Ventos Anômalos na Plataforma Continental Sudeste Durante o Verão de 2014.

Plano de trabalho apresentado ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para o curso de Mestrado, no programa de Oceanografia, área de concentração Oceanografia Física. Período 2017/2019.

Orientador: Prof. Paulo Simionatto Polito

São Paulo
Março/2017

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Área de Estudo	2
1.2	Hipótese Científica	3
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivos Específicos	3
2	Metodologia	3
2.1	Climatologia de Ventos	3
2.2	Modelagem Numérica da circulação	4
2.2.1	Módulo Hidrodinâmico	4
2.2.2	Domínio	4
2.2.3	Forçantes	5
2.2.4	Experimento Numéricos	6
3	Cronograma	6
	Referências	8

1 Introdução

A Plataforma Continental Sudeste (PCSE) está localizada a oeste do Atlântico Sul. Tem como principais responsáveis na geração de movimento ventos de nordeste e leste, associados a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e ventos de sul, associados aos Sistemas Frontais de Mesoescala (frentes frias) (Castro e Miranda 1998). O centro da ASAS está localizado, em média, em 30°S 10°W. Entretanto, no verão de 2014 houve um bloqueio atmosférico, impedindo a migração de frentes frias (Rodrigues e Woollings 2017). Este período foi marcado por altas temperaturas da superfície do mar, que contribuíram para os baixos índices de precipitação observados. Durante este evento, os reservatórios de água que abastecem cidades como São Paulo e Belo Horizonte, alcançaram níveis críticos, ocasionando a crise hídrica da região sudeste brasileira em 2015 (Coelho, Cardoso e Firpo 2016).

O bloqueio atmosférico ocorrido no verão de 2014 foi causado por uma fonte de calor na Austrália, que intensificou as perturbações na atmosfera, eventualmente quebrando anticlonicamente na região sudeste brasileira. Devido a estabilidade dos giros anticiclônicos, estes bloqueios duram de dias a semanas, com raros casos de duração por mais de 15 dias. Dentre estes casos, destaca-se o o verão do ano citado, onde foram mais de 45 dias de bloqueio na região sudeste, sendo que um único evento ocorreu por 30 dias (de 15 de Janeiro a 13 de Fevereiro) (Rodrigues e Woollings 2017).

Embora haja períodos em que os ventos predominam de Sul na PCSE, o tempo de influência deste regime não passa de alguns dias, durante a passagem das frentes frias. Entretanto, durante o verão de 2014, os ventos associados ao sistema que antes eram de Leste e Nordeste, passam a ser de Sudoeste, agindo na região costeira por um longo período, como pode ser observado na Figura 1, onde a direção e intensidade do vento obtida no *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2), durante o período de 01 de Dezembro de 2013 a 28 de Fevereiro de 2014. Nota-se que a direção predominante neste período é do terceiro quadrante (S/SW).

Com essa mudança no regime de ventos predominante neste cenário, a circulação conduzida pelo vento na plataforma muito provavelmente sofreu alterações. Frente a importância da PCSE, tanto no aspecto de navegação, quanto de exploração e uso das águas e considerando que as mudanças climáticas poderão influenciar a frequência de eventos de deslocamento da ASAS, é importante compreender como a dinâmica da circulação será afetada sob a influência de novos regimes de vento.

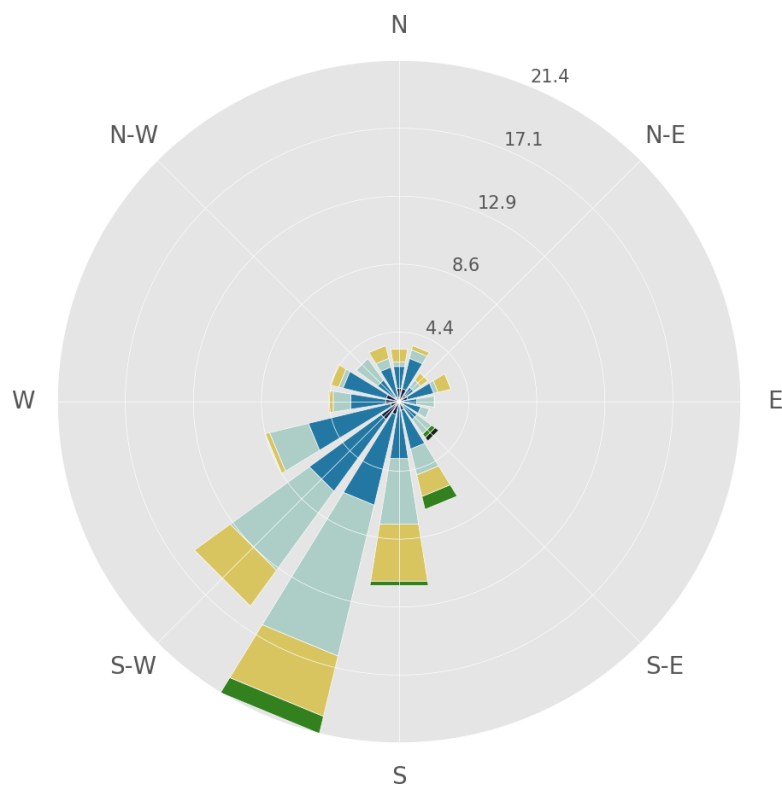


Figura 1: Rosa dos ventos para ventos a 10 metros de altura da superfície, extraídos do *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2), para o período de Dezembro/2013 a Fevereiro/2014, utilizando-se a convecção meteorológica.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho está localizada na Margem Continental Sudeste Brasileira, compreendida entre o Cabo de Santa Marta, ao Sul, e pelo Cabo Frio, ao norte. Esta região possui uma extensão de 1.100km e largura variando de 230km, ao largo de Santos, a 50km na extremidade norte (Cabo Frio). A quebra da plataforma ocorre em uma profundidade entre 120 e 180m, possuindo uma declividade suave.

A estrutura termohalina da PCSE é classificada pela interação entre três massas d'água: Água Costeira (AC), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Tropical (AT) (Castro, Miranda e Miyao 1987). A partir da observação destas estruturas, Castro (1996) caracterizou duas frentes na Plataforma Continental Norte de São Paulo (PCNSP): Frente Térmica Profunda (FTP) e Frente Halina Superficial (FHS). A partir dos parâmetros das duas frentes e das propriedades físicas das massas d'água, o autor propôs a divisão da PCNSP em três compartimentos:

- Plataforma Continental Interna (PCI), entre a costa e a FTP;
- Plataforma Continental Média (PCM), entre a FTP e a FHS e
- Plataforma Continental Externa, entre FHS e a quebra da plataforma continental.

As correntes da PCI são forçadas pela tensão de cisalhamento do vento, marés e gradientes de densidade (Morais 2016). Já na PCM, as correntes são forçadas, predominantemente, pela tensão de cisalhamento dos ventos, podendo sofrer influência dos meandros da Corrente do Brasil (CB) (Castro et al. 2008). Na PCE, as correntes são forçadas principalmente pela CB, com contribuição da tensão de cisalhamento dos ventos (Dottori e Castro 2009).

1.2 Hipótese Científica

A hipótese científica deste trabalho é que os ventos do quadrante Sul, associados ao deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul para oeste de sua posição climatológica, alterou de forma efetiva a dinâmica das águas da Plataforma Continental Sudeste, durante o verão de 2014.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é estudar como a mudança do regime de ventos na PCSE afetou a circulação na PCSE no verão de 2014.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Determinar a climatologia de ventos para os meses de verão (Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março) na PCSE;
- Implementar o modelo hidrodinâmico na PCSE para estudar as correntes geradas pelo vento local, gradientes de densidade e maré;
- Verificar as mudanças geradas pela alteração do regime de ventos.

2 Metodologia

2.1 Climatologia de Ventos

Serão utilizados dois tipos de dados (Tabela 1) da componente zonal e meridional do vento a 10 metros de altura da superfície: dados de reanálise e dados *in situ*. Os dados de reanálises serão extraídos do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), para os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, compreendidos entre 1979 e 2010. Quanto aos dados *in situ* serão extraídos do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) das bóias 157597 (Santa Catarina) e 69009 (Cabo Frio). Mais informações sobre os conjuntos de reanálise são descritos em Saha et al. (2010) e Berrisford et al. (2011).

Tabela 1: Conjunto de dados que serão utilizados.

Conjunto de Dados	Tipo	Região
CFSR	Reanálise	-20°/-30°; -40°/-50°
PNBOIA - 157597	<i>in situ</i>	-28.51°; -47.39°
PNBOIA - 69009	<i>in situ</i>	-22.98°; -42.10°

2.2 Modelagem Numérica da circulação

Para analisar a circulação na região de interesse, será implementado o modelo *Stevens Estuarine and Coastal Ocean Model* (sECOM), incluindo as forçantes vento, maré e gradiente de densidade, sendo este modelo um variante do *Princeton Ocean Model* (POM) (Blumberg e Mellor 1987).

Este é um modelo numérico de circulação costeira e estuarina, tridimensional, que utiliza equações primitivas empregando grades C de Arakawa em conjunto com o sistema de coordenadas σ na vertical, no processo de discretização. Dentre os módulos existentes no sECOM, neste trabalho será utilizado somente o Módulo Hidrodinâmico, descrito no item a seguir.

2.2.1 Módulo Hidrodinâmico

As equações deste módulo descrevem os campos de velocidade, elevação da superfície livre, temperatura e salinidade. Para isso, utiliza duas aproximações: (a) aproximação hidrostática, que considera o equilíbrio entre o peso do fluido e a força de gradiente de pressão na vertical e (b) aproximação de Boussinesq, ignorando as variações de densidade, exceto quando são multiplicadas pela gravidade. O conjunto de equações resolvido pelo modelo envolve a conservação de massa, momento, calor e sal, em função da velocidade, temperatura (T) e salinidade (S) (Blumberg, Khan e St. John 1999).

2.2.2 Domínio

A grade numérica que será utilizada neste trabalho (Figura 2) foi elaborada em Pereira et al. (2007) e adaptada pelo Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHiCo), para remoção das células secas. Trata-se de uma grade ortogonal e curvilínea, com 110 pontos na direção x , há uma resolução horizontal variando de 0.5 km a 5 km nesta direção. Na direção y , 137 pontos, com uma resolução horizontal variando de 0.5 km, na parte mais central, a 35 km nas regiões com profundidade superiores a 2100 m. A resolução vertical é de 37 níveis sigma, sendo $\sigma = 0$ na superfície e $\sigma = -1$ no fundo.

Nos experimentos numéricos será considerada a condição de livre escorregamento nos contornos laterais fechados, ou seja, próximos a costa. Nos contornos abertos será implementada a condição radiativa, elaborada por Reid e Bodine (1968), onde o contorno será forçado pela elevação da superfície livre do mar influenciada pela maré.

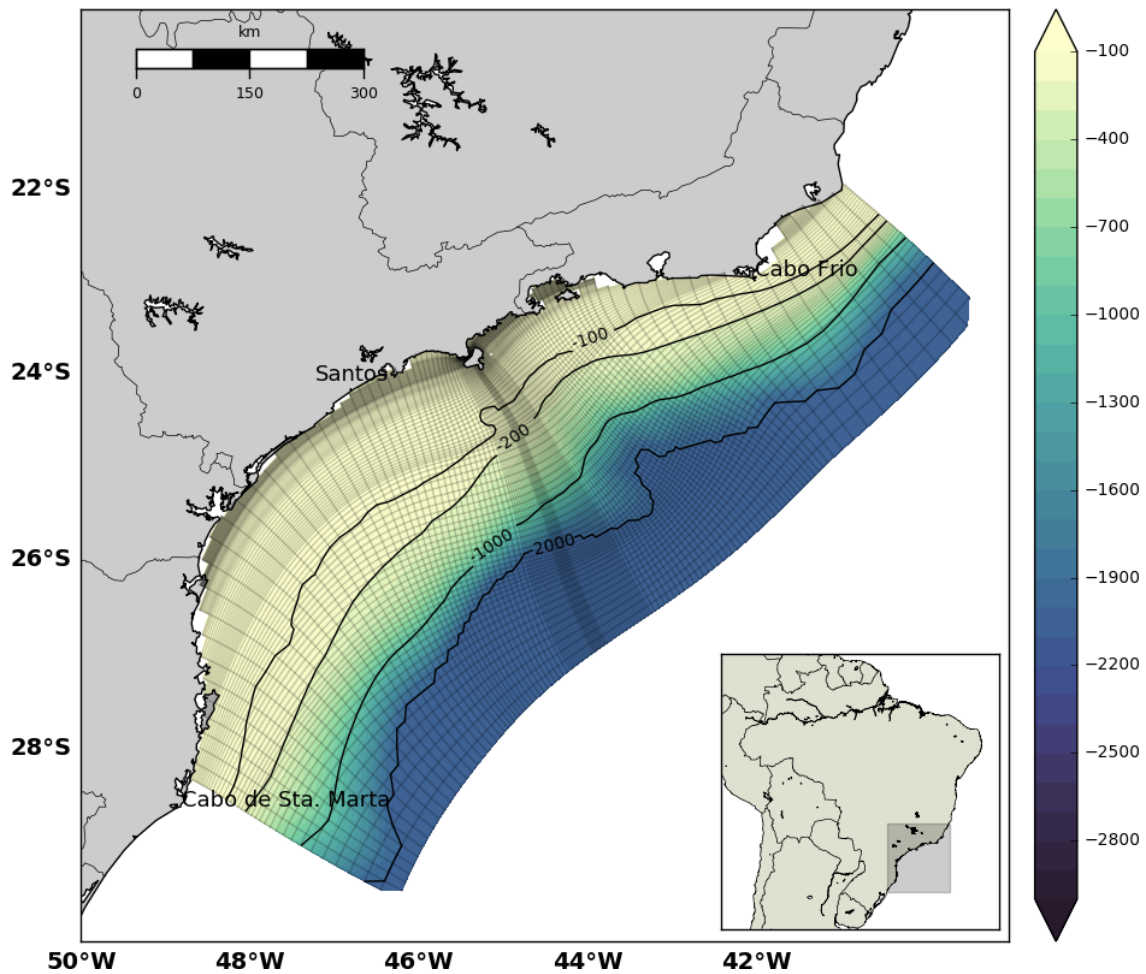


Figura 2: Localização da Plataforma Continental Sudeste, com dados batimétricos fornecidos pelo Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHiCo) e grade numérica adaptada de Pereira et al. (2007).

2.2.3 Forçantes

Quanto aos dados de vento, serão extraídos do CFSv2 para os meses de Dezembro de 2013 a Março de 2014 serão, então, interpolados espacialmente para a resolução da grade numérica utilizada e a resolução temporal será mantida de 6 horas, conforme a disponibilidade dos dados.

Serão implementadas a amplitude e fase das componentes semidiurnas de maré, M_2 e S_2 , que, segundo de Mesquita e Harari (1987), são as componentes de maior relevância na região. Os dados serão extraídos do banco de dados global TPXO 7.2, com resolução de 1/4 de grau sendo, então, interpolados para os contornos abertos da grade utilizada. A metodologia completa utilizada pelo TPXO 7.2 pode ser consultada em Egbert, Bennett e Foreman (1994) e Egbert e Erofeeva (2002).

Para os campos de densidade, serão utilizados dados climatológicos de Temperatura e Salinidade para o verão da PCSE, elaborados por de Rezende (2003) e disponibilizados no

2.2.4 Experimento Numéricos

Serão realizados dois conjuntos de experimentos numéricos, sendo: (a) um controle, onde será utilizado os dados de vento de um verão típico e (b) outro com o padrão de ventos anômalos. Em todos os experimentos, as forçantes maré e gradiente de densidade serão consideradas.

O tempo de simulação para cada experimento será de três meses (90 dias), compreendendo o período do fenômeno no ano de 2014, ou seja, de Janeiro a Março. Entretanto, com o objetivo de aquecer o modelo, serão simulados 7 dias adicionais antes do mês de Janeiro e estes não serão contemplado nas análises dos dados.

3 Cronograma

Este projeto será realizado em um período de 2 anos, onde as tarefas a serem realizadas são descritas abaixo:

1. Disciplina obrigatória - Dinâmica de Fluidos Geofísicos I;
2. Disciplina obrigatória - Dinâmica de Fluidos Geofísicos II;
3. Disciplina - Métodos de Análise de Dados Quase-Sinóticos em Oceanografia Física;
4. Disciplina - Preparação Pedagógica em Oceanografia;
5. Disciplina - Modelos Numéricos Aplicados a Processos Costeiros e Oceânicos;
6. Disciplina - Hidrodinâmica da Plataforma Continental;
7. Revisão Bibliográfica;
8. Obtenção, tratamento e análise de dados de vento;
9. Elaboração de climatologia de vento;
10. Implementação do modelo na PCSE;
11. Simulações numéricas;
12. Validação, comparação e análise dos resultados;
13. Confecção da dissertação e de artigo científico referente aos resultados de modelagem numérica;

Tabela 2: Cronograma de atividades.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 ^o ano (2017)		1	1	1	1,2,3	2,3	2,3	2,3,4	5,6	5,6	5,6	5,6,7
2 ^o ano (2018)	7,8	7,9	10	10	10, 11	11	11, 12	12	13	13	13	13

Referências

- Berrisford, P., D. P. Dee, P. Poli, R. Brugge, K. Fielding, M. Fuentes, P.W. Kållberg, S. Kobayashi, S. Uppala e A. Simmons. 2011. “The ERA-Interim archive Version 2.0. ERA Report Series 1.” Technical Report.
- Blumberg, A. F., L. A. Khan e J. P. St. John. 1999. “Three-dimensional hydrodynamic model of New York Harbor region.” *Journal Of Hydraulic Engineering* 125 (8): 799–816.
- Blumberg, A. F., e G. L. Mellor. 1987. “A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model.” *Three-dimensional coastal ocean models* 4:1–16.
- Castro, B. M. 1996. “Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo.” Ph.D. diss., Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- Castro, B. M., e L. B. Miranda. 1998. “Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4 N and 34 S.” *The Sea* 11 (1): 209–251.
- Castro, B. M., L. B. Miranda e S. Y. Miyao. 1987. “Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala.” *Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo* 35 (2): 135–151.
- Castro, B. M., L. B. Miranda, L. S. Silva, R. F. C. Fontes, A. F. Pereira e A. L. Coelho. 2008. *Processos físicos: Hidrografia, circulação e transporte*. EDUSP.
- Coelho, C. A. S., D. H. F. Cardoso e M. A. F. Firpo. 2016. “Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in Sao Paulo, Brazil.” *Theoretical and Applied Climatology* 125 (3-4): 769–784.
- de Mesquita, A. R. e J. Harari. 1987. “Harmonic constants of tides and currents of the Southern Brazilian Shelf.” *SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS*, Cananéia, pp. 415–422.
- de Rezende, J. H. M. 2003. “Intrusões da água central do atlântico sul na plataforma continental sudeste durante o verão.” Ph.D. diss., Universidade de São Paulo.
- Dottori, M. e B. M. Castro. 2009. “The response of the Sao Paulo continental shelf, Brazil, to synoptic winds.” *Ocean Dynamics* 59 (4): 603–614.
- Egbert, Gary D. e Svetlana Y. Erofeeva. 2002. “Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides.” *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19 (2): 183–204.
- Egbert, Gary D, Andrew F Bennett e Michael G G Foreman. 1994. “TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model.” *Journal of Geophysical Research* 99852 (15): 821–24.
- Morais, P. H. L. S. (IO/USP). 2016. Hidrodinâmica da Plataforma Continental Interna do estado de São Paulo.

- Pereira, A F, B M Castro, L Calado e I C A Silveira. 2007. “Numerical simulation of M2 internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current.” 112, no. November 2006.
- Reid, R. O., e B. R. Bodine. 1968. “Numerical model for storm surges in galveston bay.” *Journal of the Waterways and harbors Division* 94 (1): 33–58.
- Rodrigues, Regina R. e Tim Woollings. 2017. “Impact of Atmospheric Blocking on South America in Austral Summer.” *Journal of Climate* 30 (5): 1821–1837.
- Saha, S., S. Moorthi, H. Pan, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, R. Kistler, J. Woollen, D. Behringer, H. Liu, D. Stokes, R. Grumbine, G. Gayno, J. Wang, Y. Hou, H. Chuang e H Juang. 2010. NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

Danilo Augusto Silva

Plano de trabalho apresentado ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para o curso de Mestrado, no programa Oceanografia, área de concentração Oceanografia Física. Período: 2017/19

São Paulo, — / — / —

Orientador: Prof. Paulo Simionatto Polito

Aluna: Danilo Augusto Silva