

GERAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE MARÉS METEOROLÓGICAS NO ATLÂNTICO SUDOESTE



Ricardo de Camargo

MASTER - IAG

Universidade de São Paulo



INSTITUTO DE ASTRONOMIA,
GEOFÍSICA E CIÊNCIAS
ATMOSFÉRICAS



Universidade de São Paulo



**XII Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite
OMARSAT 2017**

INTRODUÇÃO

REGIÃO DE INTERESSE

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EVOLUÇÃO DA MODELAGEM NUMÉRICA

O MODELO NUMÉRICO

VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

ASPECTOS DE GERAÇÃO E PROPAGAÇÃO

CONCLUSÕES

INTRODUÇÃO

- eventos meteorológicos extremos sobre o oceano transferem energia na forma de *momentum* para a superfície do mar por meio do arrasto promovido pelo vento
- sobre a plataforma continental e atingindo a região costeira, a resposta do nível do mar junto à costa ocorre também sob a forma de variações de baixa frequência em relação às marés astronômicas: marés meteorológicas
 - enchentes costeiras e represamento de drenagem continental para variações positivas do nível do mar
 - dificuldade de operações de acesso a canais de navegação para embarcações de grande porte nas situações de variações negativas do nível do mar

REGIÃO DE INTERESSE

- Sudoeste do Atlântico, desde a parte centro-norte da Argentina até a Região Sudeste do Brasil
 - Longa e contínua plataforma continental, com diferentes larguras ao longo de sua extensão
 - Distintas amplitudes da maré astronômica
 - Rio da Prata
 - Região ciclogênica localizada a leste da Cordilheira dos Andes
 - Riqueza de fenômenos de marés meteorológicas
 - Relativa escassez de séries contínuas e simultâneas de nível do mar
- Objetivo:** investigar a ocorrência de eventos de marés meteorológicas com base em resultados de longas integrações de modelos numéricos de circulação oceânica

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- particularidade das oscilações do nível do mar associadas às causas astronômicas e/ou às forçantes meteorológicas
- marés astronômicas são decorrentes de fenômenos de ressonância em escala de bacia oceânica
- parcela meteorológica depende não somente da severidade e da evolução dos sistemas atmosféricos forçantes, mas também da geometria, extensão e orientação das plataformas continentais

CHARNOCK E CREASE (1957)

FISCHER (1959)

GROEN E GROVES (1962)

BRETSCHNEIDER (1967)

HEAPS (1967, 1983)

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- caráter tropical ou extratropical das forçantes atmosféricas é distinto por suas distintas escalas espaço-temporais
- ciclones tropicais são mais intensos e localizados, normalmente persistindo por poucos dias e apresentando grande deslocamento
- os ciclones extratropicais são maiores em pelo menos uma ordem de grandeza em termos espaciais, deslocam-se mais lentamente e persistem por períodos superiores aos ciclones tropicais
- respostas mais localizadas, mais intensas e menos persistentes quando associadas aos ciclones tropicais

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- diferentes configurações das porções costeiras ao redor do globo: oceano aberto, golfos ou embaixamentos, mares semi-fechados
 - Mar do Norte, o Mar da Irlanda e o Mar Báltico, assim como o Mar Adriático, o Canal de Moçambique e a Baía de Bengala
 - a resposta em cada um destes mares é peculiar no sentido da combinação entre a forçante de vento e de pressão atmosférica (PUGH, 1996).
- existência de registros contínuos e simultâneos de nível do mar em estações costeiras é um ponto limitante
- técnicas de modelagem numérica representam ferramentas poderosas para a compreensão e a representação destas flutuações do nível médio do mar

EVOLUÇÃO DA MODELAGEM NUMÉRICA

Esforços Pioneiros

- FISCHER (1959)
- WELANDER (1961)
- HEAPS (1967)

Sistemas tropicais na costa leste dos EUA

- JELESNIANSKI
(1965, 1967)
- WANSTRATH *et al.*
(1976)

Mar do Norte, Mar da Irlanda e áreas ao redor do globo

- HEAPS (1983)

→ aplicações verticalmente integradas

EVOLUÇÃO DA MODELAGEM NUMÉRICA

Uso para previsão

- FLATHER e DAVIES (1976)
- dependência da forçante atmosférica

Mar do Norte evento de Jan/Fev 1953

- FLATHER (1984)

Baía de Bengala

- Ciclones tropicais e alta drenagem continental
- DAS (1972)
- JOHNS e ALI (1980)
- FLATHER (1994)

→ Início da consideração dos efeitos tridimensionais

EVOLUÇÃO DA MODELAGEM NUMÉRICA

BAJO *et al.*
(2007)

- Elementos finitos
- mares semi-fechados

ZHENG *et al.*
(2013)

- 2D versus 3D
- Ciclones tropicais

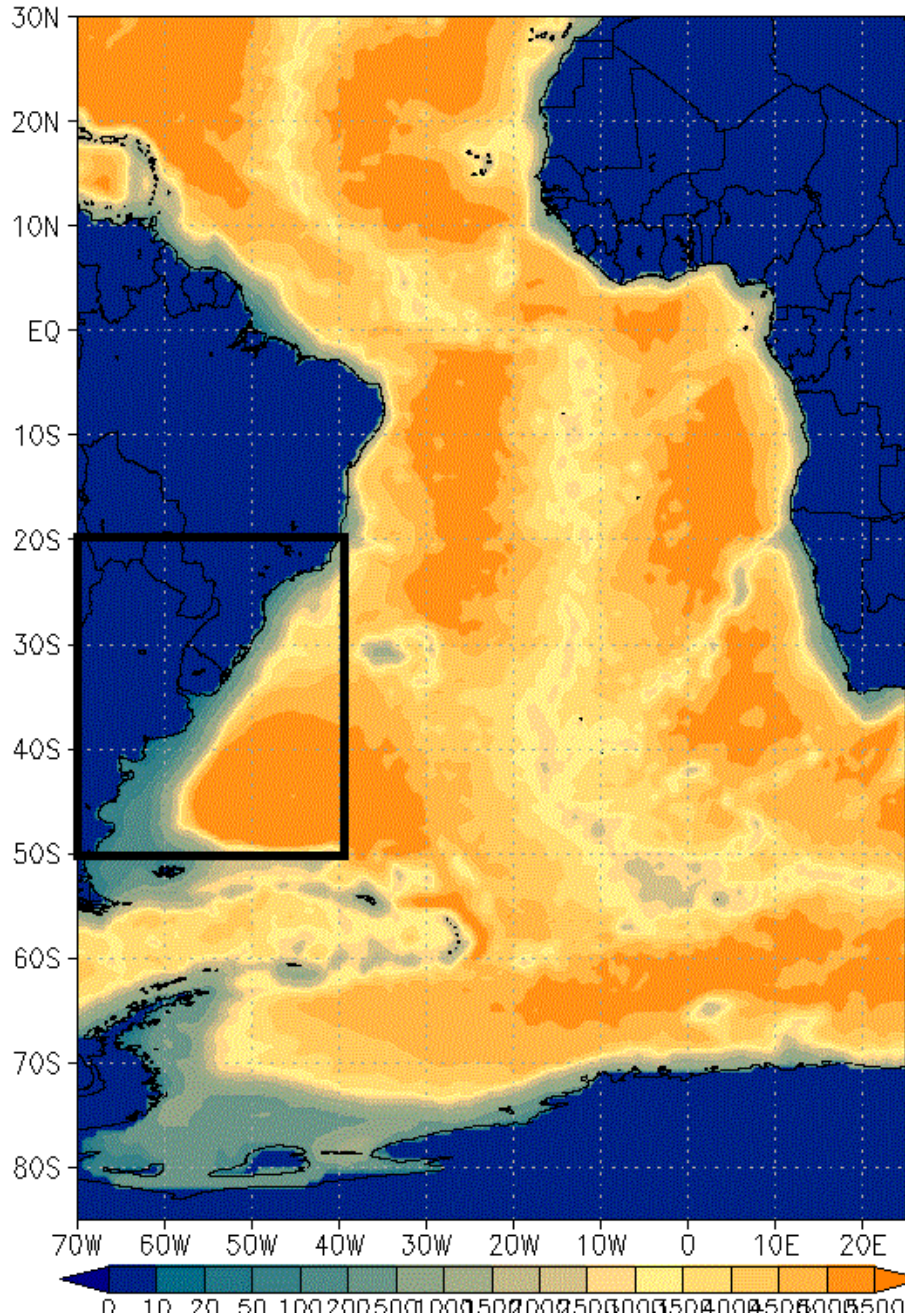
BERNIER e
THOMPSON
(2015)

- Previsão por conjuntos de simulações

MODELO NUMÉRICO

- Prof. George L. Mellor (fechamento turbulento e modelos de coluna) e Dr. Allan F. Blumberg (modelos bidimensionais e estrutura horizontal do escoamento oceânico) elaboraram o primeiro modelo oceânico de domínio público oferecido à comunidade científica internacional
 - *Princeton Ocean Model* (BLUMBERG e MELLOR, 1983, 1987)
- Desenvolvimentos no código original
 - potencial gerador de marés
 - condições de contorno para elevações de maré e correntes totais nas bordas abertas
 - filtragem espacial
 - relaxação newtoniana para campos tridimensionais de temperatura e salinidade

DOMÍNIO MODELADO



Atlântico Sul e Tropical:
85°S-30°N e 070°W-025°E
0,5 x 0,5 graus em lat/lon
36 níveis verticais sigma

Batimetria: ETOPO1

Maré astronômica nos contornos:
TPXO7.1

Descarga fluvial:

Orinoco (34000 m³/s)

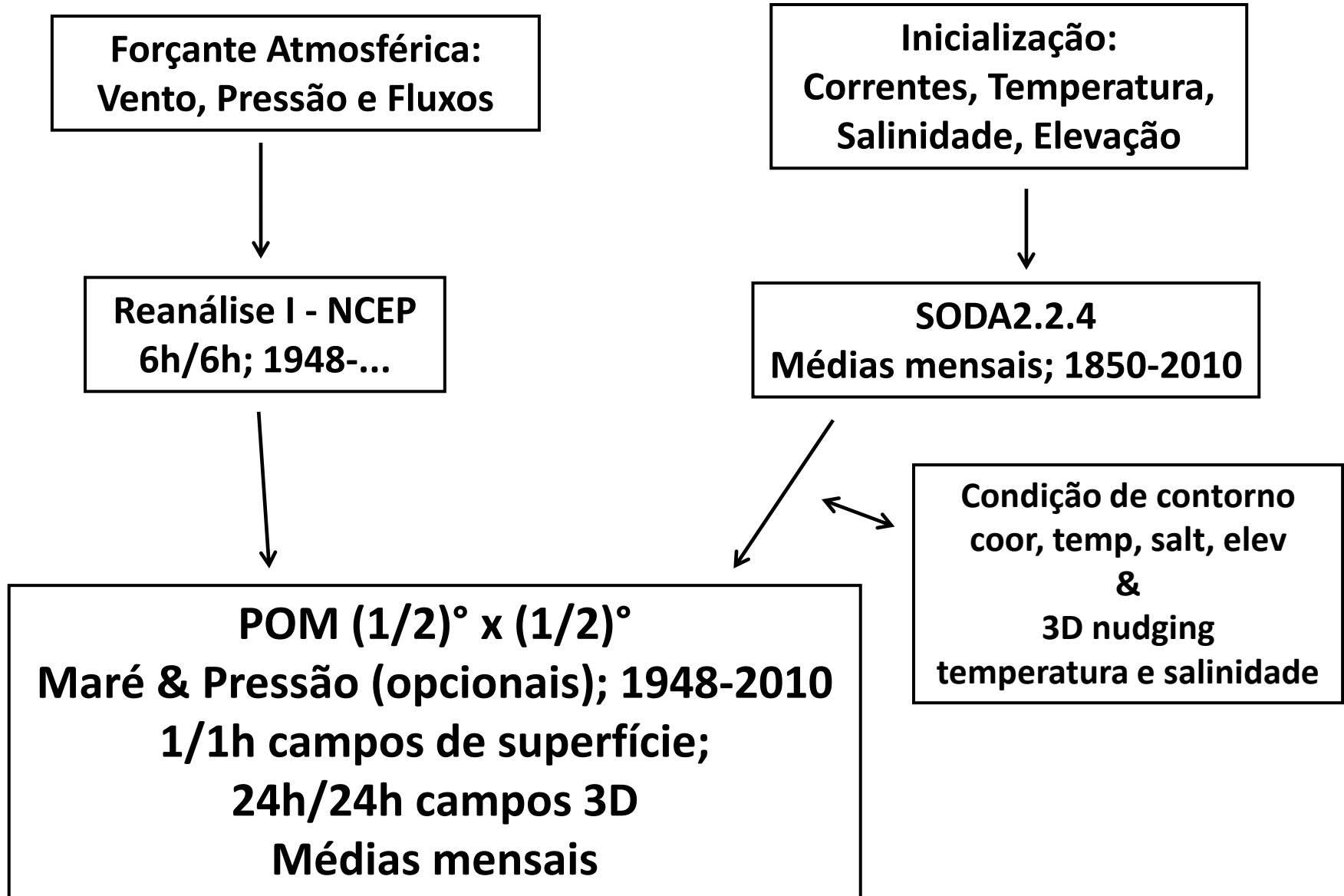
Amazonas (175000 m³/s)

Rio da Prata (15000 m³/s)

Congo (4000 m³/s)

Niger (6000 m³/s)

PROCEDIMENTO NUMÉRICO



VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

- Altura da superfície do mar
 - *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data (AVISO):* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$; dados diários
- Temperatura da superfície do mar
 - *Optimal Interpolation Sea Surface Temperature version 2 High Resolution dataset (OISSTv2):* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$; dados diários
- Correntes de superfície
 - Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR): $0,333^\circ \times 0,333^\circ$; médias a cada cinco dias desde Out1992, entre as latitudes 66° S e 66° N
- Componentes astronômicas de maré
 - TPXO7.1

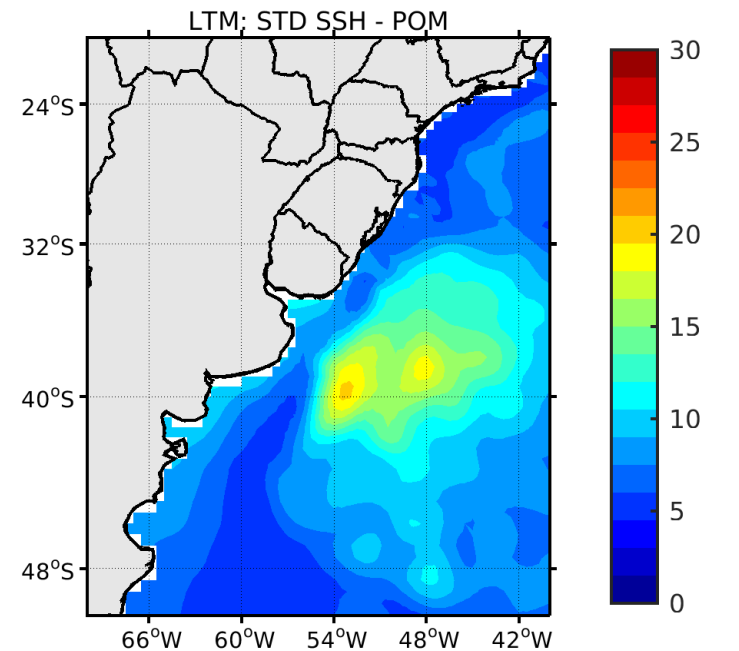
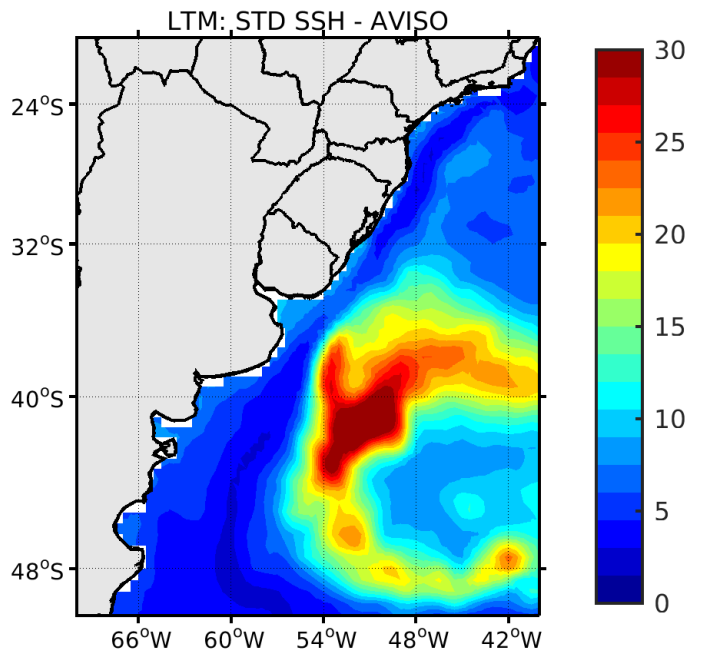
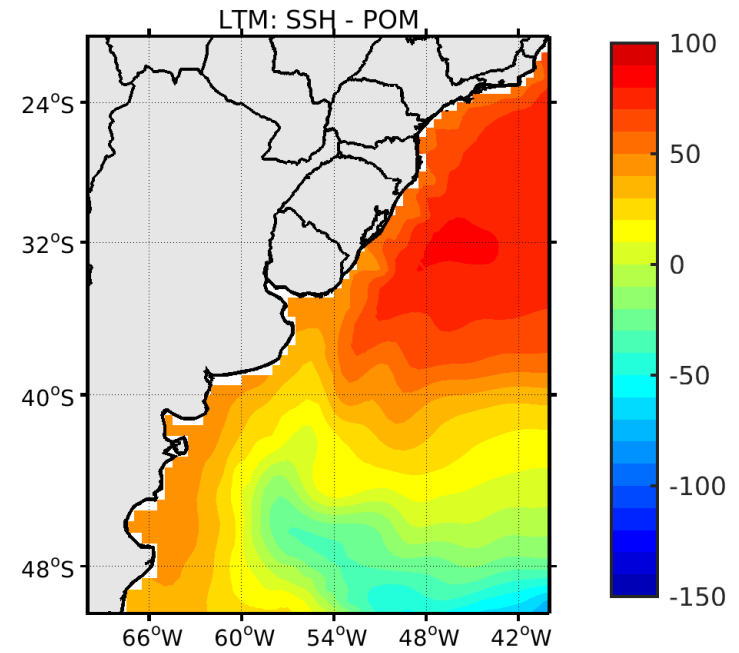
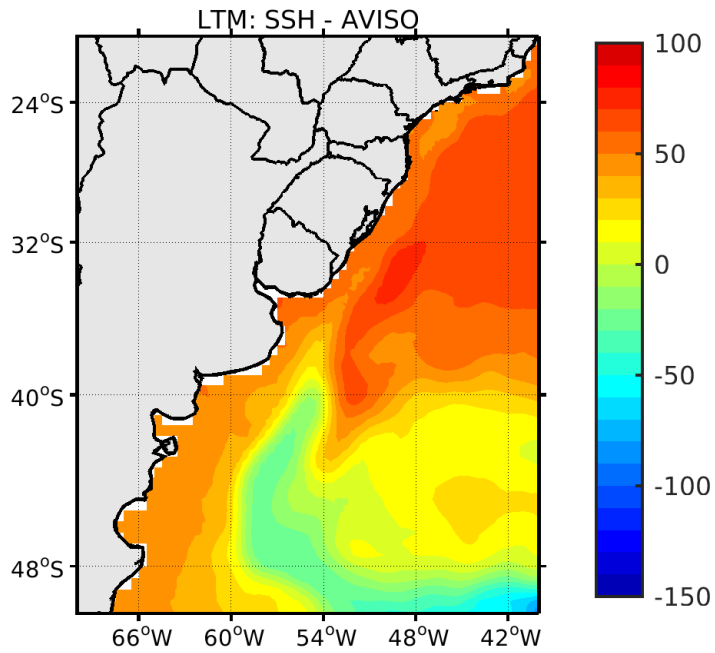
VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

- Séries de nível do mar ao longo da costa
 - *Global Sea Level Observing System* GLOSS (<http://www.gloss-sealevel.org/>)
 - IO/USP, APPA, INPH: com asterisco

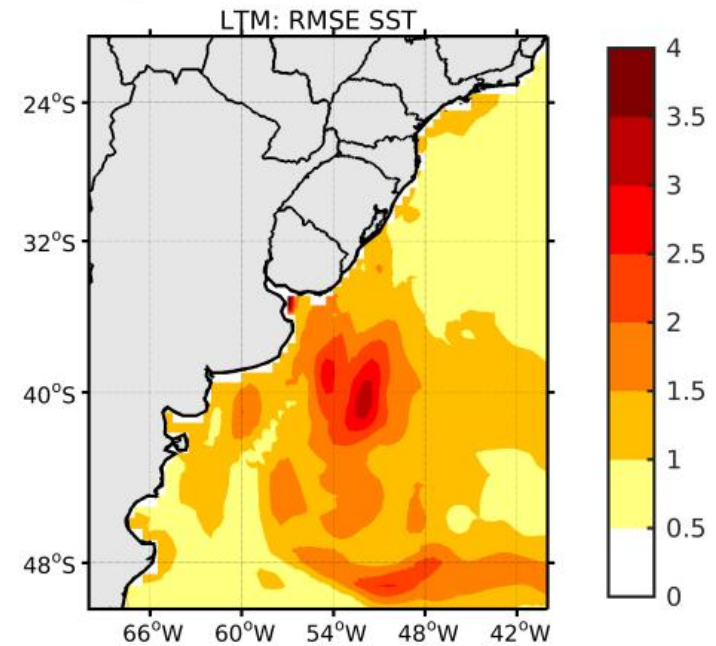
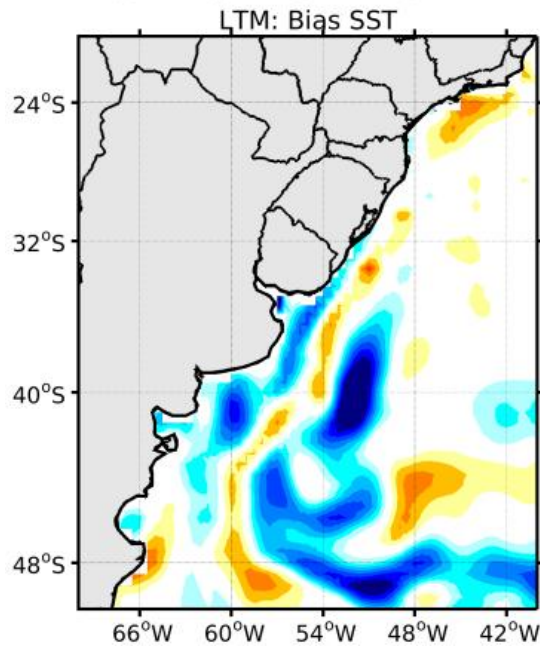
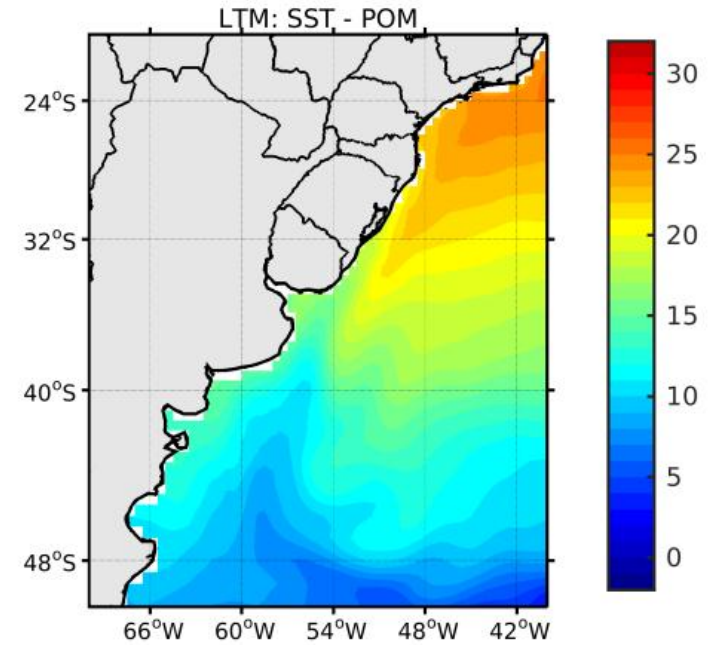
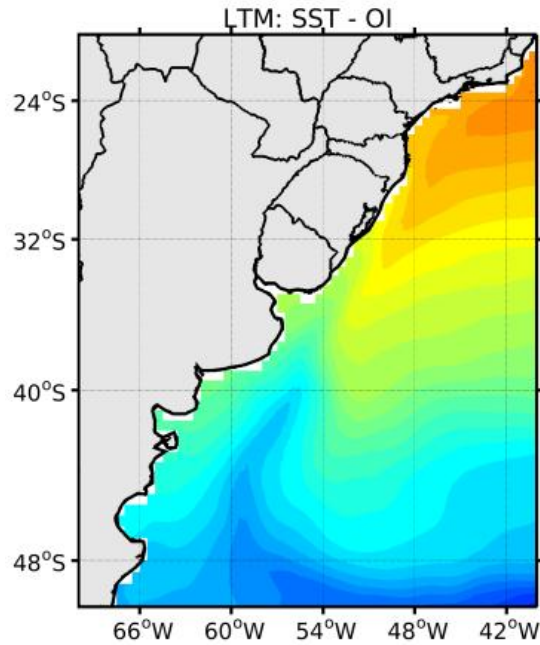
Localidade	Coordenadas	Período disponível
Puerto Deseado (ARG)	65.920W / 47.750S	1988-1989; 2010
Puerto Madryn (ARG)	65.030W / 42.770S	2010
Mar del Plata (ARG)	57.537W / 38.045S	1980; 2004-2009
Buenos Aires (ARG)	58.370W / 34.600S	1948-1965
Puntadel Este (URU)*	55.000W / 34.990S	1983-1993
Rio Grande (BRA)	52.180W / 32.100S	1981-1989; 2001-2003
Florianópolis (BRA)*	48.575W / 27.579S	1952-1963
Paranaguá (BRA)*	48.867W / 25.103S	1988-1994
Cananéia (BRA)	47.933W / 25.017S	1954-2006
Santos (BRA)*	46.308W / 23.949S	1945-1990
Ilha Fiscal (BRA)	43.167W / 22.900S	1955-2010
Macaé (BRA)	41.467W / 22.230S	2001-2007

1960 e 1988

VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES - ASM

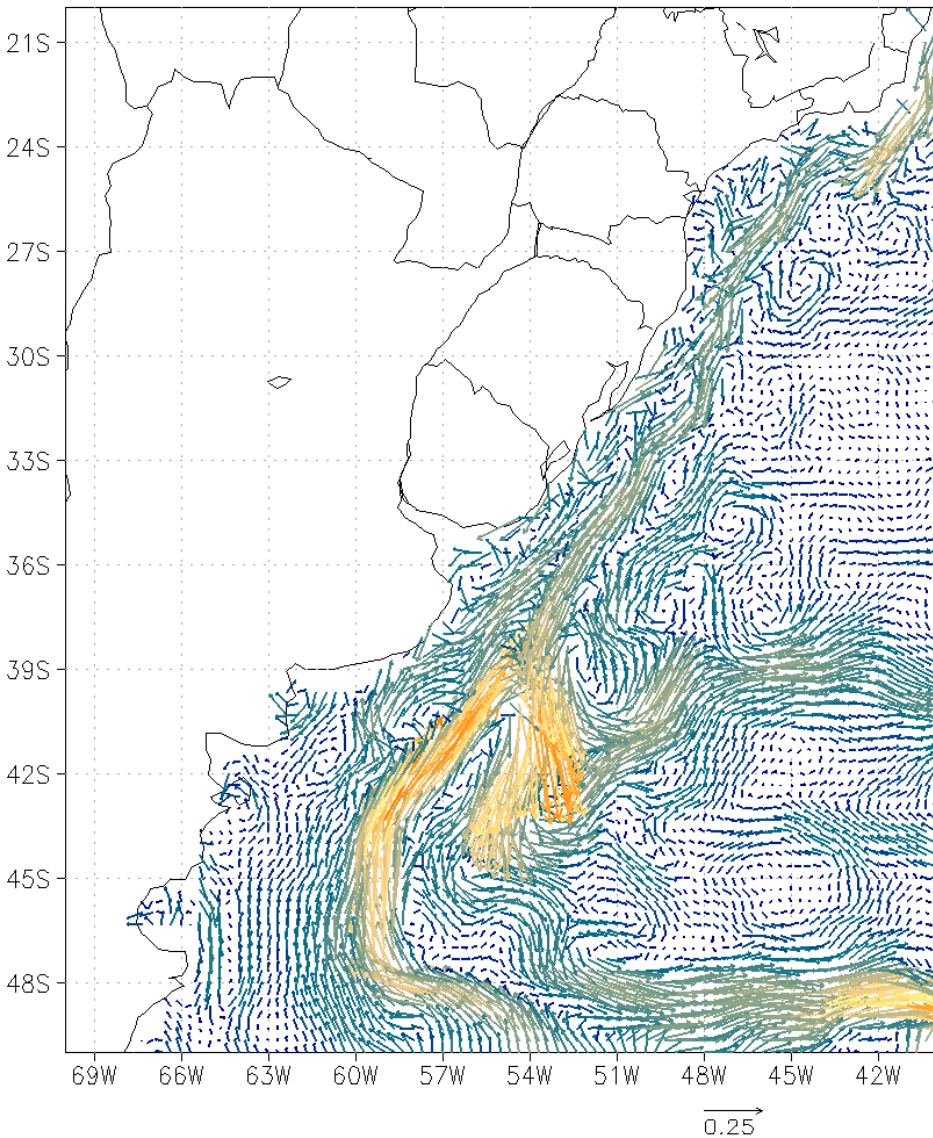


VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES - TSM

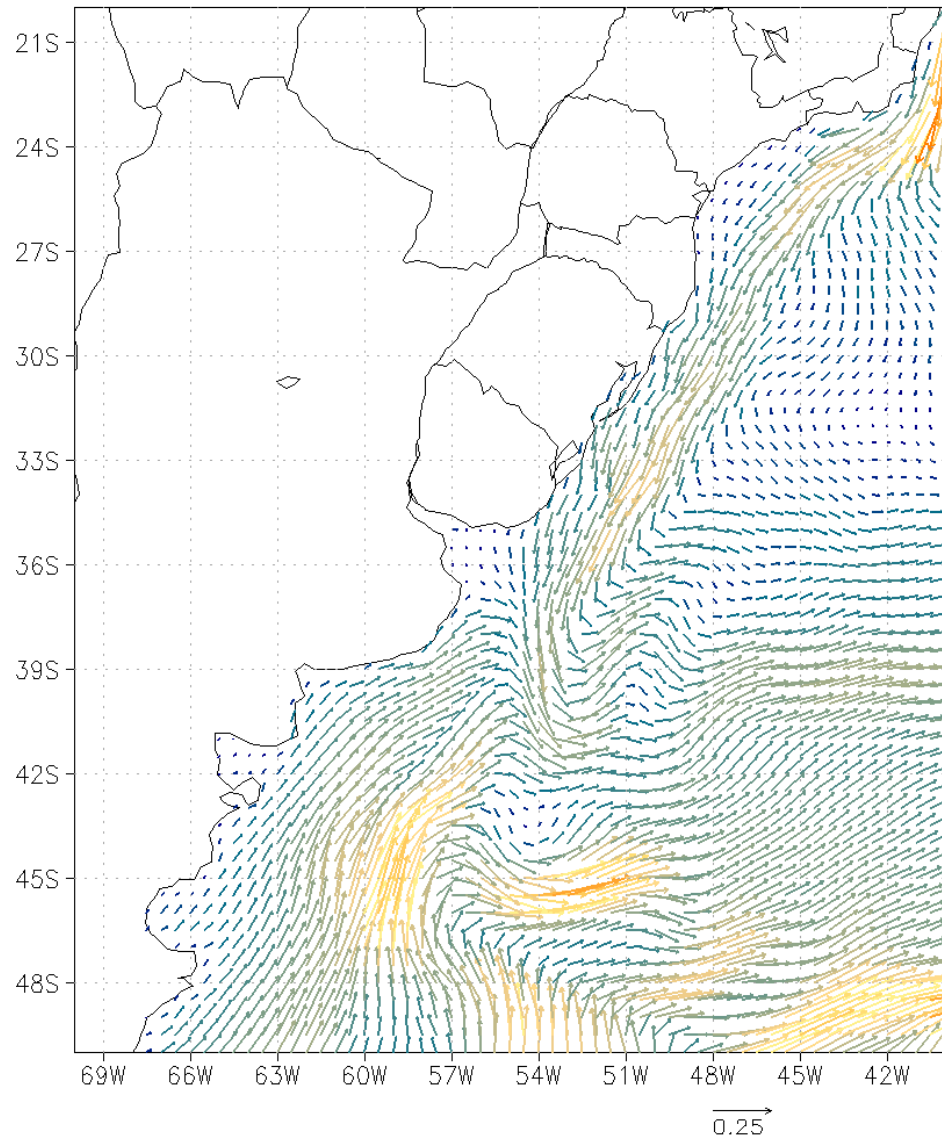


VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Correntes de superfície

OSCAR Long Term Mean 1993–2010

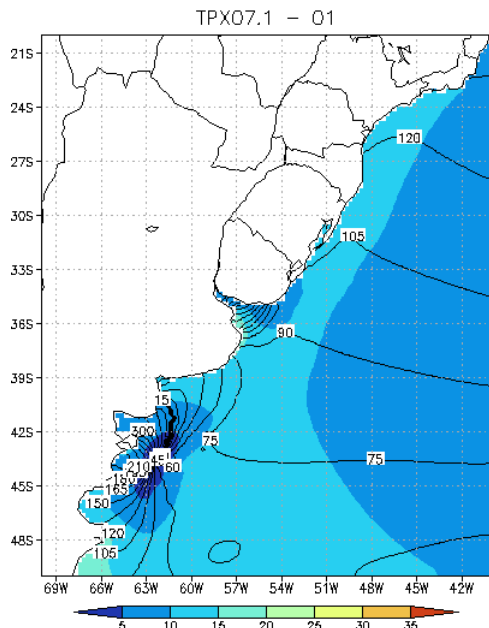


POM Surface Long Term Mean 1993–2010

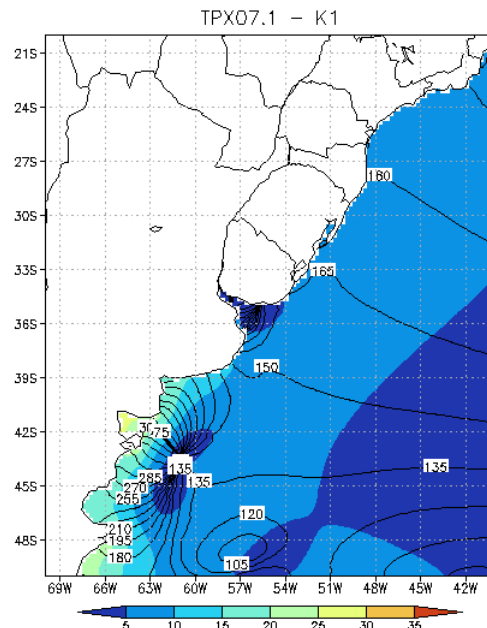


VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Componentes diurnas

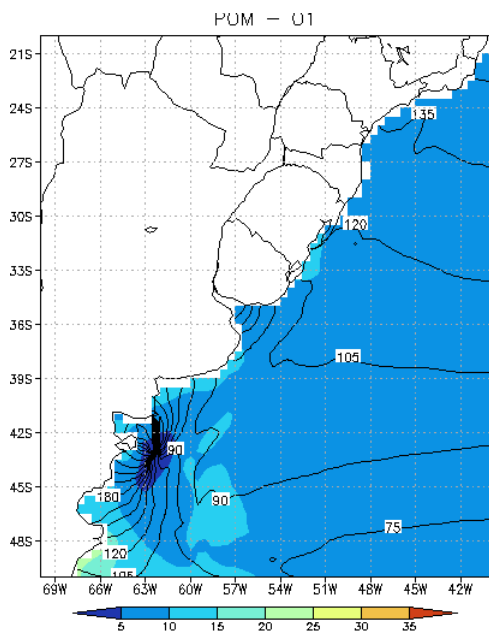
TPXO
O1



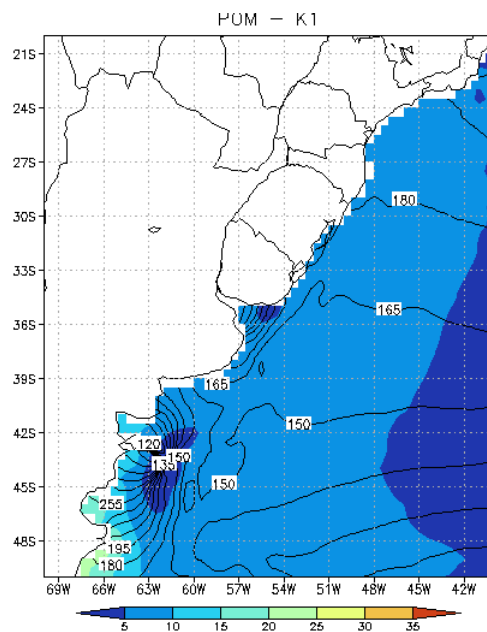
TPXO
K1



POM
O1

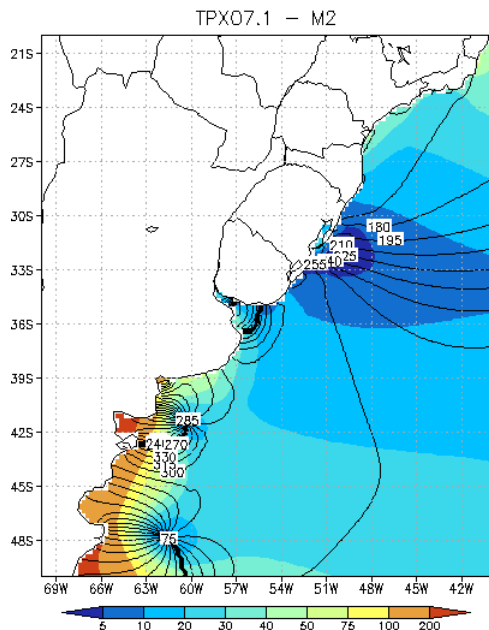


POM
K1



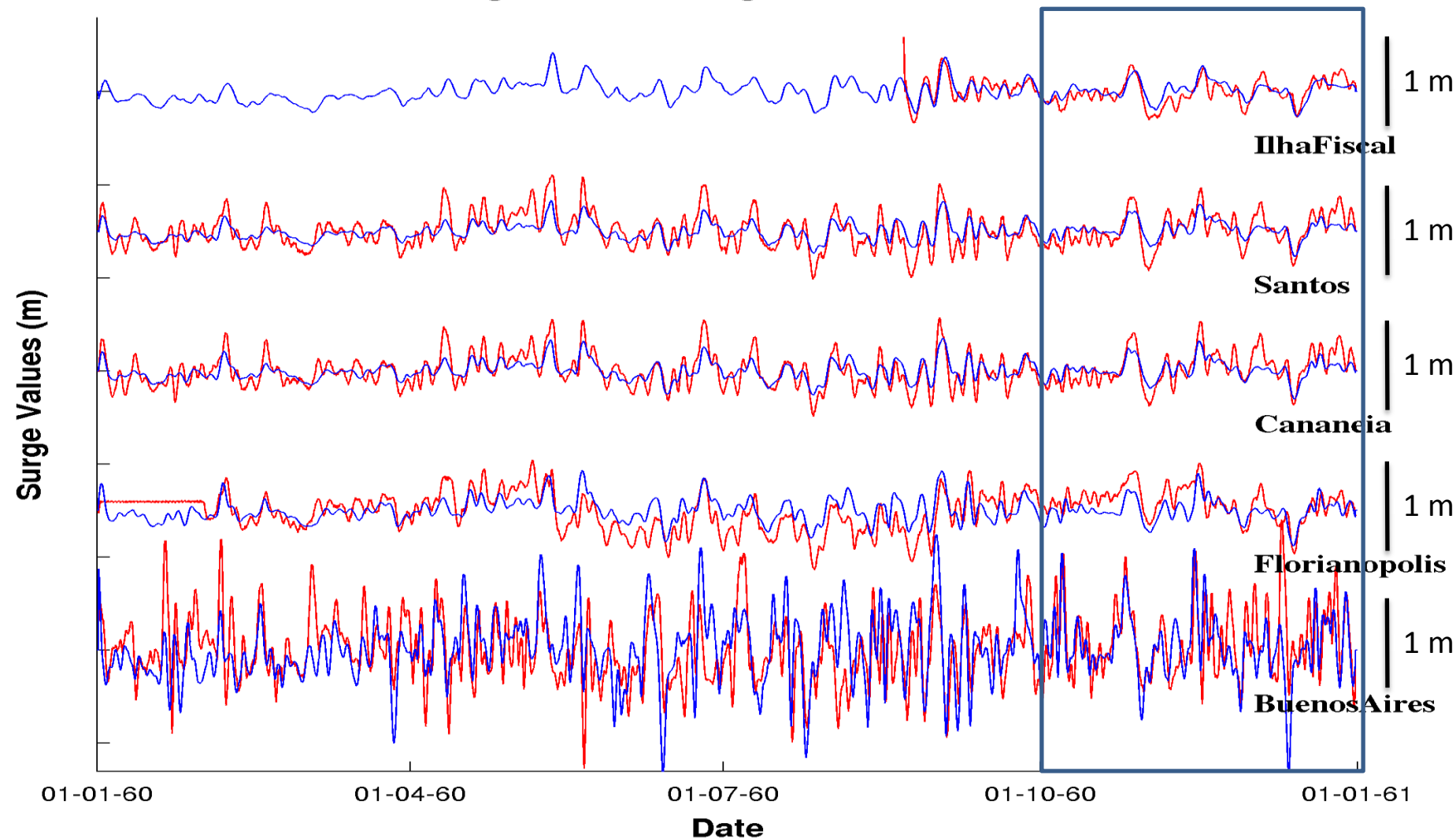
VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Componentes semidiurnas

TPXO
M2



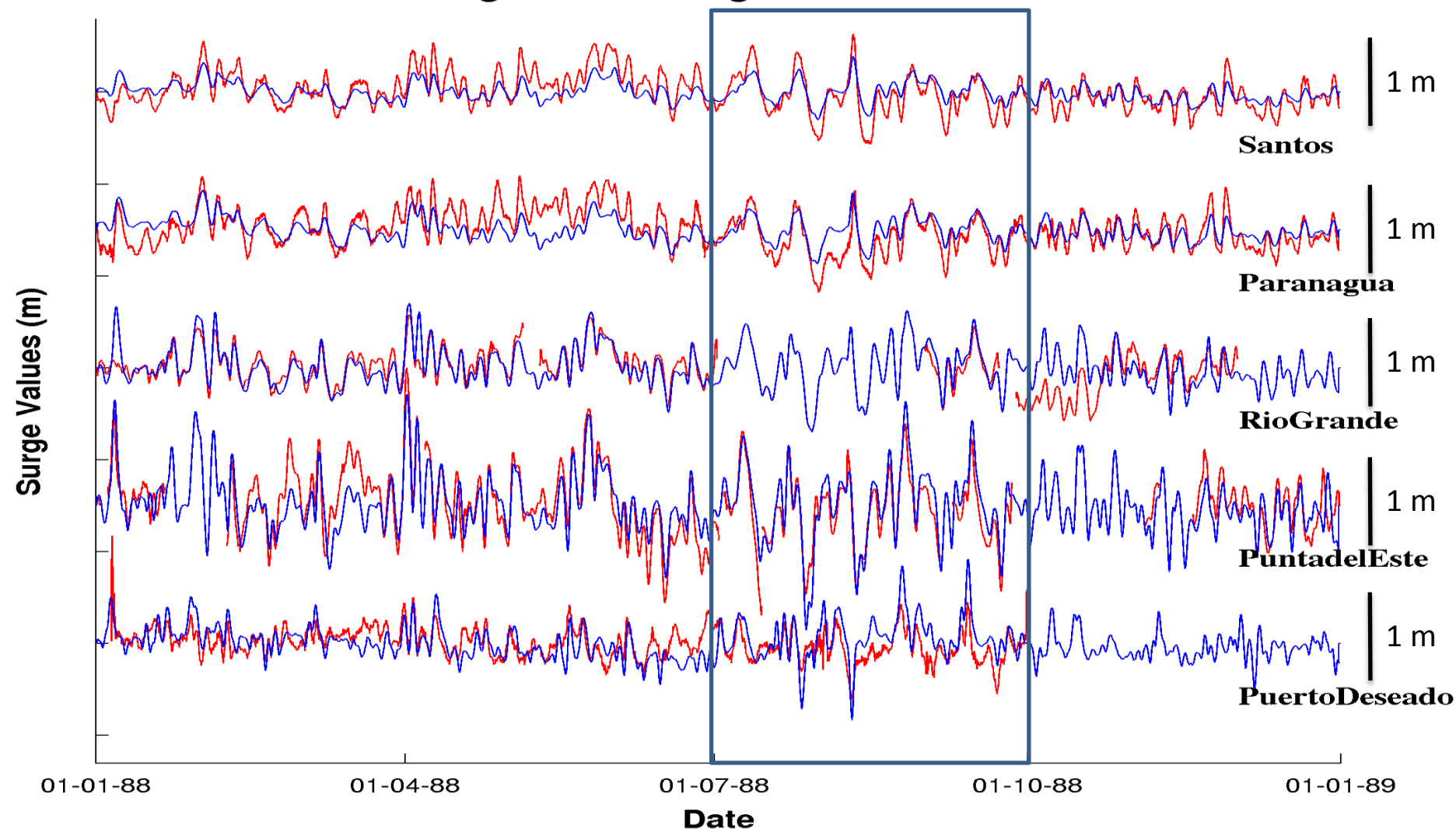
VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Marés meteorológicas

Storm Surge - Tide Gauge vs POM - Year 1960



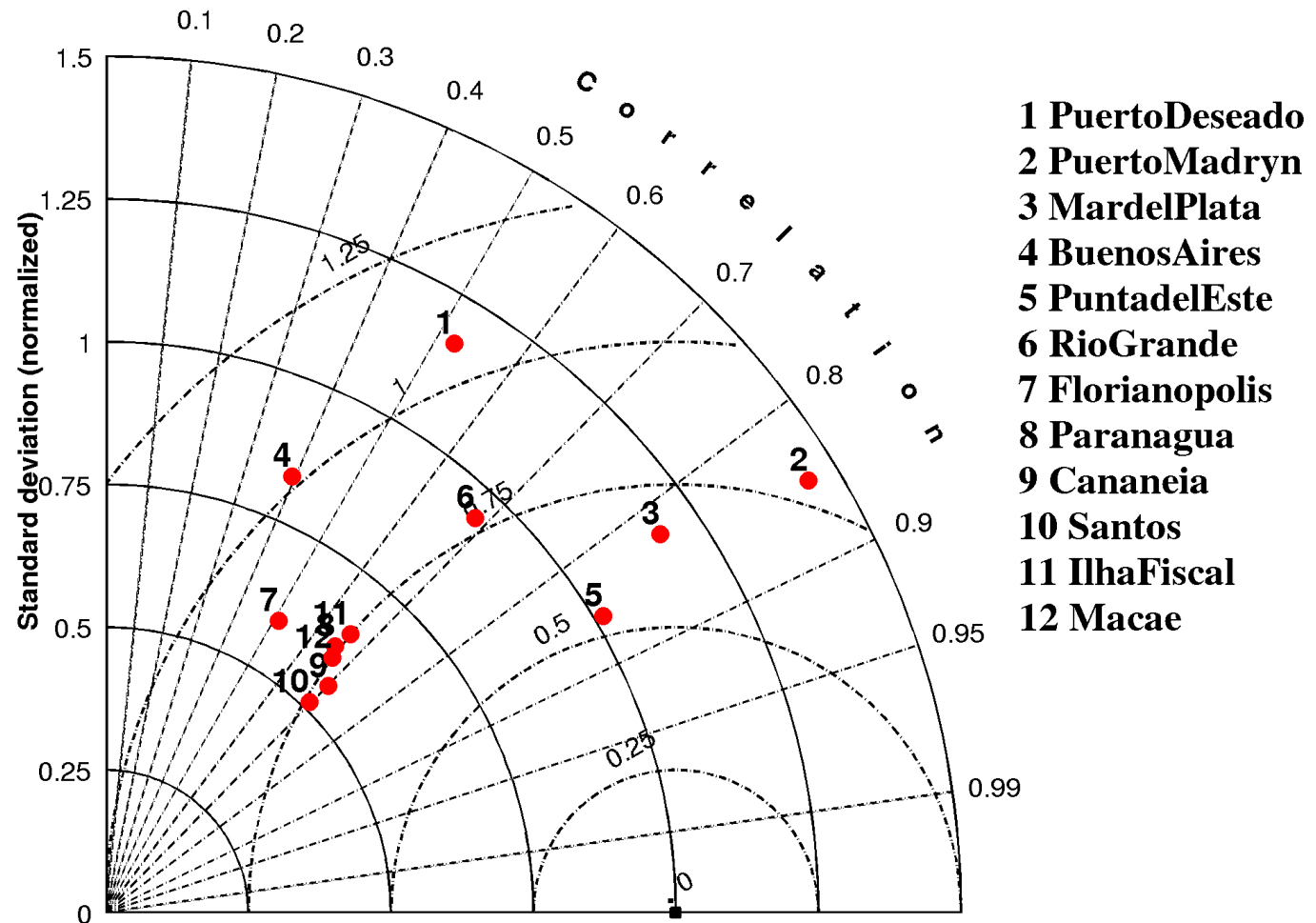
VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Marés meteorológicas

Storm Surge - Tide Gauge vs POM - Year 1988



VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES – Marés meteorológicas

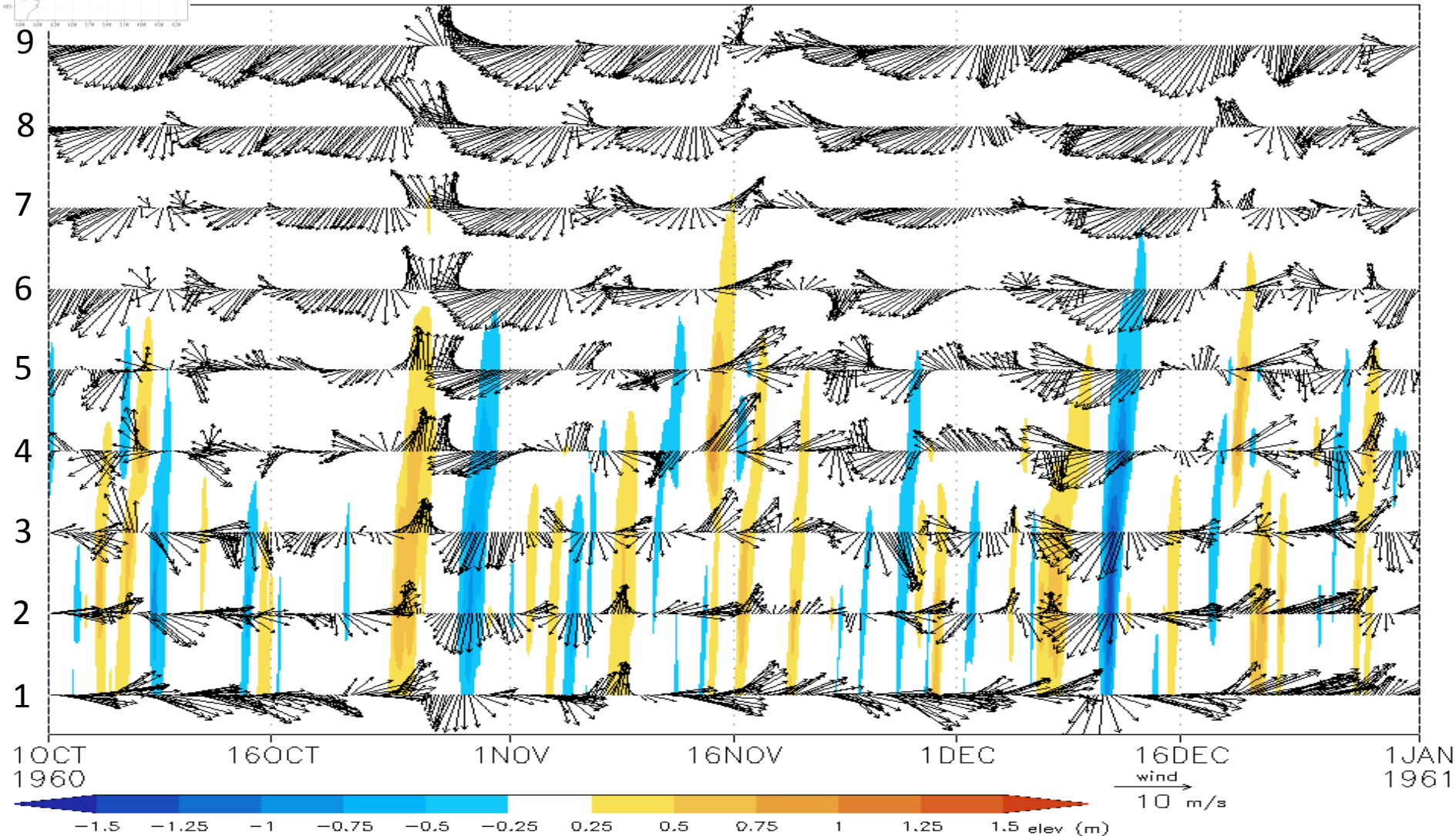
Storm Surge - Tide Gauge vs POM



CAMPOS SIMULTÂNEOS – Elevação na costa

Vento sobre a plataforma

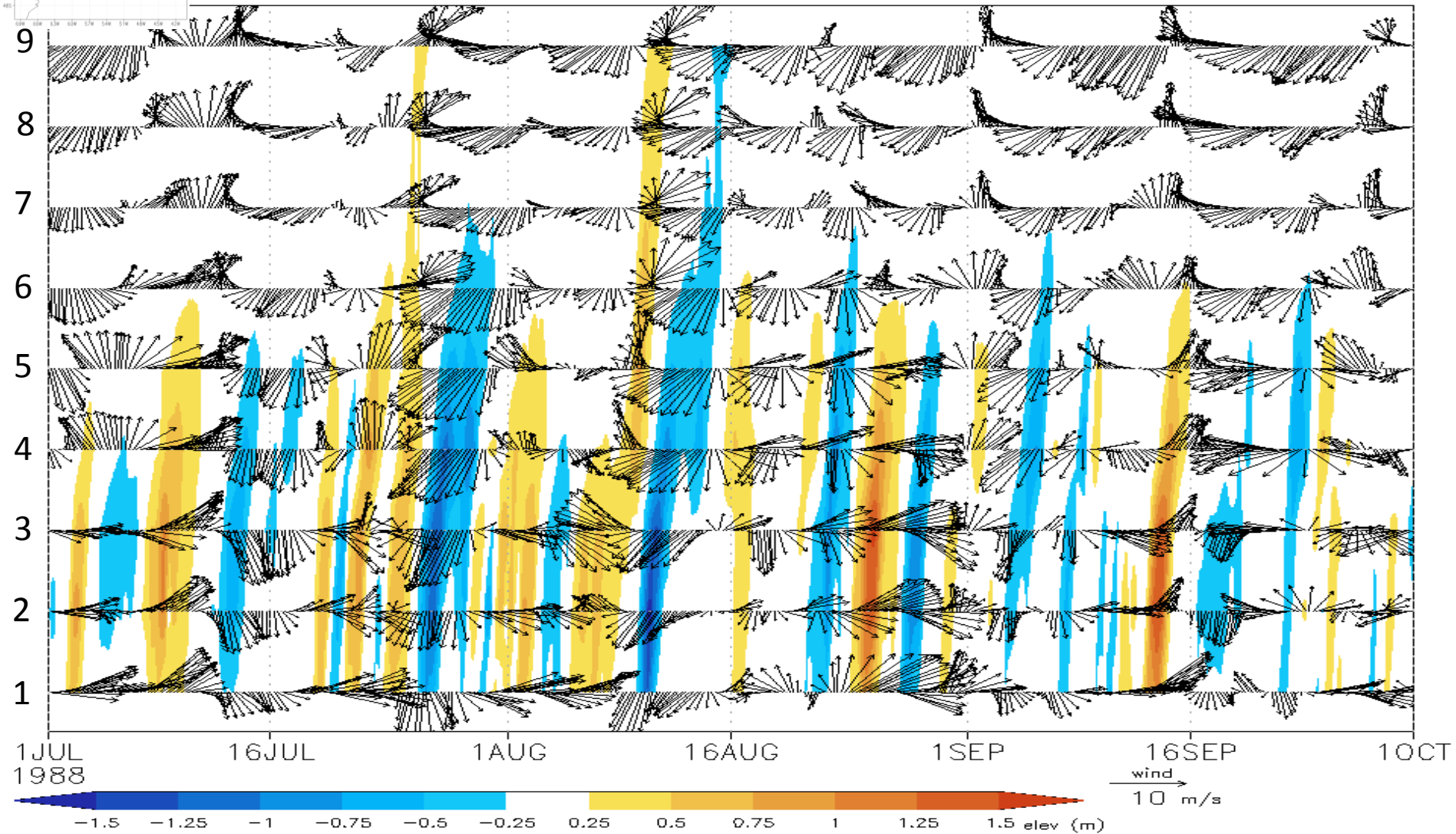
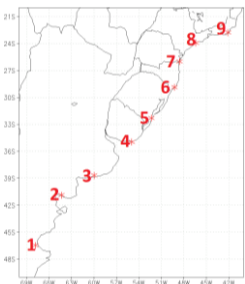
Coastal sea level and Shelf wind



CAMPOS SIMULTÂNEOS – Elevação na costa

Vento sobre a plataforma

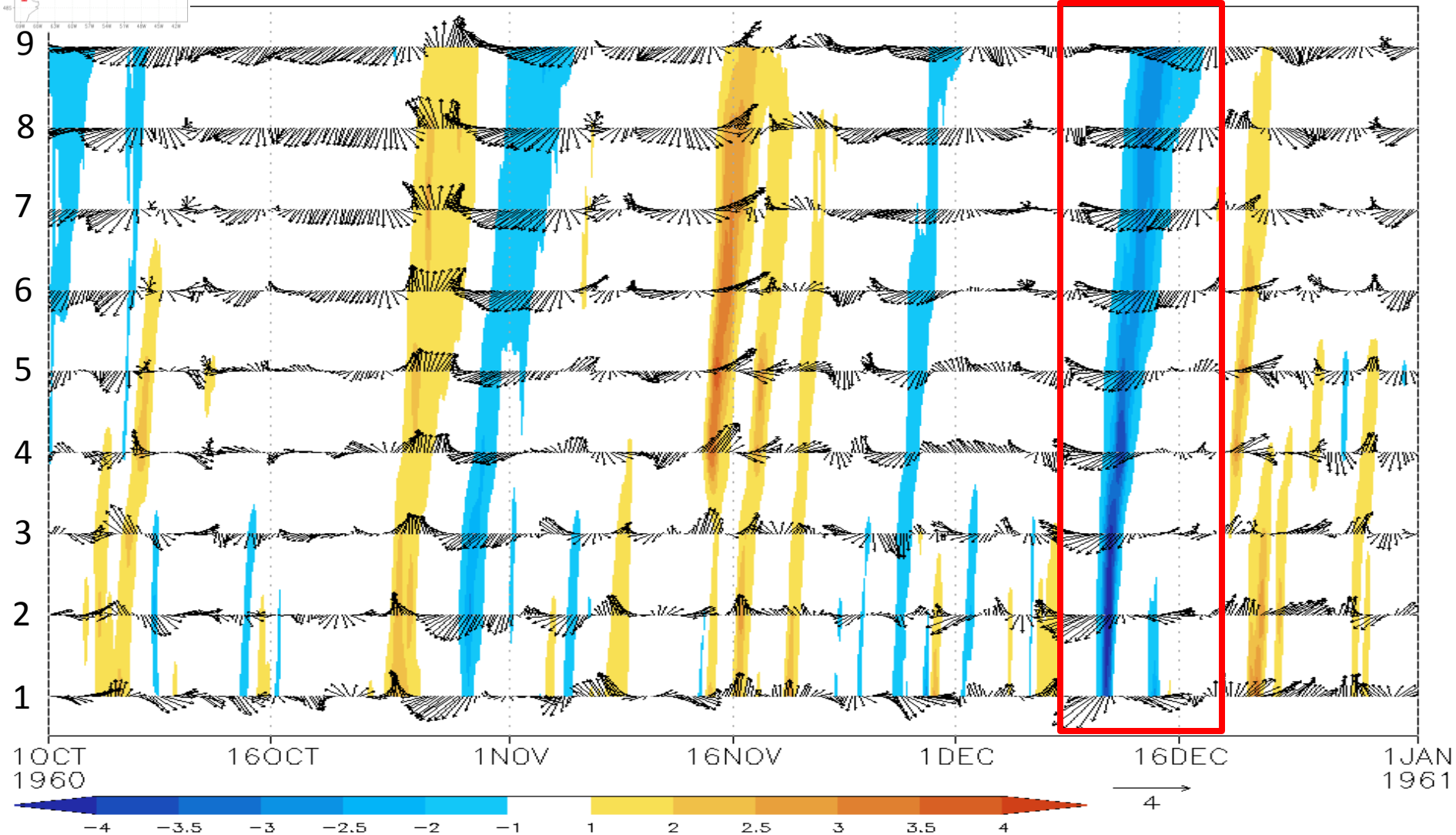
Coastal sea level and Shelf wind



CAMPOS SIMULTÂNEOS – Elevação na costa

Vento sobre a plataforma

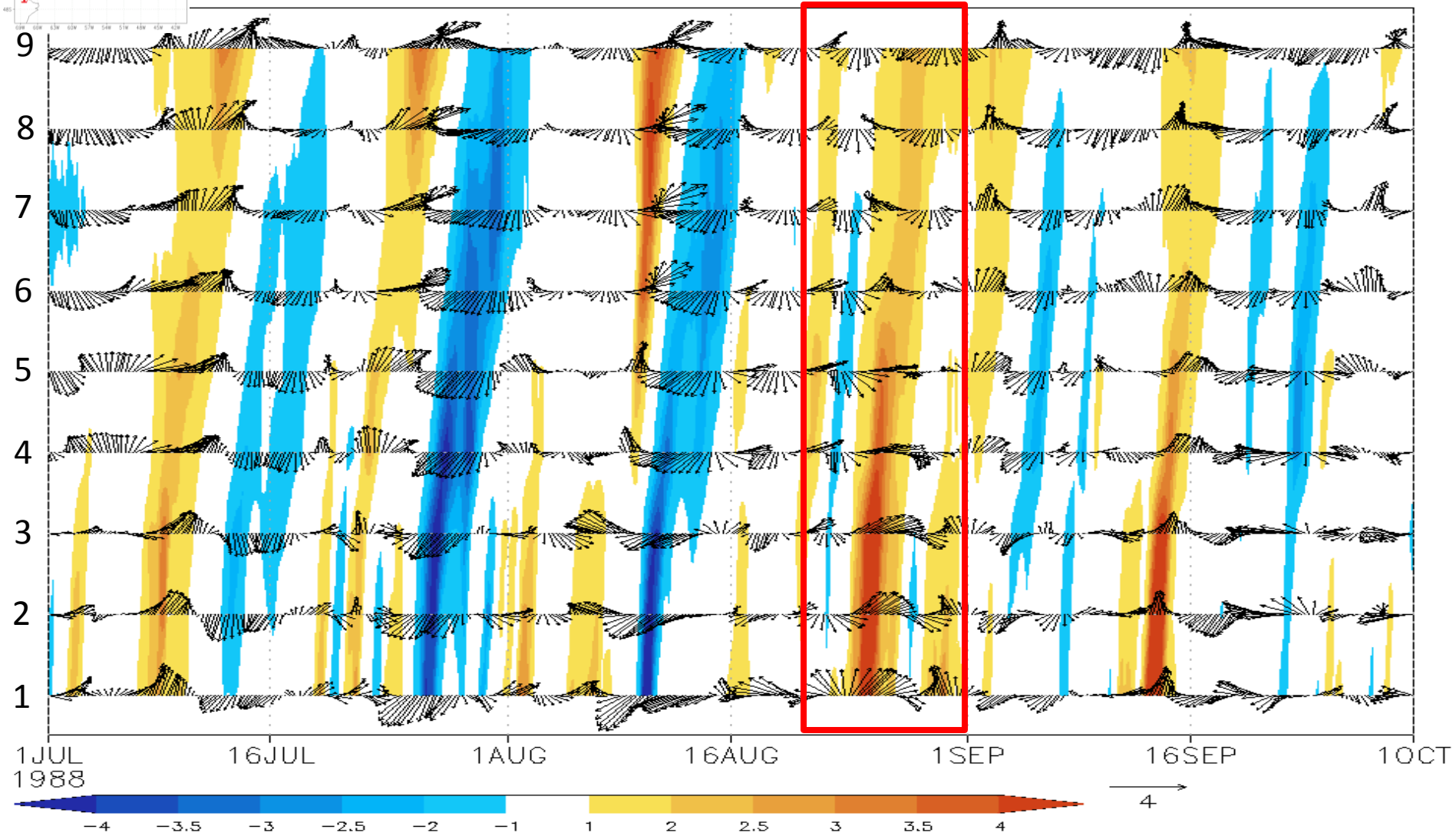
Coastal sea level and Shelf wind – Normalized



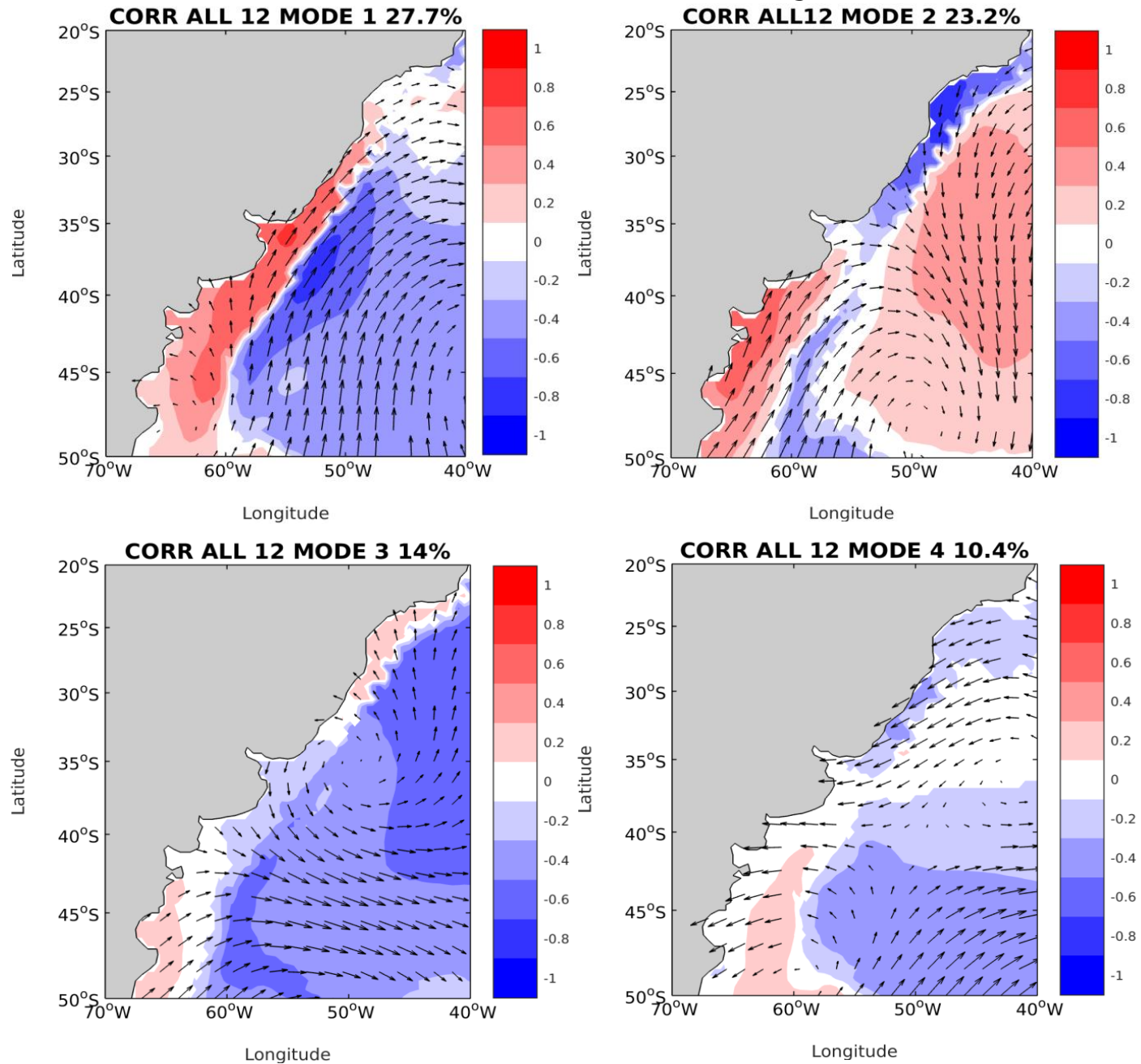
CAMPOS SIMULTÂNEOS – Elevação na costa

Vento sobre a plataforma

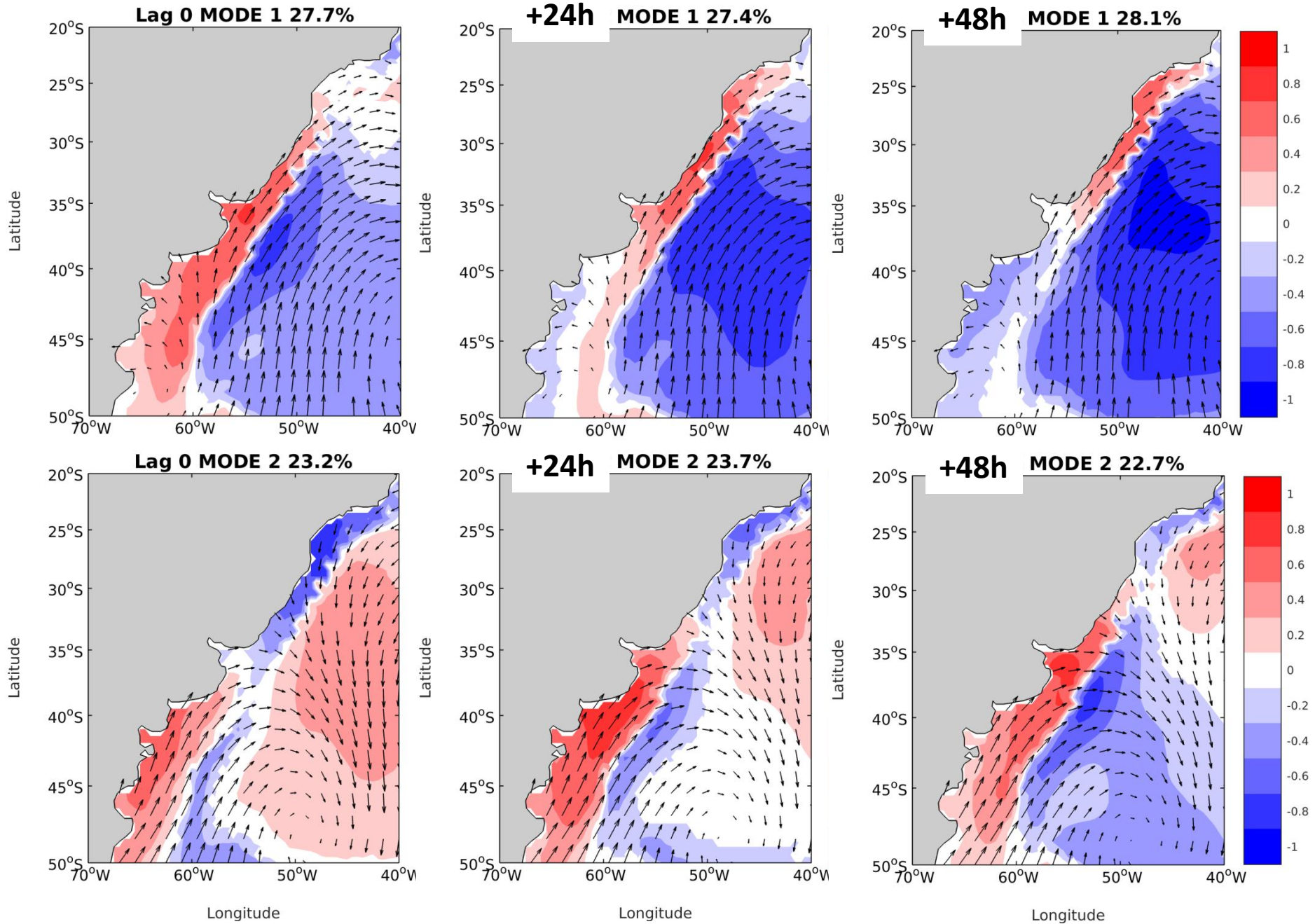
Coastal sea level and Shelf wind – Normalized



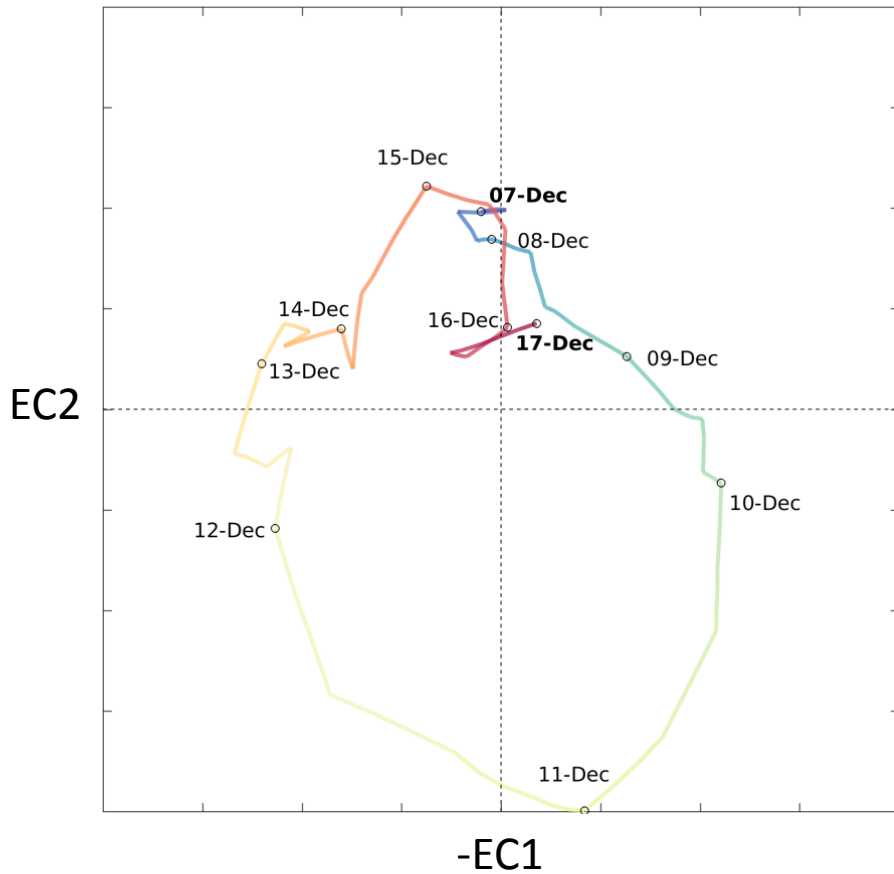
ASPECTOS DE GERAÇÃO



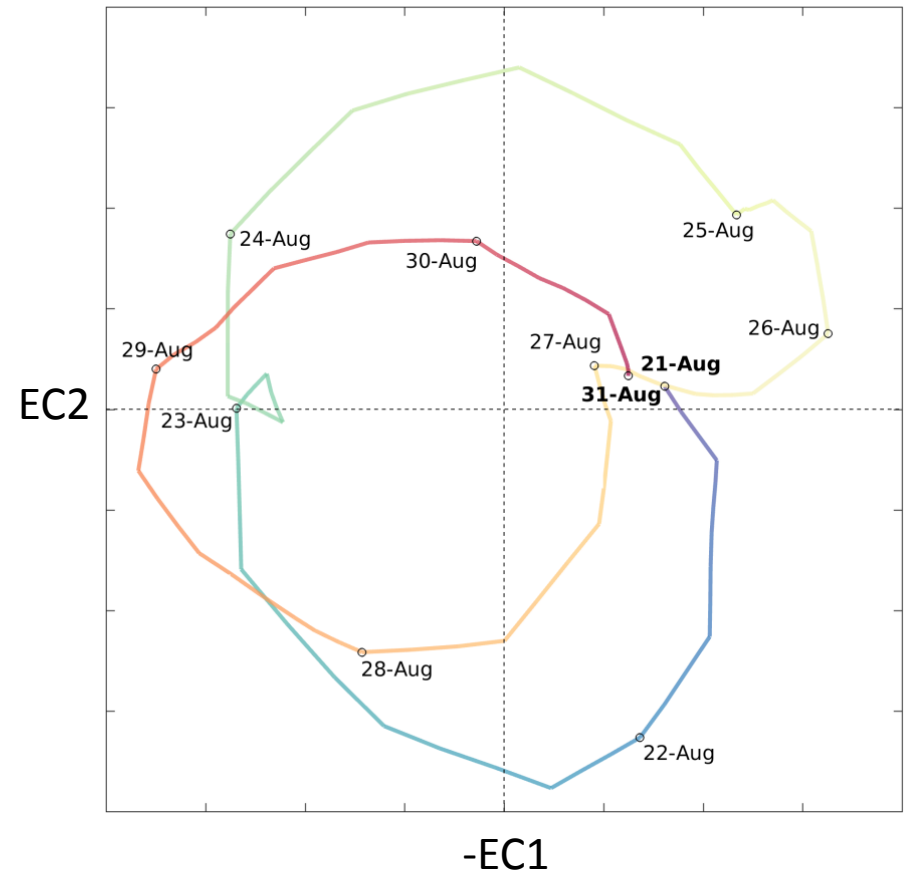
ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO



EVOLUÇÃO DOS MODOS

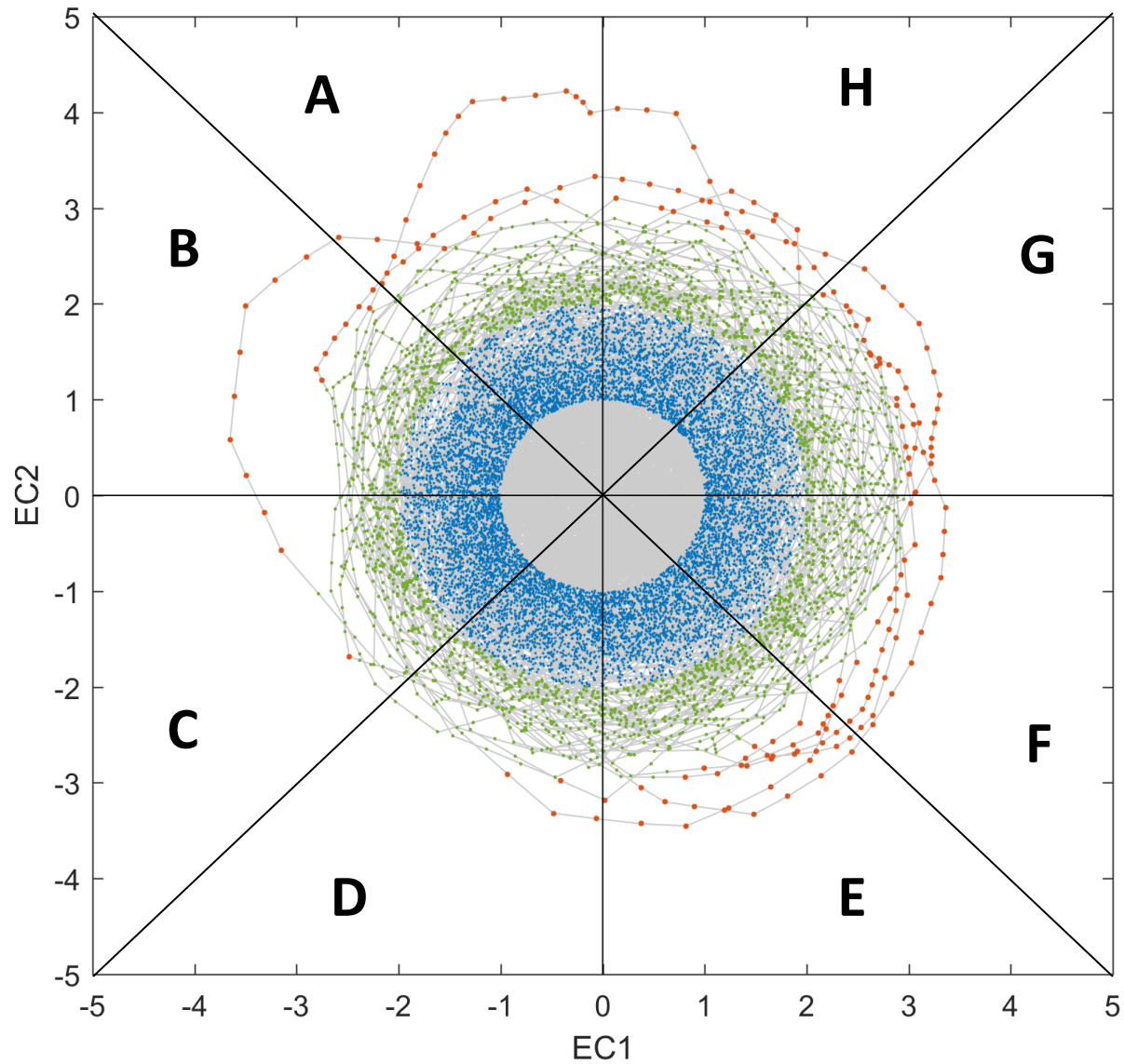


07 a 17 de dezembro de 1960



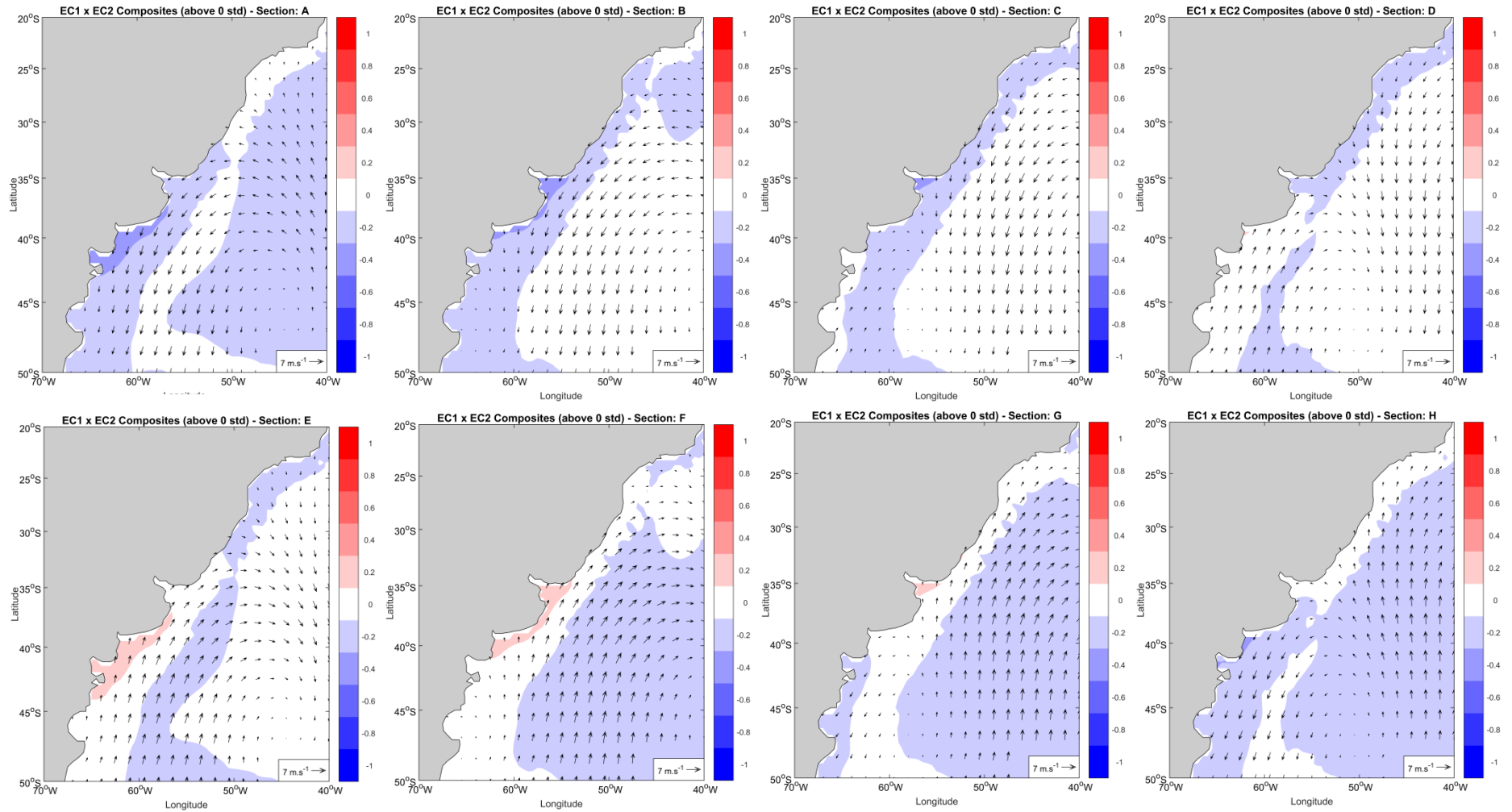
21 a 31 de agosto de 1988

ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO



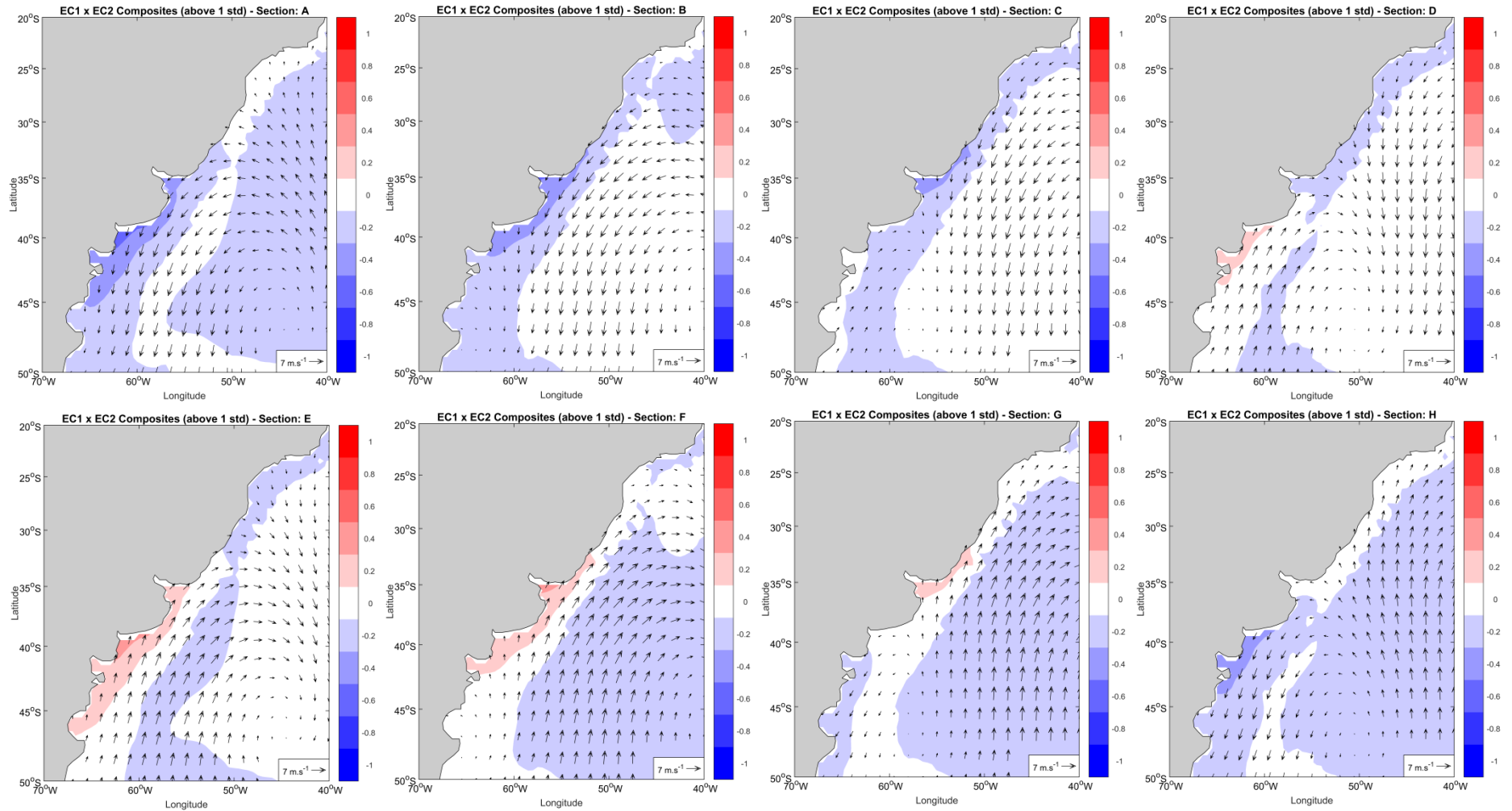
ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO

Todos os pontos do diagrama



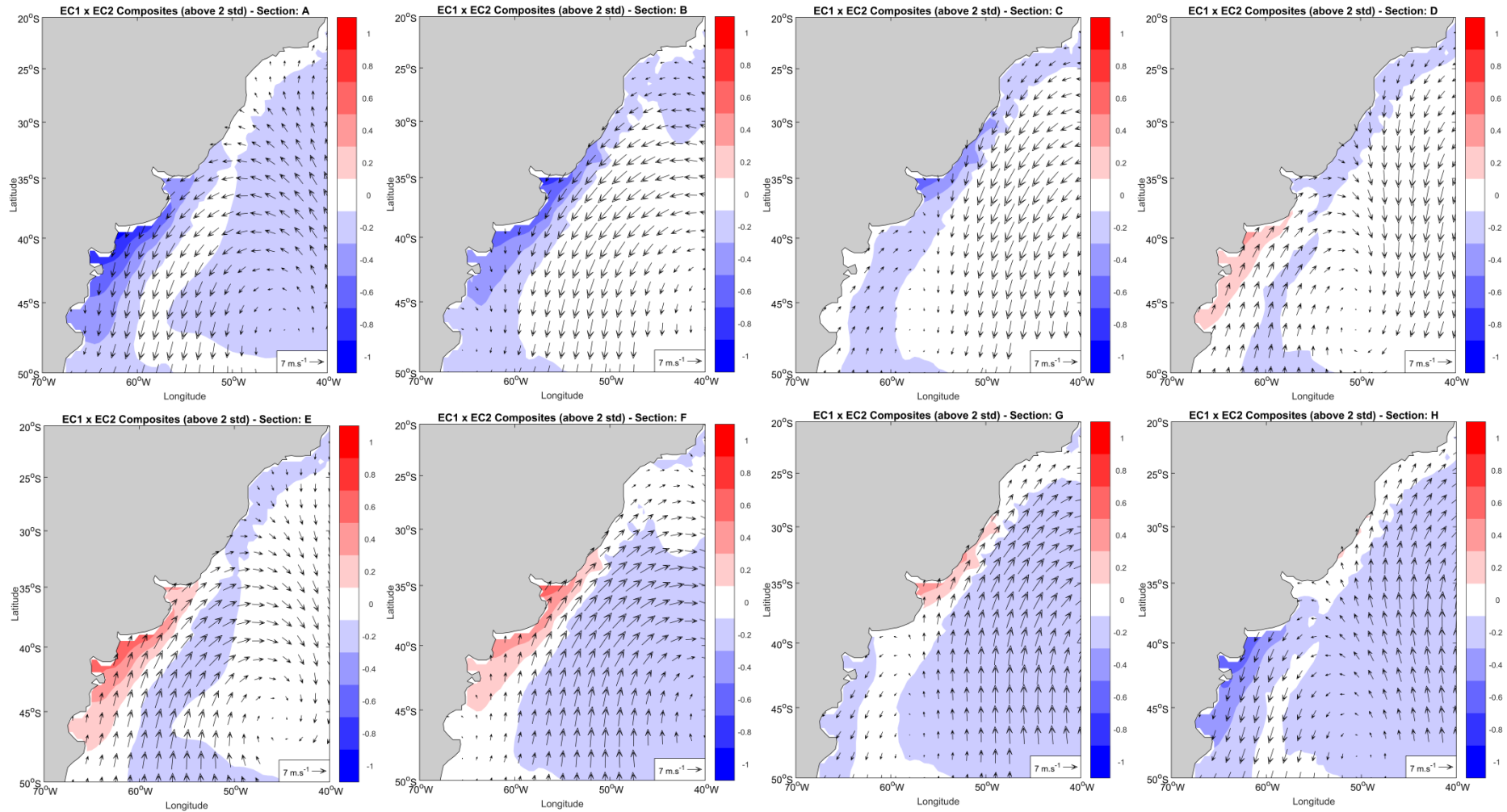
ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO

Acima de 1 desvio-padrão



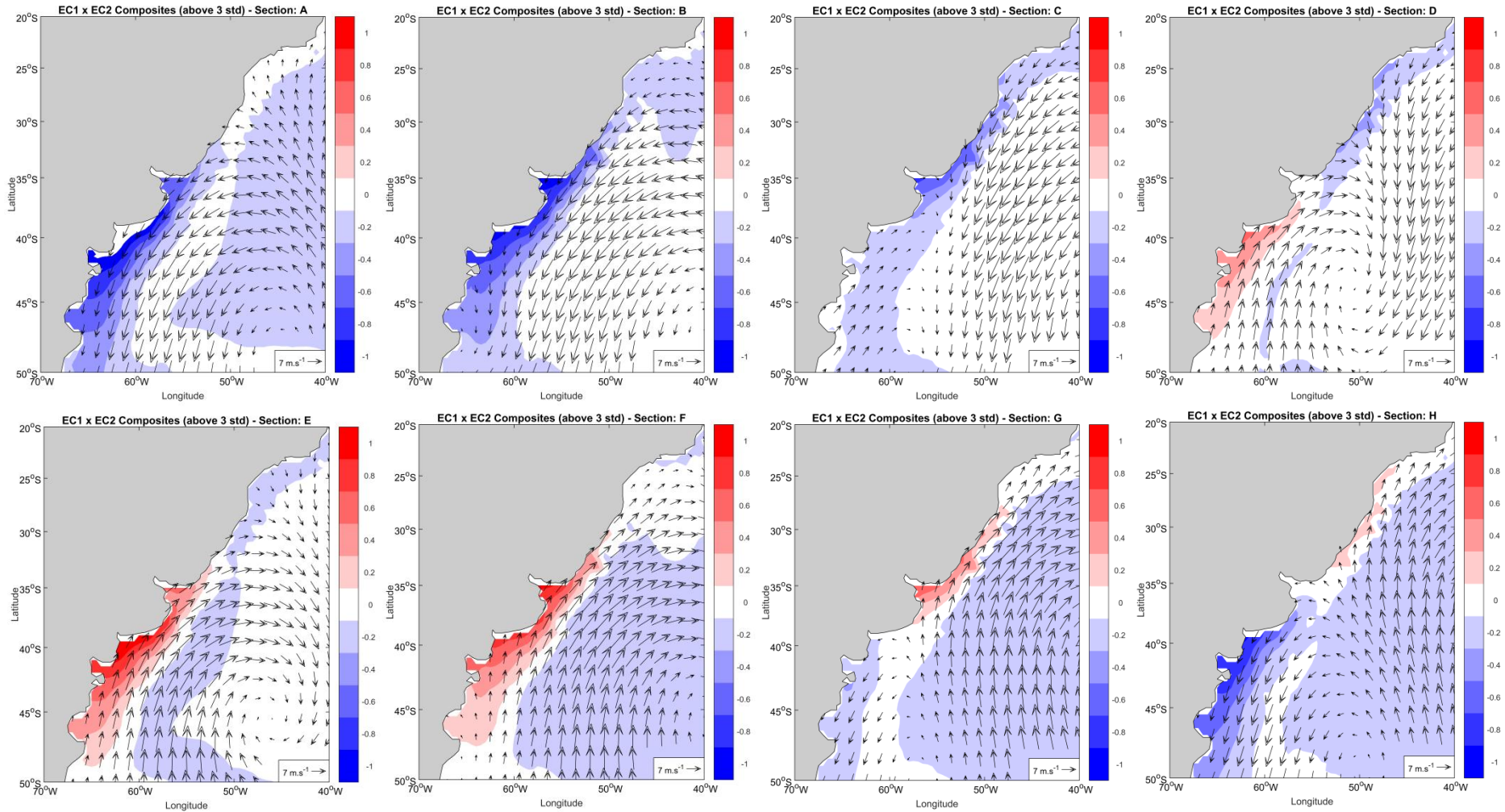
ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO

Acima de 2 desvios-padrão



ASPECTOS DE PROPAGAÇÃO

Acima de 3 desvios-padrão



DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

- maré astronômica teve representação adequada pelo modelo, embora erros de amplitude e de fase tenham sido observados, principalmente na porção sul do domínio analisado para as diurnas Q1 e O1 e para as semidiurnas M2 e S2; as maiores discrepâncias foram observadas para as componentes diurnas, onde os erros de fase alcançaram uma hora
- as séries observadas de oscilações de baixa frequência do nível do mar em doze estações costeiras ao longo da região Oeste do Atlântico Sul mostram, de maneira geral, superestimativas nas estações do centro e do norte da Argentina e as subestimativas no Sudeste do Brasil

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

- marés meteorológicas: há aderência e boa representação pelo modelo; a dependência maior para a representação deste tipo de fenômeno reside na forçante meteorológica
- do ponto de vista observacional, percebe-se que os eventos em Mar del Plata são muito mais amplificados do que aqueles que ocorrem em Puerto Deseado, o que significa que a principal área de geração de marés meteorológicas no Oeste do Atlântico Sul está localizada ao norte de 45°

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

- com as séries simultâneas de maré meteorológica e vento ficou evidente que:
 - (i) a maior frequência de ocorrência e os maiores valores ocorrem nas estações localizadas mais ao sul
 - (ii) alguns eventos são gerados ao norte de 40°S, e influenciam somente a parte norte da região de estudo, mas suas amplitudes normalmente não são as maiores
 - (iii) há eventos que influenciam toda a região Oeste do Atlântico Sul, seja de sobre-elevação ou de sub-elevação do nível médio do mar

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

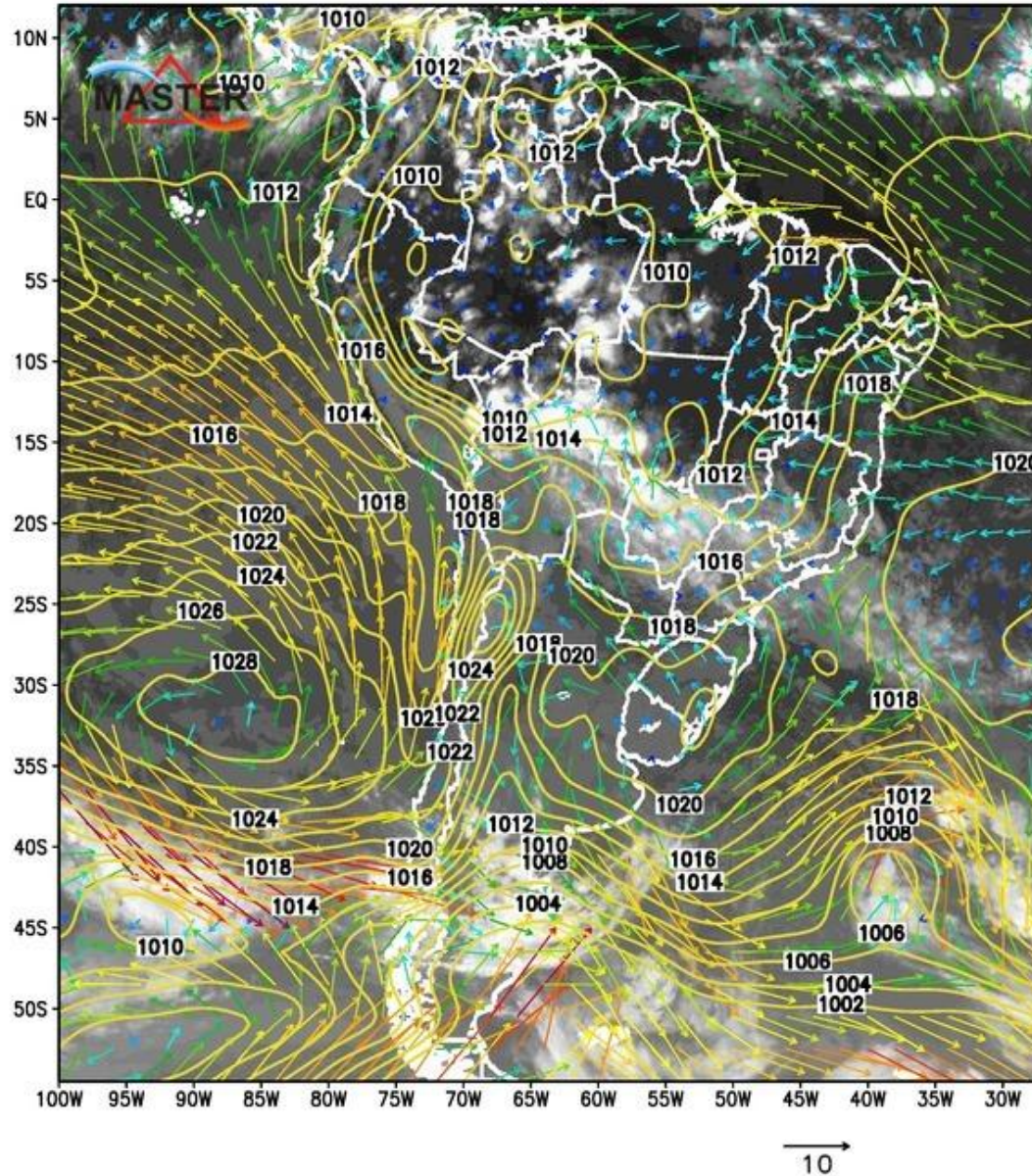
- a análise de EOF combinada mostra que os dois primeiros modos principais descrevem 50% da variabilidade conjunta dos distúrbios de baixa frequência dos campos de elevação da superfície do mar e de vento; ao incluir o 3º e o 4º modos, mais de 75% da variabilidade é descrita
- os dois primeiros modos podem ser diretamente relacionados aos transientes atmosféricos de latitudes médias, expressos por meio de curvaturas marcadamente ciclônicas e anti-ciclônicas em distintos estágios de evolução
- no âmbito desta complementaridade, o 3º e o 4º modos podem ser vistos como representações das pequenas distorções que os ciclones e anticiclones de latitudes médias apresentam entre si


DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

- os coeficientes temporais do 1º e do 2º modos alternam de polaridade no decorrer do tempo
- ao analisar a distribuição de combinações dos modos em eventos específicos de marés meteorológicas positivas e negativas, há uma clara indicação de como a evolução entre os modos ocorre, o que possibilita a construção de esquemas conceituais para este tipo de fenômeno
- a análise de EOF combinada considerando antecipação do vento como agente causador em relação aos distúrbios de elevação, em defasagens de 24 horas e de 48 horas, evidencia claramente as características propagantes do distúrbio de elevação com máximas amplitudes junto à costa

SATELLITE IMAGE, PSNM (mb) e WIND 1000mb (m/s)

GOES-12 IR 17/08/2017 00:00Z



The background of the entire slide is a composite image. The top portion shows a wide beach with waves breaking on the shore, with a city skyline and mountains in the distance under a clear sky. The bottom portion shows a modern urban street with palm trees, a circular plaza, and a multi-lane road with traffic.

The 10th International Workshop
on Modeling the Ocean

IWMO2018

WHEN /

JUNE 25 to 28, 2018

WHERE /

Mendes Plaza Hotel
Av. Marechal Floriano Peixoto, 42
Gonzaga - Santos/SP - Brazil

Obrigado pela atenção!!!