



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

BRUNO DE AGUIAR BARRETO

O PAPEL DAS ONDAS COSTEIRAS CONFINADAS NA CIRCULAÇÃO DA
PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DA BAHIA

Salvador

2025

BRUNO DE AGUIAR BARRETO

**O PAPEL DAS ONDAS COSTEIRAS CONFINADAS NA CIRCULAÇÃO DA
PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DA BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, no Instituto de Geociências, na Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

SALVADOR

2025

BRUNO DE AGUIAR BARRETO

**O PAPEL DAS ONDAS COSTEIRAS CONFINADAS NA CIRCULAÇÃO DA PLATAFORMA
CONTINENTAL NORTE DA BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, no Instituto de Geociências, na Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

Prof Dra. Janini Pereira

Msc. Breno Santos Cabral

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família. Minha mãe, professora e pesquisadora, que sempre me apoiou em todas oportunidades que apareceram ao longo da minha trajetória acadêmica. Meu pai, responsável por me fazer enxergar a vida de forma leve ao mesmo tempo, encará-la de forma confiante. Meu irmão, por toda cumplicidade e parceria, especialmente nos momentos que precisei do seu computador emprestado para trabalhar de casa. Meus tios e meus avós, fizeram com que eu tivesse uma educação e consciência alinhada com meus princípios, contribuindo diretamente para que me tornasse quem sou e quem pretendo ser. Minha namorada, que não sabe o significado da palavra desistir, e aplica isso diariamente na minha vida, fazendo com que eu tire forças que às vezes nem sabia da existência. Por fim, porém com uma importância à altura na minha vida, todas as pessoas que tenho como amigos, não poderia ser mais grato à passagem de tantas pessoas incríveis na minha vida, dentro ou fora da universidade, fazendo com que eu me sinta uma pessoa muito rica daquilo que verdadeiramente importa, do que é precioso: as relações e afetos. Sem isso tudo, definitivamente esse caminho seria mais difícil. Não poderia deixar de fora meu grande orientador, que me guiou nesse caminho de maneira fascinante, com tantos ensinamentos e parcerias, me fez crescer e mirar no topo, ao mesmo tempo que toda oportunidade de jogar conversa fora era feita de maneira descontraída e divertida.

RESUMO

Este estudo avaliou o efeito que a passagem das Ondas Costeiras Confinadas (OCC's) têm na circulação da plataforma continental norte da Bahia, especificamente no campo de correntes e na temperatura local. Foram utilizados dados observados de nível, temperatura e perfil de correntes obtidos por um ADCP fundeado a 32 metros, na Praia do Forte, e dados de vento obtidos da plataforma CCMP (Cross-Calibrated Multi-Platform) ao longo de 1 ano. Como informações acessórias, dados de nível do mar medidos por um marégrafo de Ubatuba pelo programa GLOSS-BR e de altura da superfície do mar de reanálise numérica, ao longo da costa brasileira, pelo Global Ocean Reanalysis and Simulations (GLORYS) foram obtidos. Os resultados mostram que a propagação de OCC's causam flutuações no campo de temperatura e correntes, sendo capaz de intensificar, amortecer ou inverter o fluxo de água. No que diz respeito ao processo de ressurgência na quebra da plataforma, a passagem destas ondas pode auxiliar ou interromper o evento de afloramento das águas profundas, frias e ricas em nutrientes, a partir de mecanismos gerados por gradientes de pressão, no momento em que uma crista (cavado) promove uma ascensão (depressão) no nível médio do mar. Foram encontradas altas coerências para a frequência de oscilação das OCC's entre os dados de nível e corrente, indicando uma influência na variabilidade do campo de correntes provocado pela passagem destas ondas longas. Quanto às características quantitativas e qualitativas das OCCs, foi possível identificar as médias para período e altura das ondas remanescentes que chegam no litoral baiano, sendo 15 dias e 7 cm.

Palavras-chave: Nível do Mar, Ondas Costeiras Confinadas, Praia do Forte, Período de Oscilação, Variabilidade Sub-inercial, Ressurgência

ABSTRACT

This study assessed the effect of Coastal Trapped Waves (CTW's) on the circulation over the northern Bahia continental shelf, specifically on the local current and temperature fields. Observed data of sea level, temperature, and current profiles were obtained from a bottom-mounted ADCP deployed at 32 m depth off Praia do Forte, complemented by wind data from the Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) product over a one-year period. Ancillary datasets included sea level measurements from a tide gauge in Ubatuba (São Paulo) provided by the Brazilian component of the Global Sea Level Observing System (GLOSS-BR), as well as sea surface height from the Global Ocean Reanalysis and Simulations (GLORYS) along the Brazilian coast. The results demonstrate that CTW propagation induces fluctuations in the temperature and current fields, capable of intensifying, damping, or even reversing the alongshore flow. Regarding shelf-break upwelling, the passage of these waves can either enhance or suppress the upwelling of cold, nutrient-rich subsurface waters, through mechanisms driven by pressure gradients, when a ridge (trough) induces sea level rise (depression). High coherence was found at CTW oscillation frequencies between sea level and current time series, indicating a significant influence of these long waves on current variability. Quantitative and qualitative characteristics of the residual CTW's reaching the Bahian coast were also identified, with mean period and height of approximately 15 days and 7 cm, respectively.

Keywords: Sea Level, Coastal Trapped Waves, Praia do Forte, Oscillation Period, Subinertial Variability, Upwelling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem esquemática da propagação de uma OCC, interagindo junto à costa. Retirado de: https://www.physocean.icm.csic.es/	10
Figura 2 – Imagem esquemática dos mecanismos que geram a ressurgência costeira. MLD – Profundidade de Camada de Mistura; TCD – Profundidade da termoclina; Retirado de Kim et al. (2023).....	12
Figura 3 – Mapa da área de estudo: Salvador e Praia do Forte com contornos batimétricos. A cruz amarela corresponde ao ADCP fundeado, quadrado branco ao elemento de grade do CCMP, pontos vermelhos às estações retiradas do GLORYS.....	13
Figura 4 – ADCP fundeado à sua estrutura de concreto.	15
Figura 5 – Análise espectral das séries observadas em PF. As cores que contornam o quadrado indicam picos de energia associados para cada série.	17
Figura 6 – Séries temporais filtradas de PF A) de nível do mar; B) temperatura de fundo em vermelho, linha preta representa a média móvel; C) anomalia da temperatura, com base na média móvel, linha tracejada vermelha indica o sinal de ressurgência; D) linha preta (verde) indica o componente longitudinal do vento (corrente média) no eixo principal (secundário).....	19
Figura 7 – Hovmollers para os campos de corrente filtrados na banda sub-inercial; A) componente transversal à costa (U); B) componente longitudinal à costa (V);.....	20
Figura 8 - Séries de altura da superfície do mar para cada estação, retiradas do GLORYS, sem filtragem.....	21
Figura 9 – Análise de correlação progressiva, para cada defasagem no tempo; linha preta para série completa, azul para inverno e vermelho para verão.	21
Figura 10 – A) série temporal do nível para PF, sinalizando os momentos em que houve um cruzamento no eixo 0, capturando ondas individuais; B) altura (linha azul, eixo principal) e período (linha laranja, eixo secundário).....	22
Figura 11 - A) série temporal do nível para Ubatuba, sinalizando os momentos em que houve um cruzamento no eixo 0, capturando ondas individuais; B) altura (linha azul, eixo principal) e período (linha laranja, eixo secundário).....	22
Figura 12 – Análise espectral cruzada entre séries de vento (variável independente) e nível e corrente longitudinal (variáveis dependentes).....	24
Figura 13 – Análise espectral cruzada entre séries de corrente (variável independente) e nível (variável dependente).....	24
Figura 14 – Dados observados de PF; A) vento (linha preta, eixo principal) e corrente (linha verde, eixo secundário); B) nível, as linhas destacadas em vermelho são as correspondentes à ondulações que passaram por Ubatuba e alcançaram a costa, resgatando Figura 8 ; C) anomalia de temperatura, 2 eventos destacados a serem analisados.	25

<i>Figura 15 – Correlação móvel, entre vento e nível (linha azul) e entre vento e corrente (linha verde). Os 2 eventos investigados estão destacados com linha pontilhada e numerados.</i>	<i>26</i>
Figura 16 – A) nível, as linhas destacadas em vermelho são as correspondentes à ondulações que passaram por Ubatuba e alcançaram a costa, resgatando Figura 9; B) hovmoller da componente zonal sub-inercial, 25% mais profundo da coluna d’água destacado com o retângulo amarelo tracejado; C) anomalia de temperatura, 2 eventos destacados a serem analisados.	27
Figura 17 – A, B e C mostra a componente zonal das correntes ao longo da seção transversal; D, E e F mostra a componente meridional das correntes ao longo da seção transversal; G, H e I mostra o campo de temperatura ao longo da seção transversal, antes (09/04), no momento (11/04) e depois (13/04) da passagem da cava de uma OCC.	28
Figura 18 - A, B e C mostra a componente zonal das correntes ao longo da seção transversal; D, E e F mostra a componente meridional das correntes ao longo da seção transversal; G, H e I mostra o campo de temperatura ao longo da seção transversal, antes (18/09), no momento (20/09) e depois (22/09) da passagem da cava de uma OCC.	28
Figura 19 – Hovmoller de anomalia de altura da superfície do mar, dados de reanálise oceânica GLORYS. O ponto de grade escolhido foi o mais próximo à costa possível.	23
Figura 20 – A) série filtrada de nível para PF; B) série de nível filtrada para Ubatuba; Linhas tracejadas indicam a propagação das OCC’s, entre as estações.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de correlação (R) entre as séries filtradas observadas em PF, para todo o período de investigação.....	20
--	----

Sumário

1	Introdução.....	9
2	Area de Estudo	12
3	Metodologia.....	14
4	Resultados.....	18
5	Discussão	29
6	conclusão	31
7	Referências.....	33

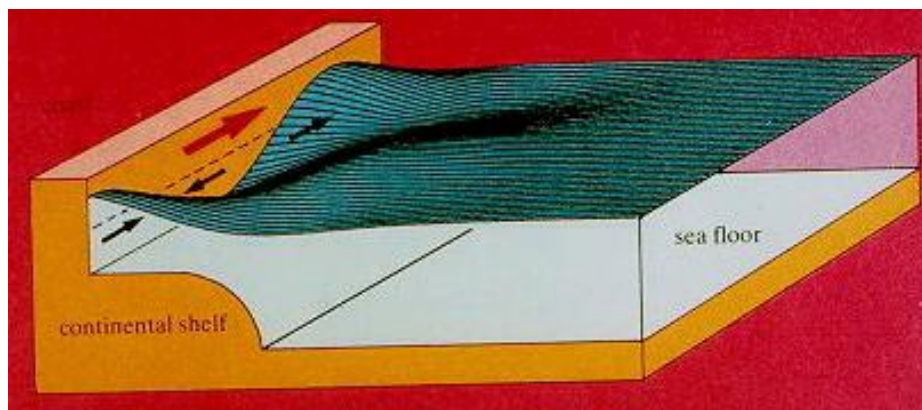
1 INTRODUÇÃO

O Nível Médio do Mar (NMM) é modulado pela contribuição de oscilações de diferentes bandas de frequência. Oscilações no intervalo espectral das marés astronômicas têm a maior contribuição energética, seguido pelas marés meteorológicas ou radiacionais, geradas por fenômenos atmosféricos que abrangem uma larga escala espaço-temporal, provocando o movimento de ondas longas de natureza planetária (Vianello & Alves, 1991). Estas ondas longas, quando costeiras, foram observadas primeiramente por Hamon (1962) na costa leste da Austrália e são responsáveis por transportar efeitos remotos do vento para outras porções da plataforma continental (Gill & Schumann, 1974). Estas ondas longas, ao interagirem com as marés astronômicas, podem sobre-elevar o nível do mar e causar inundações costeiras. Áreas de baixo relevo e densamente povoadas podem vir a sofrer mais com essas anomalias de nível. Da mesma forma, as ondas longas podem gerar anomalias negativas no nível do mar e causar dificuldades para navegação, diminuindo por exemplo a eficiência de operações portuárias (Campos et al., 2010).

As ondas longas podem ser classificadas como tsunamis, ondas de Rosby, ondas de Kelvin e ondas costeiras confinadas, estando relativamente associadas a fluxos importantes sobre a plataforma, influenciando no transporte de massas d'água e sedimentos (Pomeroy et al., 2015). As ondas costeiras confinadas (OCC's) são forçadas pelo estresse do vento remoto na superfície oceânica, e por terem frequência sub-inercial são identificadas em registros maregráficos após eliminação das oscilações na banda de frequência mareal, ou oscilações com frequência superior a 10^{-2} ciclos por hora (Pugh, 1987).

As OCC's se propagam ao longo da plataforma como simples ondas não dispersivas (ondas de Kelvin ou OCC modo zero – Figura 1) e ondas complexas dispersivas (OCC's com vários nós) (Adams and Buchwald 1969; Gill and Schumann 1974; Gill 2016). As OCC's viajam ao redor do mundo com escala espacial de 10^4 - 10^6 m gerando amplitudes no nível do mar na ordem de 10^{-1} - 10^0 m, tendo um papel importante na variabilidade da altura do nível do mar (SSH) e de correntes em regiões da plataforma continental e

do talude (De Freitas et al., 2021). Sua propagação gera uma transmissão de energia entre diferentes latitudes e até para o interior do oceano.



*Figura 1 – Imagem esquemática da propagação de uma OCC, interagindo junto à costa.
Retirado de: <https://www.physocean.icm.csic.es/>*

A propagação de OCC's na América do Sul foi investigada por vários autores, como Castro (1985), Castro & Lee (1995), Dottori e Castro (2009), e de Freitas et al. (2021). Castro (1985) e Castro & Lee (1995), ao analisarem dados de nível do mar e vento para o período de inverno, verificaram que as oscilações sub-inerciais do nível do mar, especialmente em Ubatuba (SP), eram sinais de ondas costeiras com períodos entre 6 e 12 dias. Um pouco depois, Castro (1997) identificou níveis máximos de energia para as correntes paralelas à costa em duas bandas de frequência, com períodos entre 6 e 8 dias e entre 10 e 16 dias. Já Dottori e Castro (2009) observaram que, nas regiões intermediárias da plataforma continental sudeste brasileira, as oscilações sub-inerciais ocorrem em períodos de 4 a 12 dias, semelhante às oscilações dos ventos gerados por sistemas sinóticos, podendo causar flutuações no NMM local.

Mais recentemente De Freitas et al. (2021) investigaram a propagação destas ondas ao longo da plataforma continental sul-americana entre 45°S e 12°S entre 2008 e 2018 com dados de elevação e correntes medidos in-situ e simulações numéricas com o modelo HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model). Os autores mostram que as OCC's apresentam características de ondas mistas (barotrópicas e baroclínicas) bem estabelecidas e que são geradas entre o sul do Brasil e norte da Argentina, com progressiva perda de energia ao longo da sua propagação devido às variações do contorno da margem continental e na batimetria e largura da plataforma continental. A

maior perda de energia foi observada, entre a cidade de Macaé (RJ) e o Banco de Abrolhos (BA), caracterizando a principal área de dispersão de energia das OCC's com período entre 3 e 30 dias. Por fim, verificou-se que as OCC's com períodos mais curtos (entre 3 e 10 dias) e velocidade de fase maior (8-10 m/s), têm propagação interrompida entre 22 °S e 15 °S, enquanto que as OCC's com períodos entre 15 e 30 dias, apesar de apresentarem menor velocidade (3-6 m/s), propagam-se além de 10.5 °S.

Fenômenos oscilatórios de baixa frequência têm capacidade de modular processos de mesoescala, como a ressurgência costeira (Körner, 2024). É bem estabelecido que o transporte de Ekman positivo gera um gradiente de pressão em direção ao oceano aberto, que acaba por causar um jato geostrófico ao longo da plataforma continental externa, ou na quebra da plataforma, que ao tocar o fundo origina uma camada de Ekman e transporte resultante de água contra a costa, como mostra o esquema na Figura 2. Acredita-se que as OCC's podem também facilitar o processo de ressurgência, ao passo que De Freitas, et al. (2021) observaram que há uma forte coerência entre as séries temporais filtradas de nível e correntes obtidas a 50m de profundidade, sendo um indicativo que a propagação de OCC's pode exercer um papel importante na variabilidade da corrente na margem continental, tendo uma capacidade relativa de modular a ressurgência costeira. Em uma OCC barotrópica, a passagem da cava da onda gera um gradiente de pressão costa afora coincidente com correntes direcionadas para o sul.

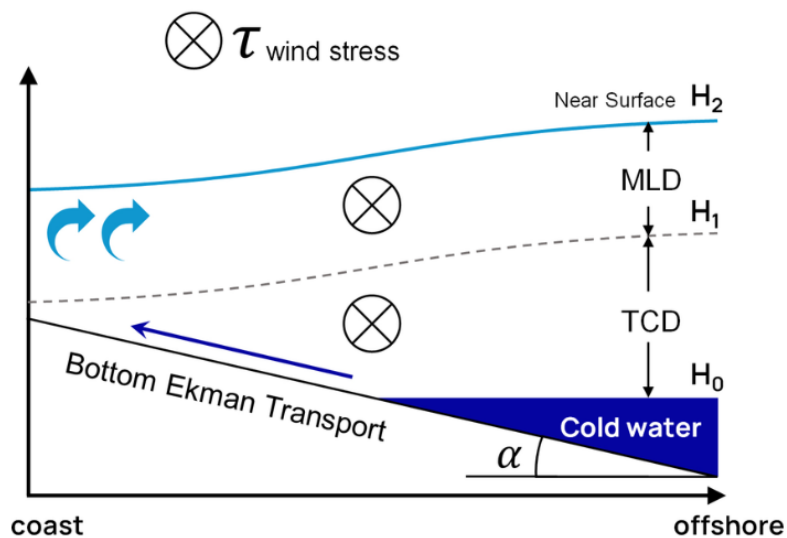


Figura 2 – Imagem esquemática dos mecanismos que geram a ressurgência costeira. MLD – Profundidade de Camada de Mistura; TCD – Profundidade da termocline; Retirado de Kim et al. (2023).

O objetivo principal deste trabalho é investigar se as OCC's no litoral norte da Bahia, mesmo após sofrerem forte amortecimento, conseguem influenciar o campo de correntes e temperatura locais. Esta análise será baseada em séries temporais de 1 ano de nível, correntes e temperatura da água, juntamente com dados de vento. Como objetivos específicos, são listados:

- Investigar a variabilidade do escoamento, da variação do nível e da temperatura;
- Determinar a correlação entre o escoamento meridional à plataforma e as variações do nível médio local, do vento e da temperatura da água;
- Quantificar e caracterizar as OCC's registradas;
- Avaliar a capacidade da OCC's de promover/facilitar a ressurgência de quebra da plataforma continental na região;

2 AREA DE ESTUDO

A plataforma continental baiana (Figura 3) ao norte do Banco de Abrolhos (18°S) é rasa e a mais estreita do Brasil, com aproximadamente 8 km de largura próximo a Salvador, e profundidade de quebra entre 70 e 80 metros (Dominguez et al., 2013).

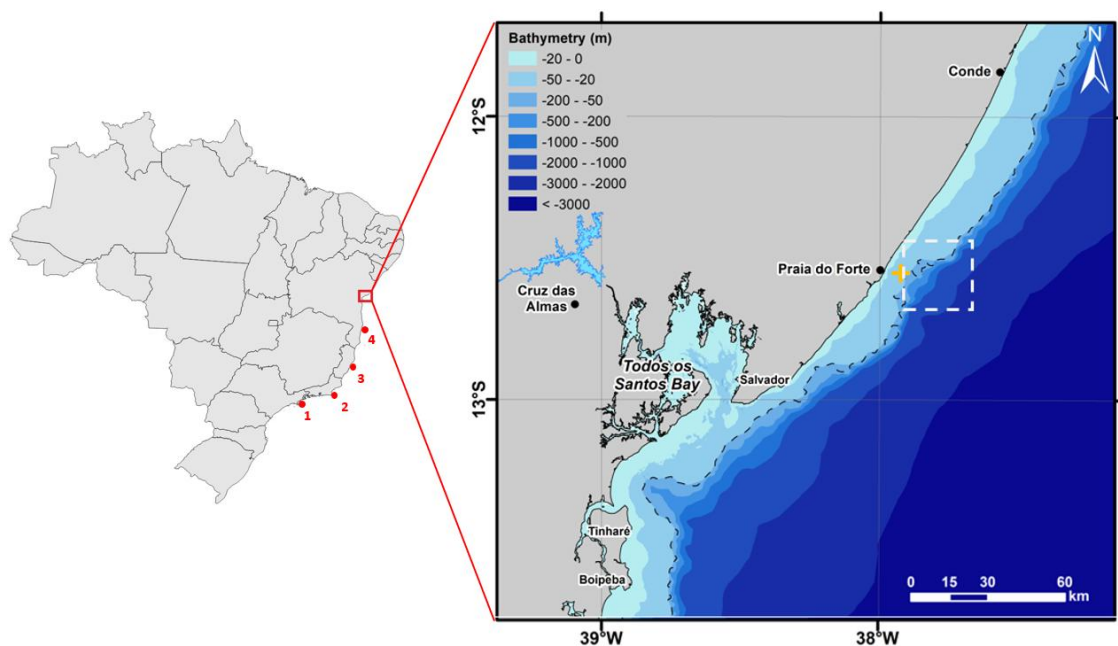


Figura 3 – Mapa da área de estudo: Salvador e Praia do Forte com contornos batimétricos. A cruz amarela corresponde ao ADCP fundeado, quadrado branco ao elemento de grade do CCMP, pontos vermelhos às estações retiradas do GLORYS.

A área de estudo é dominada pela Água Tropical (AT), predominantemente oligotrófica, com temperaturas elevadas ($> 20^{\circ}\text{C}$) e salinidade variando em torno de 36, transportada na borda da plataforma pela incipiente Corrente do Brasil, que se estabelece entre os meses primavera e verão (Emílsson, 1961). A maré é semi-diurna, com amplitude média em sizígia de 2,28 m no porto de Salvador (Lessa et al., submetido). Cirano e Lessa (2007) mostram que as correntes de maré na plataforma ao norte de Salvador explicam apenas cerca de 10% da variância das correntes, com magnitude máxima do eixo maior da elipse de apenas 4 cm/s para a componente diurna O1.

A costa norte do Estado da Bahia está inteiramente situada no cinturão de ventos alísios do Atlântico Sul (NE - E - SE), relacionada às células de alta pressão presentes no Atlântico Sul (BITTENCOURT et al., 2000). Este padrão de circulação faz com que a costa seja alcançada por ventos provenientes do NE e E durante o período primavera-verão e ventos vindos do SE e E durante outono-inverno, associados à maior ocorrência de passagem de sistemas frontais (BITTENCOURT et al. 2000).

As correntes longitudinais sobre a plataforma, forçadas pelos ventos, apresentam forte variabilidade sazonal (Amorim et al., 2012). A velocidade máxima positiva (negativa) foi de

0,5 (–0,6) m/s, ocorrendo em junho de 2015 (novembro de 2015). A velocidade do fluxo próximo ao fundo foi muito menor, com valores máximos positivos (negativos) de aproximadamente 0,2 (–0,2) m/s em junho de 2016 (novembro de 2016). A sazonalidade nessa camada de fundo foi menos evidente do que na superfície, e a direção média oposta à da circulação superficial (Thévenin et al. 2019).

A circulação transversal da plataforma foi cerca de uma ordem de grandeza mais fraca do que os fluxos longitudinais, e também se observa uma sazonalidade. Durante os meses de primavera e verão, associados a eventos de ressurgência forçados pelo campo de vento, são observados fluxos direcionados para o oceano na superfície e para o continente no fundo (Thévenin et al. 2019). No outono e inverno, o fluxo médio é direcionado para o oceano.

3 METODOLOGIA

Para este trabalho foram utilizados dados de nível do mar, de temperatura média da água no fundo e perfis verticais de corrente disponibilizados pelo Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira – SiMCosta (estação BA-2) através do portal: <https://simcosta.furg.br/home>. Estes dados são coletados de maneira contínua por um perfilador acústico de correntes (ADCP) de 600 kHz, fundeado a aproximadamente 4 km da costa à frente de Praia do Forte (PF) - Figura 4-, a uma profundidade de 32 metros, desde novembro de 2014. O instrumento coleta dados de maneira contínua, promediando 1 minuto de leitura a cada hora e discretizando a coluna d'água em intervalos verticais de 1 metro. Os dados analisados correspondem a uma janela temporal de 1 ano, entre 15/11/2016 e 15/11/2017, por ter sido um período com poucos gaps temporais e que abrange todas as estações do ano. Este intervalo de tempo analisado dá continuidade às series temporais trabalhadas por Thevenin et al. (2019), sendo possível a comparação entre resultados. A operação de recuperação dos dados é realizada trimestralmente com apoio logístico do Projeto TAMAR e da Base Náutica.



Figura 4 – ADCP fundeado à sua estrutura de concreto.

Dados de vento a 10 m de altura, com resolução temporal de 6 horas, foram obtidos junto ao Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP¹) para um elemento de grade com resolução espacial de 0.25° centrado na frente de Praia do Forte (Figura 3). Estes dados, com extensão temporal semelhante à série hidrodinâmica, são provenientes de leituras de sensores micro-ondas acoplados em satélites, com preenchimento de lacunas com dados de reanálise global.

A fim de verificar a origem, a propagação e o impacto na circulação local das OCC's identificadas, foram obtidos dados de reanálise numérica de nível de outros pontos da costa brasileira junto ao Serviço Copernicus de Monitoramento do Meio Marinho² (CMEMS, 2025). As localidades escolhidas foram: Ubatuba (SP, #1), Cabo Frio (RJ, #2), Vitória (ES, #3) e Abrolhos (BA, #4) indicadas na Figura 3, e dados de perfil de correntes e de temperatura para PF, sempre selecionando os pontos da grade mais próximos da costa. Dados observados de nível para estação de Ubatuba (GLOSS-BR) entre o período de 15/11/2016 e 10/07/2017, foram obtidos através de um marégrafo e disponibilizados pelo Centro de Nível do Mar da Universidade do Hawaii (UHSLC). A lacuna de dados existente nesta estação entre 10/07/2017 e 15/11/2017 foi preenchida com os dados

¹ <https://www.remss.com/measurements/ccmp/>

² <https://data.marine.copernicus.eu/>

de reanálise CMEMS. Os dados de reanálise não foram submetidos a filtragem, devido à sua resolução temporal diária, removendo assim as oscilações de maré e preservando apenas a elevação do nível do mar.

O processamento dos dados foi executado com o software Matlab. Os dados observados passaram inicialmente por uma análise de consistência, eliminando valores espúrios e preenchendo lacunas de dados com extensão de até 6 horas, a partir de interpolação linear.

Vetores de corrente e vento foram decompostos e rotacionados para obtenção dos componentes dos escoamentos longitudinal (V) e transversal (U) à costa através das equações $V = \text{vel} * \cos(\text{dir}-40^\circ)$ e $U = \text{vel} * \sin(\text{dir}-40^\circ)$, onde vel e dir são a magnitude e direção do vetor velocidade e 40° é a orientação da linha de costa em relação ao norte geográfico. Valores positivos (negativos) de U indicam fluxo em direção ao oceano (à costa) e valores positivos (negativos) de V indicam fluxo em direção costa acima (abaixo).

O espectrograma (Figura 5) para as séries temporais observadas de nível, vento, correntes e temperatura foi realizado utilizando a função 'specs' do MATLAB, a qual calcula a densidade espectral de potência (energia) em função das diferentes frequências de oscilação para cada série. A função implementa uma estimativa baseada na transformada rápida de Fourier (FFT), seguindo abordagens concisas de análise espectral (Percival & Walden, 1993). Esta análise revelou um pico de energia comum entre todas as variáveis na frequência de aproximadamente 8×10^{-3} ciclos/hora, ou 5,3 dias, sendo um pico espectral característico das OCC's (De Freitas et al. 2021). Posteriormente, todas as séries temporais foram submetidas a um filtro passa-baixa Lanczos com essa frequência de corte, a fim de isolar a banda de frequência associada a eventos com períodos oscilatórios superiores a 5,34 dias, como as OCC's.

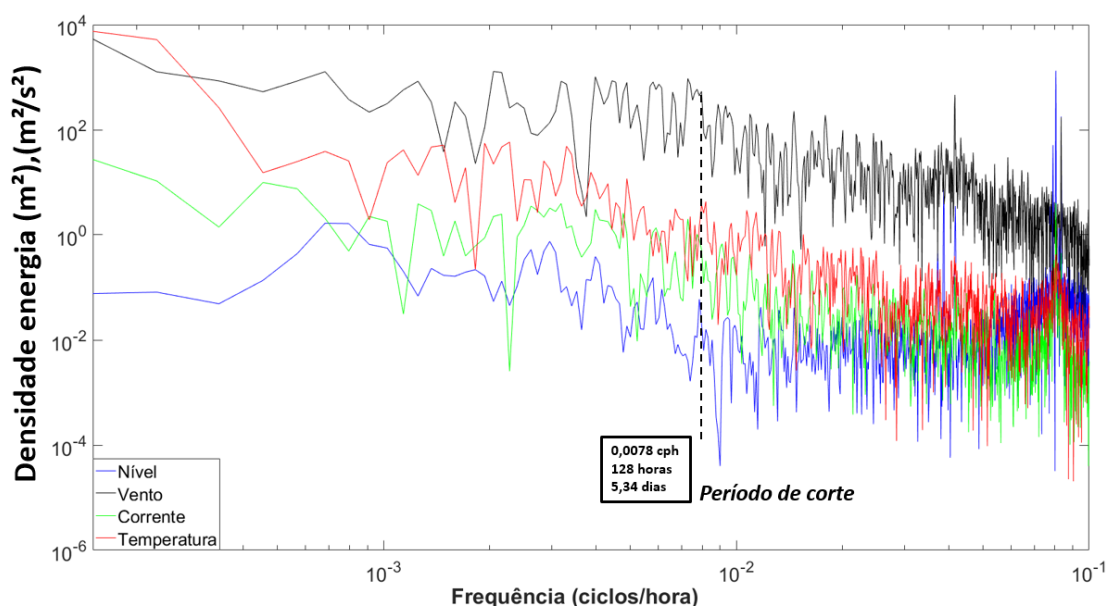


Figura 5 – Análise espectral das séries observadas em PF e período de corte indicado.

Para calcular as alturas e períodos das OCC's foi utilizado a técnica do upward zero-crossing que identifica e caracteriza cada onda individual a partir dos pontos em que o sinal cruza de maneira ascendente o nível médio. Para as alturas, basta subtrair a crista pela cava, sendo que o período da onda foi determinado pelo intervalo entre os momentos de zero-crossing.

Adicionalmente, foi feita uma análise de correlação progressiva entre as séries filtradas de Ubatuba e Praia do Forte com defasagens de até 288 horas (12 dias). O objetivo foi verificar qual a defasagem temporal representativa para o período de dados analisados. Junto a isso, foi feita uma análise espectral cruzada entre as séries, a fim de verificar a coerência e fase das oscilações estatisticamente significativas. A análise da coerência espectral indica em quais bandas de frequência essas relações são significativas (coerência > 0.6), enquanto a fase revela a sequência causal e os tempos característicos de resposta do parâmetro, em dias. Por fim, foi realizada uma análise de correlação móvel de 15 dias, sendo 7,5 dias antes e 7,5 dias posteriores ao instante interessado, entre as séries de vento, nível e correntes.

Adaptando a metodologia de Aguiar et al. (2014) e Thévenin et al. (2019), os eventos de ressurgência foram identificados a partir de anomalias negativas de temperatura

superiores a $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ relativas à média-móvel de 30 dias, sendo 15 dias antes e 15 dias posteriores ao momento de interesse.

4 RESULTADOS

A Figura 6 mostra todas as séries filtradas dos dados observados para a estação de PF. A série de nível d'água (Figura 6a) evidencia a manifestação das OCC's no nível do mar, com suas cristas e cavados, tendo uma amplitude máxima de aproximadamente 10 cm. A amplitude térmica máxima da água para este período foi de $4,75^{\circ}\text{C}$ (Figura 6b), enquanto se observa 11 eventos de ressurgências de quebra de plataforma, momentos com uma anomalia que supera $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação a média móvel de 30 dias, com maior ocorrência nas estações de primavera/verão (Figura 6c) e uma ausência destas oscilações no outono/inverno. O evento mais intenso ocorreu entre 31/01/2017 e 09/02/2017, com um resfriamento total de $2,56^{\circ}\text{C}$ ao longo desses dias. O vento (Figura 6d) apresenta valores predominantemente negativos (orientados para SW, ou costa abaixo) no período de verão/primavera, devido à dominância dos ventos alísios na região, e valores predominantemente positivos (orientados para nordeste ou costa acima) no outono/inverno. Os valores máximos de velocidade para a componente longitudinal (V) do vento foram de 5,2 m/s e -8,9 m/s, para ambas as direções. Para a componente do campo de correntes, foi encontrada uma alta coerência com o comportamento sazonal dos ventos, tendo intensidade máxima de 0,25 m/s (-0,44 m/s). Este comportamento apresenta uma variabilidade de caráter sazonal, observado também por Thévenin et al. (2019) nos anos anteriores.

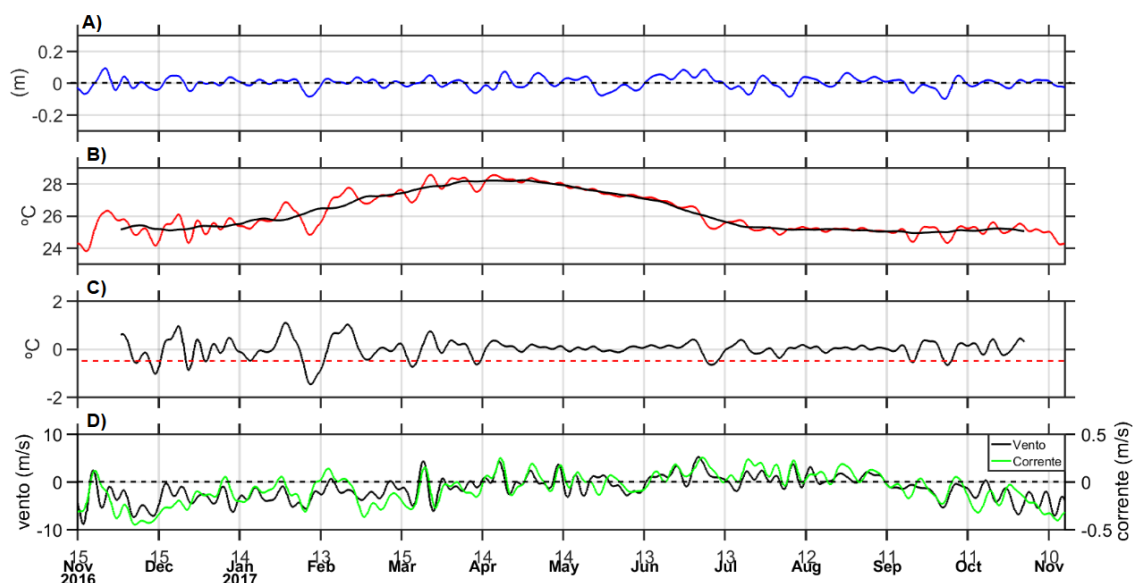


Figura 6 – Séries temporais filtradas de PF A) de nível do mar; B) temperatura de fundo em vermelho, linha preta representa a média móvel; C) anomalia da temperatura de fundo, com base na média móvel de 30 dias, linha tracejada vermelha indica o sinal de ressurgência; D) linha preta (verde) indica o componente longitudinal do vento (corrente média) no eixo principal (secundário).

A componente transversal das correntes (Figura 7), apresenta frequente estratificação em 3 camadas. Nota-se um permanente escoamento direcionado para o continente nos 10% mais superficiais da coluna d'água, associado à camada limite estabelecida pelo vento vindo de leste-sudeste que predomina na região. A camada limite se torna um pouco mais profunda, aproximadamente entre 15 e 20%, nos meses de junho e julho e depois normaliza novamente. Abaixo disso, até aproximadamente 50% da coluna d'água, nota-se um fluxo bem estabelecido em direção ao oceano entre os meses de novembro de 2016 e fevereiro de 2017 e entre setembro e novembro de 2017. Para a camada mais profunda, nota-se uma dominância de valores negativos com destaque para o período de primavera-verão, associados aos episódios de ressurgência que bombeiam água de fundo em direção à costa, gerando este fluxo. A componente meridional não apresenta uma estratificação bem definida ao longo do tempo, apenas em alguns momentos pontuais como foi em janeiro. Se observa um fluxo em direção norte ao longo dos meses de outono, se intensificando no inverno por conta da sazonalidade do campo de ventos, que gera um fluxo médio em direção sul no resto do ano.

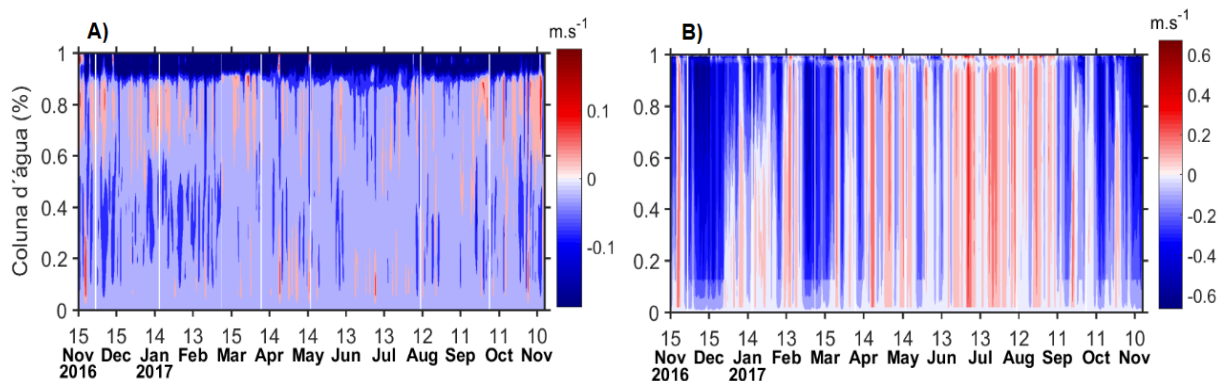


Figura 7– Hovmollers para os campos de corrente filtrados na banda sub-inercial; A) componente transversal à costa (U); B) componente longitudinal à costa (V);

Os coeficientes de correlação calculados entre as diferentes séries filtradas para todo o período de 1 ano são apresentados na Tabela 1. Todos os coeficientes foram positivos, com valores baixos à exceção da correlação entre as componentes longitudinais do vento e corrente, com um coeficiente de 0,79.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação (R) entre as séries filtradas observadas em PF, para todo o período de investigação.

	Nível	V Corrente	Temperatura
Nível	1	-	-
V Corrente	0,28	1	-
Temperatura	0,18	0,22	1
V Vento	0,23	0,79	0,27

A Figura 8 mostra a oscilação suavizada do NMM nas 5 estações elencadas ao longo da costa entre julho e novembro de 2017. Ondulações correlatas são observadas no inverno e primavera em todas as estações. É nítida a defasagem temporal e a redução da amplitude das ondas em direção ao norte ao longo das estações. Ondas com amplitudes médias de 30 cm em Ubatuba chegam a Salvador com 8 cm após aproximadamente 7 dias de propagação, percorrendo cerca de 1700 km, resultando uma velocidade média de aproximadamente 10 km/h para todo o percurso. O maior coeficiente de correlação encontrado entre as duas séries, igual a 0.55, está associado a uma defasagem de 170 horas, ou 7 dias (Figura 9). É possível observar as maiores e mais

consistentes ondas no inverno, propagando seu sinal de maneira contínua, devido à maior ocorrência de frentes frias neste período, enquanto na primavera este caráter é perdido, se dispersando com mais facilidade.

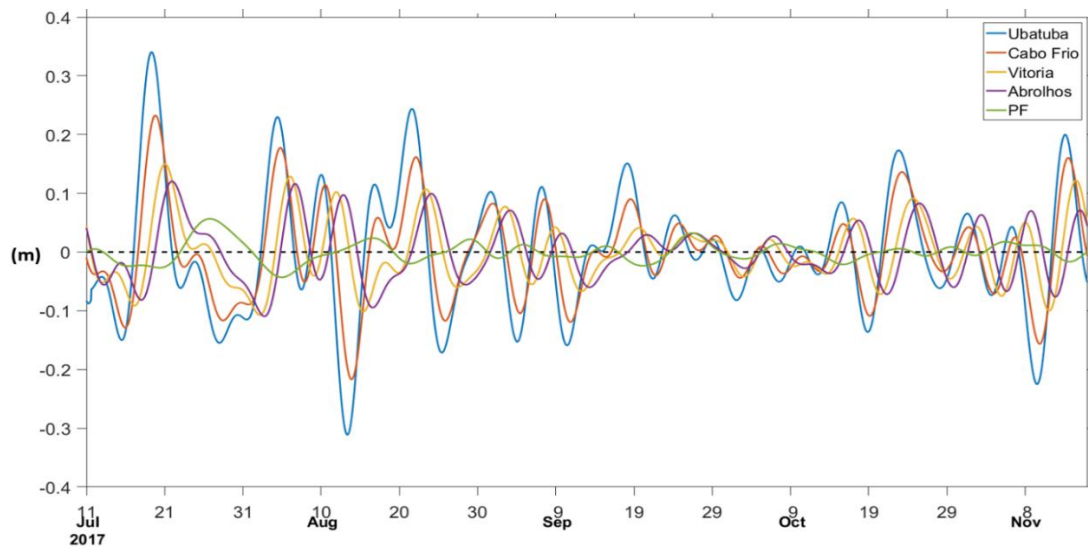


Figura 8 - Séries de altura da superfície do mar para cada estação, retiradas do GLORYS, sem filtragem.

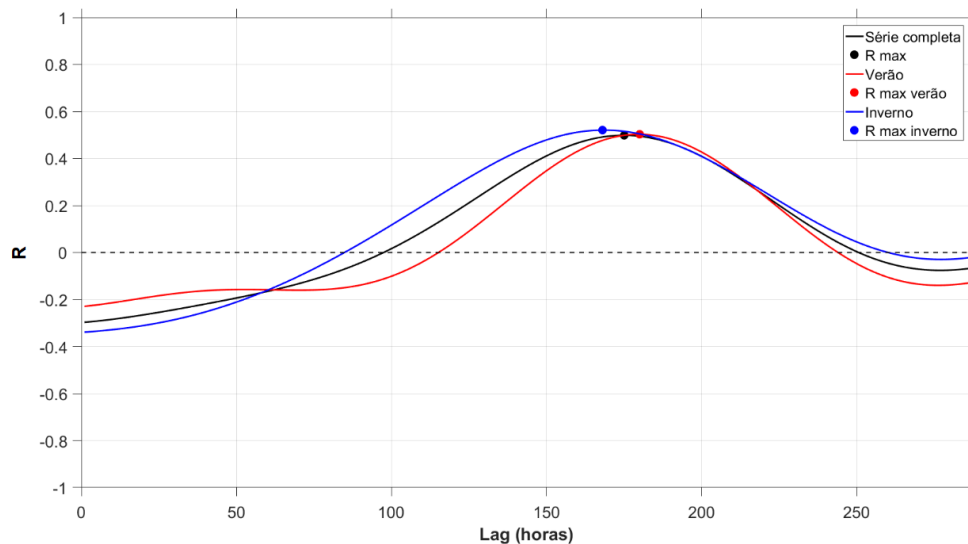


Figura 9 – Análise de correlação progressiva entre Ubatuba e PF, para cada defasagem no tempo; linha preta para série completa, azul para inverno e vermelho para verão.

As Figura 10 e Figura 11 mostram a variação da altura e do período das ondas identificadas em PF e Ubatuba, respectivamente. A altura e período médios das OCC's para a série completa de PF (Ubatuba) foi de 0,07 m (0,28 m) e 14,85 dias (9 dias), com maiores alturas, até 16 cm, e períodos de 42 dias no inverno em PF. Em Ubatuba, onde

a altura e período máximo foram de 75 cm e 24 dias, o efeito da sazonalidade não ficou claramente estabelecido como ficou em PF, com maiores alturas e períodos no inverno.

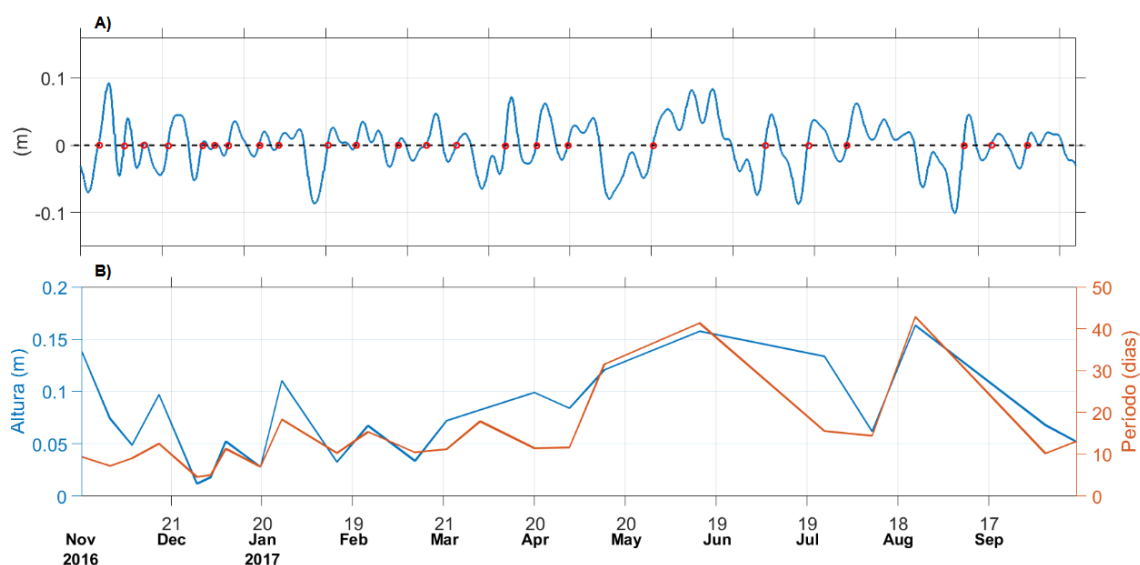


Figura 10 – A) série temporal do nível para PF, sinalizando os momentos em que houve um cruzamento no eixo 0, capturando ondas individuais; B) altura (linha azul, eixo principal) e período (linha laranja, eixo secundário).

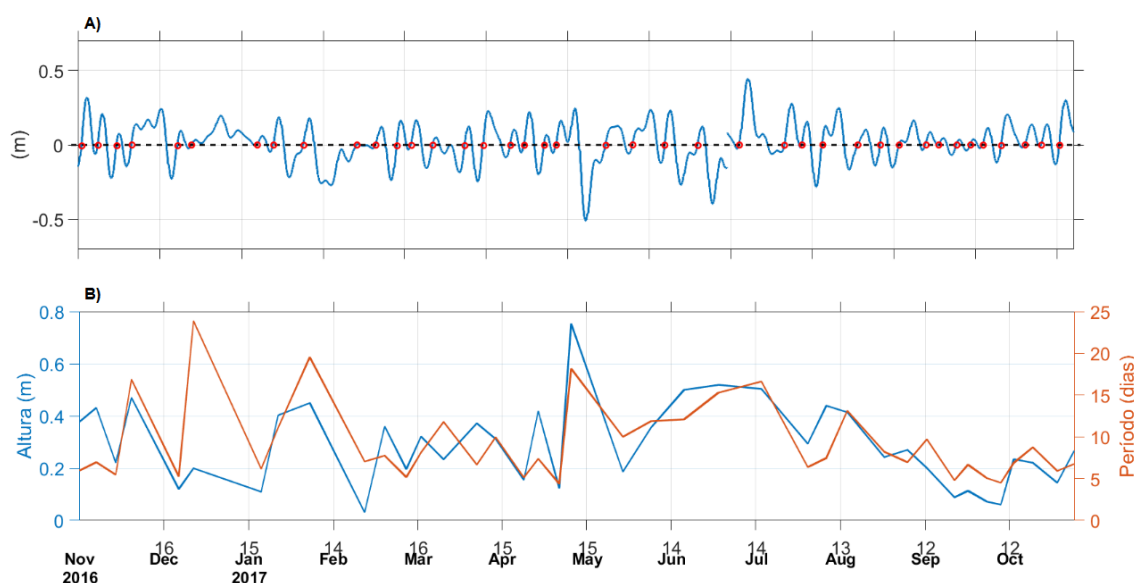


Figura 11 - A) série temporal do nível para Ubatuba, sinalizando os momentos em que houve um cruzamento no eixo 0, capturando ondas individuais; B) altura (linha azul, eixo principal) e período (linha laranja, eixo secundário).

Anomalias no nível do mar são mais perceptíveis próximas ao local de geração das OCC's, promovendo amplitudes maiores que 50 cm (Figura 12). Ao norte de 20°S, sua amplitude é reduzida drasticamente, diminuindo seu potencial de causar anomalias no nível, seja

elevações ou depressões. Esta área de rápida dispersão de energia foi observada também por De Freitas et al. (2021), sinalizando a região entre Macaé (RJ) e o Banco de Abrolhos (BA) como limite para a propagação de OCC's de menor período.

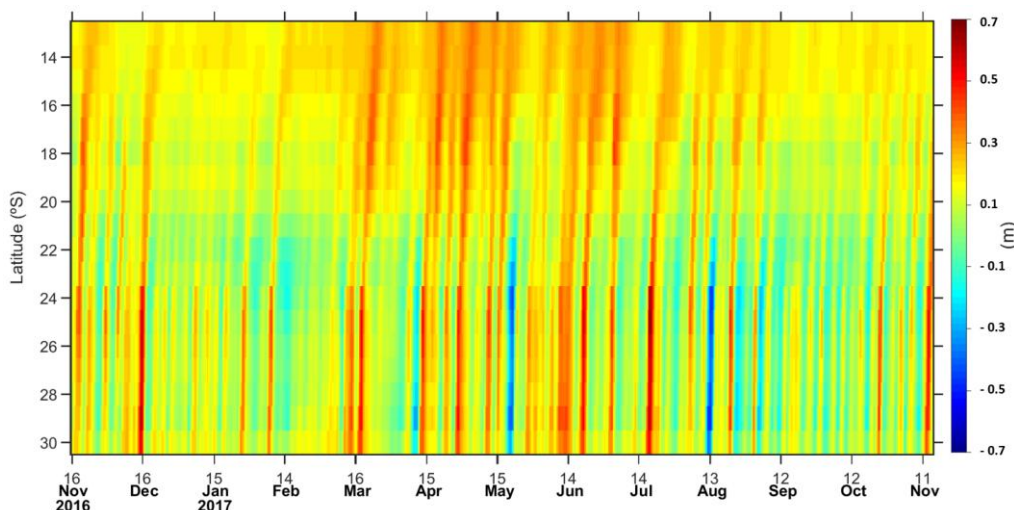


Figura 12 – Hovmoller de anomalia de altura da superfície do mar sem filtragem, dados de reanálise oceânica GLORYS. O ponto de grade escolhido foi o mais próximo à costa possível.

A análise espectral cruzada – para a estação de PF -- identificou picos máximos de coerência, um para cada parâmetro associado ao vento como forçante (Figura 13). O período do evento oscilatório relacionado ao nível do mar foi de 10 dias, com uma coerência de 0.64, coincidindo com uma fase positiva de 105° , o que sinaliza que a transmissão de energia entre o vento e o nível do mar acontece de forma ocasional, com uma defasagem temporal de aproximadamente 3 dias. Entre o vento e a média vertical da corrente longitudinal o período das oscilações associadas foi de 6,8 dias, com uma coerência de 0.81, e fase positiva, indicando um tempo de resposta de aproximadamente 0,5 dias.

A análise feita com o campo de correntes local como forçante (Figura 14), apresentou resultados similares, onde a maior associação com o nível (coerência de 0.81), ocorreu nas oscilações com período de 10,3 dias, apresentando uma fase positiva e um delay de aproximadamente 1,9 dias.

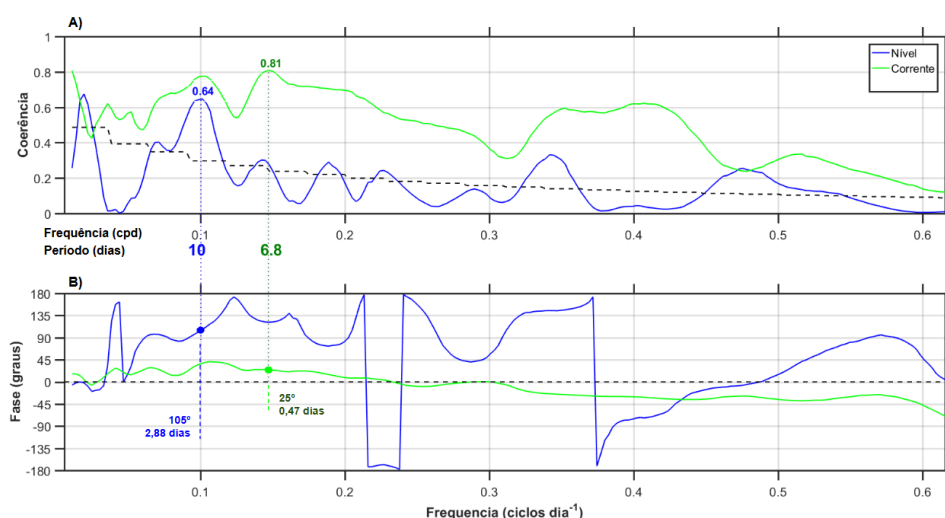


Figura 13 – Análise espectral cruzada entre séries de vento (variável independente) e nível e corrente longitudinal (variáveis dependentes) para a estação de PF.

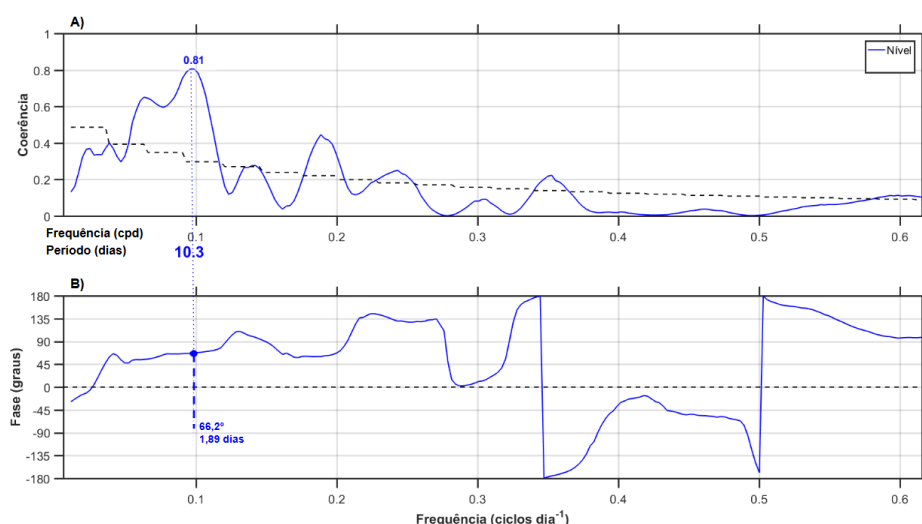


Figura 14 – Análise espectral cruzada entre séries de corrente (variável independente) e nível (variável dependente) para a estação de PF.

Foram identificados 2 eventos, nos quais o campo de correntes sub-inercial na plataforma não estava acoplado com o vento e ocorreram eventos de ressurgência ainda assim. Estes eventos ocorreram entre 05/04 e 13/04/2017 (Evento 1) e entre 16/09 e 24/09/2017 (Evento 2), destacados na Figura 15. Em ambos os casos a ressurgência não pode ser relacionada ao efeito a velocidades negativas da componente longitudinal do vento, a qual perde progressivamente a intensidade. No primeiro evento a direção chega a ser invertida durante o período, com velocidade de até +0.1 m/s. Já no segundo evento a velocidade máxima, ainda negativa, é inferior a 0.1 m/s. Correntes direcionadas costa abaixo se estabelecem com o avanço da cava da onda, quando

também ocorrem as ressurgências. Entre 03/02/2017 e 11/02/2017, há um sinal de intensa ressurgência, porém sendo favorecido claramente pelo campo de vento local, que soprou incessantemente para sul modulando o campo de correntes de forma favorável para que aconteça a ressurgência.

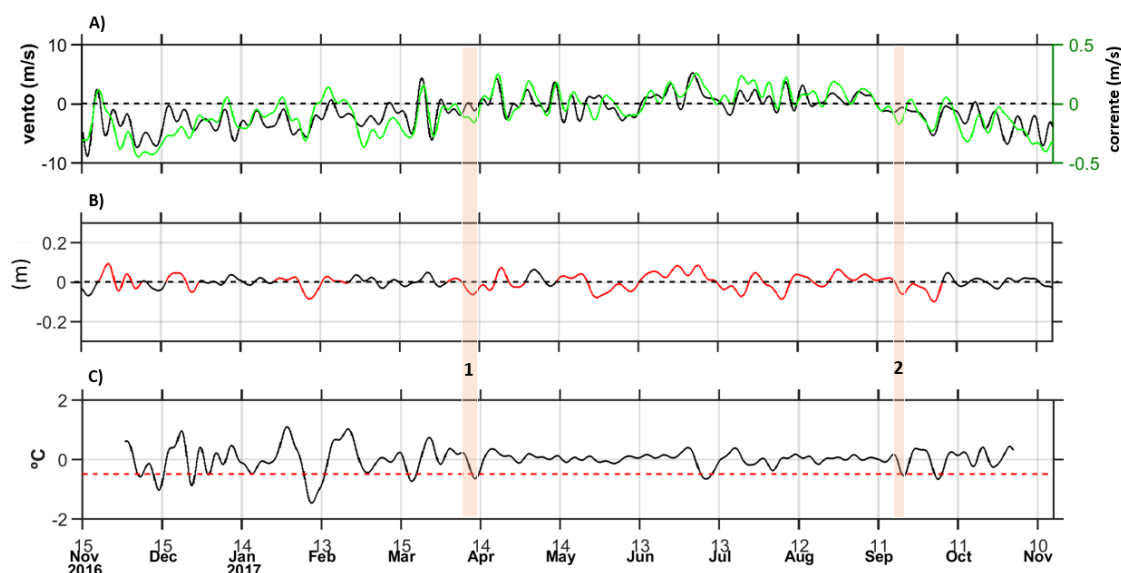


Figura 15 – Dados observados filtrados de PF; A) vento (linha preta, eixo principal) e corrente (linha verde, eixo secundário); B) nível, as linhas destacadas em vermelho são as correspondentes à ondulações que passaram por Ubatuba e alcançaram a costa, resgatando Figura 9 ; C) anomalia de temperatura, 2 eventos destacados a serem analisados.

O evento número 1 durou aproximadamente 4,8 dias e a temperatura da água caiu aproximadamente 0,9 °C. Neste momento a velocidade do vento direcionado para sul estava sendo arrefecido, se aproximando de zero, enquanto a velocidade longitudinal da corrente foi invertida de positiva para negativa, indicando um pico direcionado para o sul. O segundo evento durou cerca de 4 dias e teve um resfriamento de 0,7 °C. O campo de ventos e de correntes apresentaram comportamento similar ao evento anterior, sugerindo que a propagação da OCC estabeleceu o campo de correntes local, facilitando a ressurgência.

A análise de correlação com janela móvel de 15 dias entre a série de vento com as séries de corrente e nível (Figura 16) mostra momentos em que ambos estiveram fora ($R < 0$) ou em fase ($R > 0$). Momentos quando vento e corrente estiveram fora de fase, ou seja, quando não existiu a relação de causalidade esperada, são os de interesse pois sinalizam outro forçante que possa estar controlando o campo de correntes e ocorreram nos

meses de dezembro, maio, junho e setembro. A correlação negativa máxima ocorreu no dia 27/05/2017, com um R de aproximadamente -0.57. Os eventos de correlação negativa entre vento e o nível ocorreram com menos frequência e com índices de correlação relativamente maiores em intensidade, sendo notáveis em janeiro, fevereiro, abril, maio, junho, setembro e novembro, quando o máximo índice negativo em 02/06/2017 foi de aproximadamente -0.86.

Os momentos fora de fase são os momentos de interesse, pois sinaliza que o vento não está sendo o principal fator responsável pela circulação local, sugerindo que a passagem de OCC's pode alterar o escoamento residual. Em ambos os eventos identificados, as correlações são negativas, com valores de -0.15 e -0.46 para corrente e -0.51 e -0.75 para nível, evidenciando que outro fenômeno alterou o campo de correntes. Outro período que acontece esta combinação bem demarcada é entre maio e junho, porém não houve sinal de ressurgência neste momento.

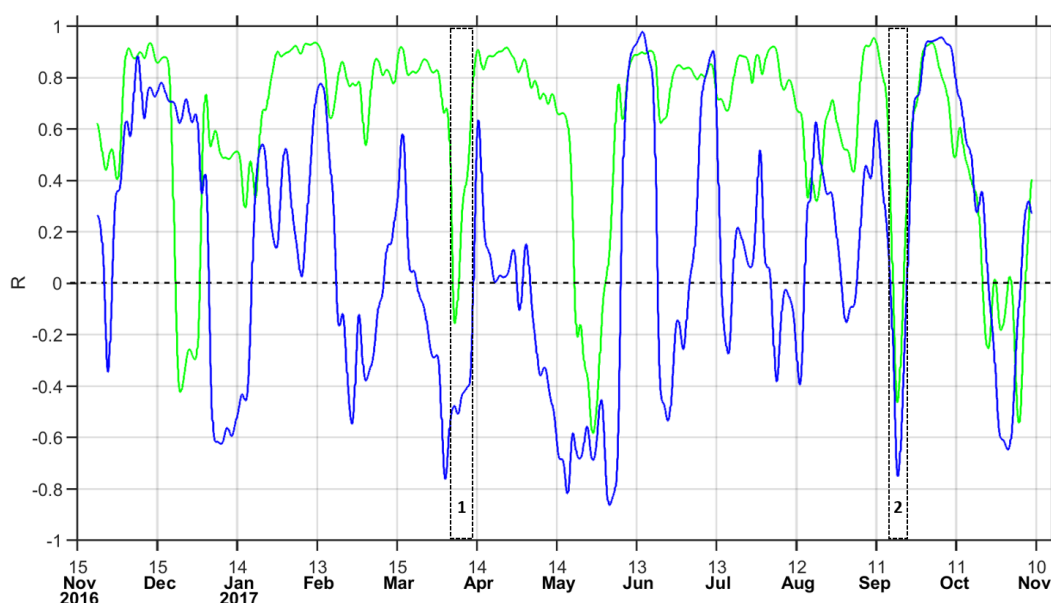


Figura 16 – Correlação móvel a partir das séries filtradas, de vento e nível (linha azul) e entre vento e corrente (linha verde). Os 2 eventos investigados estão destacados com linha pontilhada e numerados.

A estrutura vertical da componente transversal do campo de correntes nos dois eventos da passagem da cava da OCC mostrou-se condizente com o processo advectivo da ressurgência, com estratificação vertical do fluxo (Figura 17). A velocidade média dos

25% mais profundos da coluna d'água foi de $-0,003 \text{ m/s}$ no evento 1 e de $-0,0004 \text{ m/s}$ no evento 2, indicando fluxos majoritários em direção à costa.

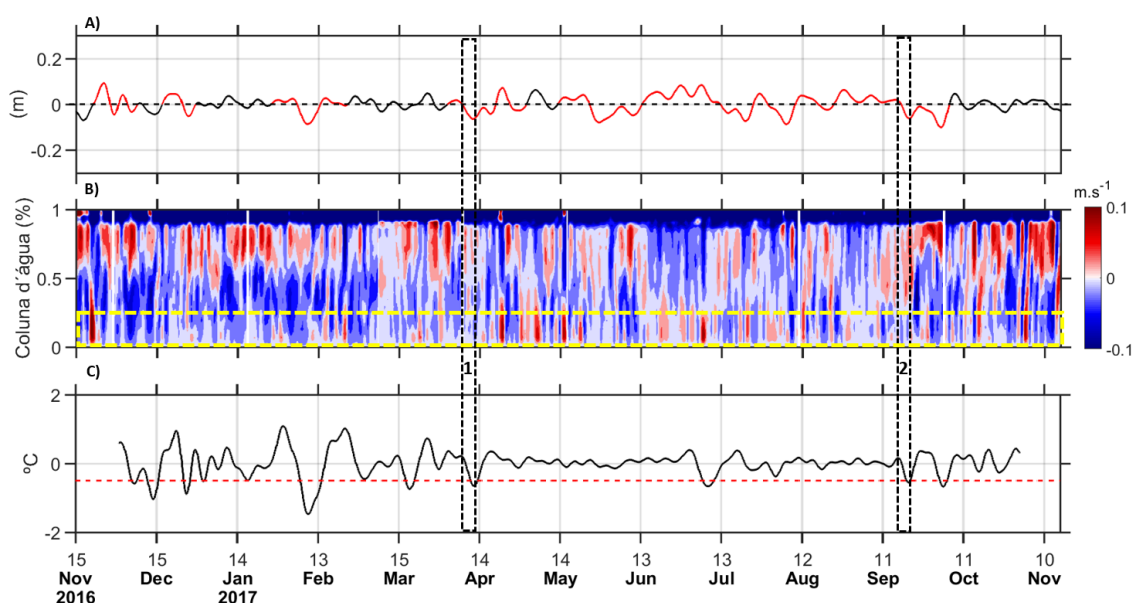


Figura 17 – A) nível filtrado, as linhas destacadas em vermelho são as correspondentes à ondulações que passaram por Ubatuba e alcançaram a costa, resgatando Figura 9; B) hovmoller da componente zonal da corrente sub-inercial, 25% mais profundo da coluna d'água destacado com o retângulo amarelo tracejado; C) anomalia de temperatura de fundo filtrada, 2 eventos destacados a serem analisados.

Perfis transversais à costa dos campos de corrente e temperatura para cada um dos dois eventos auxiliados pela passagem de uma cava de OCC foram gerados, com os dados de reanálise global (Figura 18 e Figura 19), a fim de observar mudanças no padrão de circulação local.

No evento 1 (Figura 18), a passagem da cava de uma OCC no dia 11/04 não está bem representada no campo de temperatura, o qual não mostra ascensão das isoterms. Já no campo de correntes, tanto transversal quanto ao longitudinal à costa, percebe-se uma ligeira perda gradual de energia após a passagem da cava da onda. No segundo evento (Figura 19), uma ligeira ressurgência é observada com a elevação das istotermas em torno de $24,5^{\circ}\text{C}$, tendo o campo de correntes se comportando de maneira semelhante ao evento anterior, chegando a inverter a direção do escoamento dois dias após a passagem da cava da OCC. A batimetria irregular no evento 2 ocorre pela discordância dos limites de temperatura entre os eventos, ao passo que o segundo

evento ocorre em uma época que a água está mais fria que o evento interior, apenas por questão de sazonalidade.

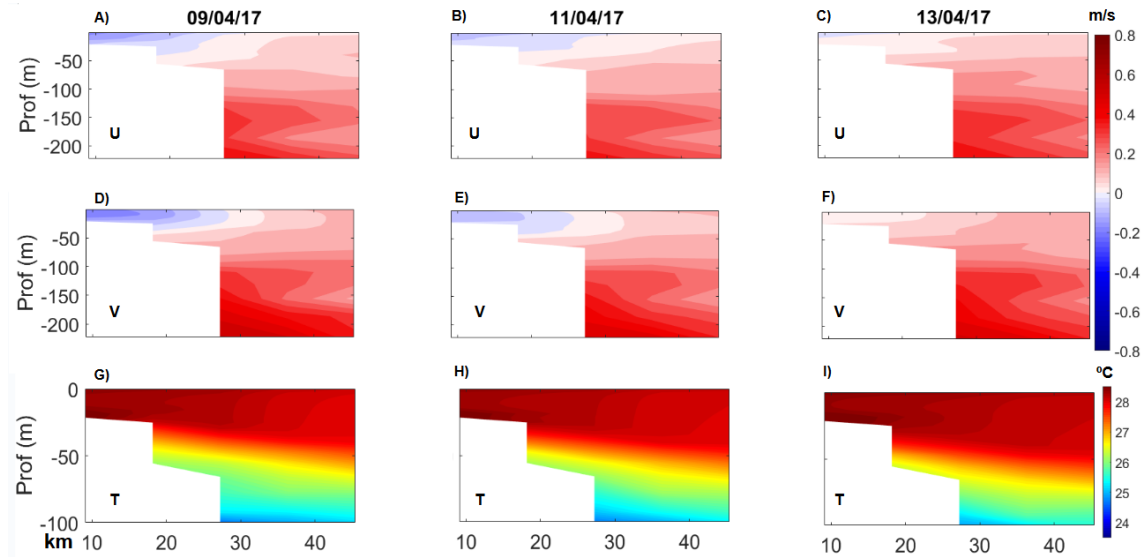


Figura 18 – A, B e C mostra a componente zonal das correntes ao longo da seção transversal; D, E e F mostra a componente meridional das correntes ao longo da seção transversal; G, H e I mostra o campo de temperatura ao longo da seção transversal, antes (09/04), no momento (11/04) e depois (13/04) da passagem da cava de uma OCC. A filtragem não foi aplicada em nenhuma série.

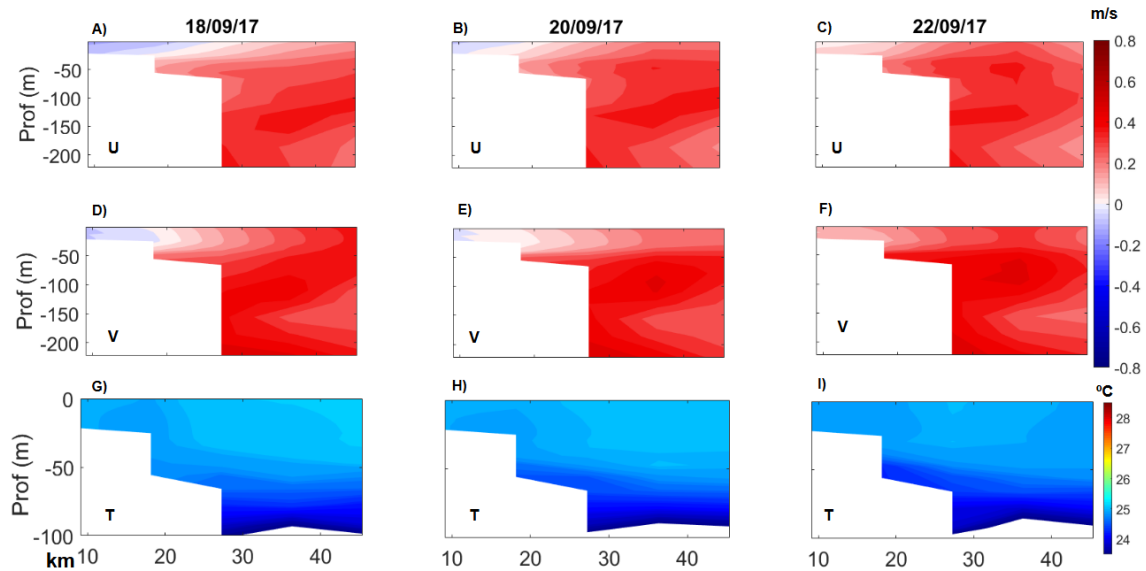


Figura 19 - A, B e C mostra a componente zonal das correntes ao longo da seção transversal; D, E e F mostra a componente meridional das correntes ao longo da seção transversal; G, H e I mostra o campo de temperatura ao longo da seção transversal, antes (18/09), no momento

(20/09) e depois (22/09) da passagem da cava de uma OCC. A filtragem não foi aplicada em nenhuma série.

5 DISCUSSÃO

A redução observada da amplitude das OCC's ao longo da costa é similar à relatada por De Freitas et al. (2021). O tempo de propagação e redução de amplitude das OCC's de 7 dias e aproximadamente 20 cm entre Ubatuba e PF aqui observado compara-se às reduções indicadas por De Freitas et al. (2021) entre Macaé e Salvador. Esta redução é atribuída ao estreitamento da plataforma continental, somado à reduzida profundidade, condições favoráveis para dispersão de ondas.

O tempo médio de propagação das OCC's entre Ubatuba e PF foi de aproximadamente 170 horas (7 dias), obtendo uma correlação média de 0.57 (Figura 9). Esses valores são similares aos encontrados por De Freitas et al. (2021), onde o coeficiente de correlação entre as estações de Macaé e Salvador encontrado foi de 0.55. O maior tempo de trânsito entre Imbituba (SC) e Salvador encontrado pelo mesmo autor, de aproximadamente 175 horas, condiz com o observado neste estudo.

A diferença entre as alturas e períodos das OCC's entre as estações de Ubatuba e PF (Figura 10 e Figura 11), também estão de acordo com resultados encontrados por De Freitas et al. (2021). Ele observou que OCC's com período maior que 15 dias alcançam regiões mais setentrionais, correspondente às médias de período obtidas para PF, de aproximadamente 15 dias.

De Freitas et al. (2021) identificaram os períodos de oscilação com maior coerência entre as séries de nível do mar na costa e a componente longitudinal da corrente ao longo dos 50 metros superficiais da quebra da plataforma. Foi encontrado altos coeficientes de coerência nos períodos entre 3 e 30 dias, até o Banco de Abrolhos (15° S). Os eventos identificados no presente trabalho tiveram um período de oscilação similar às OCC's, sinalizando a relação entre os parâmetros analisados com a passagem de uma OCC. Estes períodos também concordam com os encontrados por Castro & Lee (1995), ao analisarem dados de nível e vento para o período de inverno em Ubatuba (SP) e encontrarem oscilações sub-inerciais no nível, que correspondem a sinais de ondas

costeiras, com período entre 6 e 12 dias. Os resultados gerados pela análise espectral também revelam uma semelhança aos resultados encontrados por Castro (1996), quando ele observou uma densidade energética máxima para as correntes longitudinais em duas bandas de frequência. A primeira com períodos de oscilação entre 6 e 8 dias e a segunda entre 10 e 16 dias, que coincide com as maiores coerências encontradas pela análise espectral cruzada, realizada no presente trabalho, da corrente relacionada com o vento e com o nível, 6.8 e 10.3 dias, respectivamente.

O efeito da passagem de OCC's no campo de correntes e de temperatura pôde ser destacado em duas ocasiões na plataforma continental norte da Bahia, ao longo do ano investigado, quando a passagem de uma cava da onda determinou o estabelecimento do fluxo longitudinal para sul (Figura 15) e a queda de temperatura. A correspondência de fase entre corrente e nível indica o caráter barotrópico da oscilação, semelhante à situação relatada por De Freitas et al. (2021) para as OCC's na região sudeste.

Diferente dos eventos discutidos acima, o evento mais forte de ressurgência, ocorrido entre 03/02/2017 e 11/02/2017 (Figura 15), teve uma duração de aproximadamente 9,3 dias e promoveu um resfriamento de 2,56 °C da água. Este evento foi associado a um campo de ventos e corrente longitudinal favoráveis, escoando costa abaixo, causando uma consequente depressão do nível médio. Este foi um evento semelhante aos apresentados por Thevenin et al. (2019), quando o campo de ventos alísios na primavera e verão domina a circulação atmosférica da costa baiana, sendo o principal motor da ressurgência costeira. Entretanto, é possível verificar que este evento coincide também com a passagem da cava de uma OCC. Conforme mostra a Figura 20, ocorreu a passagem de uma OCC por Ubatuba aproximadamente 5 dias antes da depressão do nível observada em PF, sendo possível que a passagem da OCC por PF tenha coincidido com o evento forçado pelo vento. Como já sugerido por De Freitas et al. (2021), a passagem da OCC pode ser um mecanismo adicional facilitador da ressurgência costeira, algo ainda pouco investigado na plataforma continental brasileira.

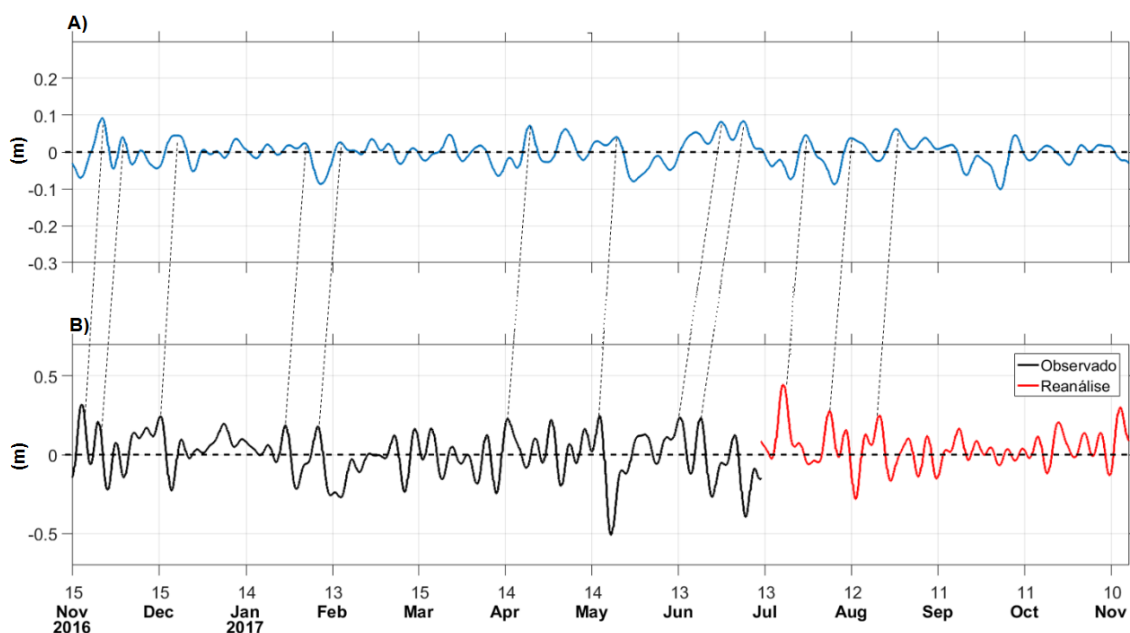


Figura 20 – A) série filtrada de nível para PF; B) série de nível filtrada para Ubatuba; Linhas tracejadas indicam a propagação das OCC's, entre as estações.

A estrutura do campo de correntes e do campo termohalino gerado pela reanálise numérica não reproduziu adequadamente as sensíveis observações do ADCP fundeado em PF. Isso decorre, possivelmente, devido à baixa resolução horizontal do modelo (9 km), enfrentando dificuldades de simular processos de meso-escala em regiões com forte gradiente topográfico, como é o caso da estreita (< 10km) margem continental do litoral norte da Bahia.

6 CONCLUSÃO

As OCC's alcançam a plataforma continental norte da Bahia com a maior parte da sua energia dispersa, após perder significativa densidade energética a partir de aproximadamente 20°S. No inverno/outono, quando as OCC's são geradas com maior frequência e intensidade (De Freitas et al., 2021), observa-se um aumento no número de ondas mais altas e mais longas passando pela costa baiana. Seu tempo de trânsito médio entre as estações de Ubatuba e PF foi de aproximadamente 170 horas (7 dias), refletindo velocidade média inferior a 3 m/s para o percurso total.

Os períodos de oscilação com maior energia e coerência (entre 6 e 11 dias) entre as variáveis é correlato com a banda de mais alta energia exibida pelas OCC's, com períodos

entre 5 e 12 dias, descritos na literatura, sendo mais uma demonstração dos possíveis impactos causados pela propagação das OCC's na circulação do litoral norte da Bahia. Isso valida a associação entre a propagação das ondas e a variabilidade sub-inercial da plataforma continental baiana.

A influência das OCC's se manifesta no campo de correntes, com evidências de sua natureza barotrópica, já descrito na literatura. Em duas situações, máximas negativas de velocidade da componente longitudinal em fase com a cava de uma OCC mostraram-se favoráveis à ocorrência de ressurgência costeira sob a ausência do vento como forçante. Desta forma, as OCC's podem ser consideradas como uma forçante adicional a facilitar eventos de ressurgência na costa baiana.

Por fim, a comparação entre os dados observados pelo ADCP e as reanálises globais oceânicas evidenciou limitações dessas últimas em reproduzir adequadamente a variabilidade espaço-temporal associada à propagação de OCC's na região de PF. Isso indica a necessidade de modelos de alta resolução horizontal e vertical para capturar com maior precisão os processos costeiros, envolvendo variabilidade sub-inercial, em áreas de batimetria complexa, como a plataforma continental da Bahia.

Futuros estudos com observações e modelagens regionais acopladas de alta resolução são recomendados para esclarecer melhor os efeitos das OCC's na estratificação da coluna d'água e na dinâmica de ressurgência de quebra de plataforma.

7 REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. K., e Buchwald V. T. "**The generation of continental shelf waves.**" Journal of Fluid Mechanics. 1969.
- AGUIAR, A. L. *et al.* Upwelling processes along a western boundary current in the Abrolhos-Campos region of Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 85, p. 42–59, 15 ago. 2014.
- AMORIM, F. N. *et al.* The influence of large-scale circulation, transient and local processes on the seasonal circulation of the Eastern Brazilian Shelf, 13°S. **Continental Shelf Research**, v. 32, p. 47–61, 1 jan. 2012.
- ANDREWS, John C.; GENTIEN, Patrick. **Upwelling as a Source of Nutrients for the Great Barrier Reef Ecosystems: A Solution to Darwin's Question?** MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES Mar. Ecol. Prog. Ser. 1982
- BIGARELLA, J.J. **Eolian environments--their characteristics, recognition and importance.** In: J.K. Rigby and W.L. Hamblin (Editors), Recognition of Ancient Sedimentary Environments. SEPM, Spec. Publ., 16: pp. 12-14. 1972.
- CAMPOS, Ricardo Martins; DE CAMARGO, Ricardo; HARARI, E. Joseph. **CARACTERIZAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS E SUA CORRESPONDÊNCIA COM AS REANÁLISES DO MODELO DO NCEP NO SUDOESTE DO ATLÂNTICO SUL** Revista Brasileira de Meteorologia. 2010
- CARLOS SILVA PINTO BITTENCOURT, Abílio da *et al.* **Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia-Brazil.** 2000.
- Castro, Belmiro M., e Lee T.N. "**Wind-forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf.**" Journal of Geophysical Research: Oceans 100.C8. 1995.
- CASTRO, Belmiro. **Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo.** 1997. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. . Acesso em: 19 dez. 2025.
- CASTRO, Belmiro. **Subtidal response to wind forcing in the south Brazil bight during winter.** . Coral Gables: University of Miami. . Acesso em: 19 dez. 2025, 1985.
- CHERITON, Olivia M.; STORLAZZI, Curt D.; ROSENBERGER, Kurt J. Observations of wave transformation over a fringing coral reef and the importance of low-frequency waves and offshore water levels to runup, overwash, and coastal flooding. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 121, n. 5, p. 3121–3140, 1 de maio 2016.

CIRANO, Mauro; LESSA, Guilherme Camargo. **OCEANOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BRAZIL. 2007**

DE FREITAS, Pedro Paulo *et al.* Coastal trapped waves propagation along the Southwestern Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 226, 1 set. 2021.

DOMINGUEZ, José Maria Landim *et al.* The narrow, shallow, low-Accommodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. **Geomorphology**, v. 203, p. 46–59, 1 dez. 2013.

DOTTORI, Marcelo; CASTRO, Belmiro Mendes. The response of the Sao Paulo continental shelf, Brazil, to synoptic winds. **Ocean Dynamics**, v. 59, n. 4, p. 603–614, 2009.

EMÍLSSON; TAOAN SILVA. **The shelf and coastal waters off southern Brazil. [S.l.: S.n.]. 1961**

FUENTES, Eduardo N. *et al.* Upwelling-derived oceanographic conditions impact growth performance and growth-related gene expression in intertidal fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part - B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 214, p. 12–18, 1 dez. 2017.

GILL, Adrian E. **Atmosphere—ocean dynamics.** Elsevier, 2016.

GILL; E, Adrian. **The Generation of Long Shelf Waves by the Wind. 1974.**

HAMON, B. v. The spectrums of mean sea level at Sydney, Coff's Harbour, and Lord Howe Island. **Journal of Geophysical Research**, v. 67, n. 13, p. 5147–5155, dez. 1962.

KIM, Deoksu *et al.* Upwelling processes driven by contributions from wind and current in the Southwest East Sea (Japan Sea). **Frontiers in Marine Science**, v. 10, 2023.

KÖRNER, Mareike *et al.* **Coastal trapped waves and tidal mixing control primary production in the tropical Angolan upwelling. 2024.**

LIU, Ye *et al.* Fully nonlinear investigation on energy transfer between long waves and short-wave groups over a reef. **Coastal Engineering**, v. 179, 1 jan. 2023.

Mears, C.; Lee, T.; Ricciardulli, L.; Wang, X.; Wentz, F.: **RSS Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 6-hourly ocean vector wind analysis on 0.25 deg grid, Version 3.0, Remote Sensing Systems**, Santa Rosa, CA. Available at www.remss.com <https://doi.org/10.56236/RSS-uv6h30>. 2022.

MELO, Eloi. "Maré meteorológica na costa brasileira." (2017).

PALUMBI, Stephen R. **Ecological subsidies alter the structure of marine communities. 2003**

PERCIVAL, Donald B., and Andrew T. Walden. **Spectral analysis for physical applications**. Cambridge University Press, 1993.

POMEROY, Andrew W. M. *et al.* Spectral wave-driven sediment transport across a fringing reef. **Coastal Engineering**, v. 98, p. 78–94, 2015.

PUGH, David T. "Tides, surges and mean sea level." (1987).

PULGAR, J., *et al.* "Can upwelling signals be detected in intertidal fishes of different trophic levels?." *Journal of Fish Biology* 83.5. 2013.

SCHULZ, William J.; MIED, Richard P.; SNOW, Charlotte M. Continental shelf wave propagation in the mid-Atlantic Bight: A general dispersion relation. **Journal of Physical Oceanography**, v. 42, n. 4, p. 558–568, 2012.

SILVA FRANKLIN, Taoan *et al.* **High-resolution simulations of coastal dispersion of Tubastraea spp. larvae from a large estuary in northeast Brazil**. 2024

SMITH, Robert L. "A comparison of the structure and variability of the flow field in three coastal upwelling regions: Oregon, Northwest Africa, and Peru." *Coastal upwelling* 1. 1981.

THÉVENIN, M. R.; PEREIRA, J.; LESSA, G. C. Shelf-break upwelling on a very narrow continental shelf adjacent to a western boundary current formation zone. **Journal of Marine Systems**, v. 194, p. 52–65, 1 jun. 2019.

VAN DONGEREN, Ap *et al.* Numerical modeling of low-frequency wave dynamics over a fringing coral reef. **Coastal Engineering**, v. 73, p. 178–190, mar. 2013.

VIANELLO, L. R.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 1 ed. Viçosa: UFV, 1991.

WOODHAM, Robert *et al.* Propagation characteristics of coastally trapped waves on the Australian Continental Shelf. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 118, n. 9, p. 4461–4473, 1 set. 2013.