



Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do
Sensoriamento Remoto
2**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-48-2 DOI 10.22533/at.ed.482180110 1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo. CDD 621.3678
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
CAPÍTULO 2	14
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
CAPÍTULO 3	25
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
CAPÍTULO 4	36
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
CAPÍTULO 5	54
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzí Pezzi</i>	
CAPÍTULO 6	69
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
CAPÍTULO 7	80
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

CAPÍTULO 8 94

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

José Adriano da Silva
Vinicius Bitencourt Campos Calou
Adunias dos Santos Teixeira
Daniel Albiero

CAPÍTULO 9 105

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

Barbara de Oliveira Sousa Castro
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Flávia Luize Pereira de Souza
Letícia Albano Benites

CAPÍTULO 10 117

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

Thiago Vieira Nogueira Coelho
Lucas Moraes
Rafael Falcí Campos
Luis Carlos Carmo Jr.
Daniel Discini Silveira
André Luis Marques Marcato
Alexandre Bessa dos Santos

CAPÍTULO 11 134

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 12 144

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rubens José Souza Galvão
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 13 155

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos
Edson Eyji Sano
Pablo Santana Santos

CAPÍTULO 14 165

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

Erickson Melo de Albuquerque
Cícero Fidelis da Silva Neto
Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

CAPÍTULO 15..... 175

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

Marília Gabriela Lopes da Silva
Tássio Franco Cordeiro
Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira
Igor da Silva Narvaes
Alessandra Rodrigues Gomes
Marcos Adami
Lucas José Mazzei de Freitas
Dalton de Morisson Valeriano

CAPÍTULO 16..... 190

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

Alan dos Santos Pimentel
Vera Lúcia Reis
Ylza Marluce Silva de Lima
Luiz Alves dos Santos Neto
Diana de Souza Bezerra
Tatiane Mendonça de Lima
Irving Foster Brown

CAPÍTULO 17 201

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

Jean Marcel de Almeida Espinoza
Deivid Cristian Leal Alves
Silvia Beatriz Alves Rolim
Jefferson Rodrigues dos Santos
Maurício Soares Ortiz
Miguel da Guia Albuquerque

CAPÍTULO 18..... 213

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito
Roberto Rosa
Mirna Karla Amorim da Silva

CAPÍTULO 19..... 222

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

Caroline Bessi Fávero
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Sidnei Fonseca Guerreiro
Victor Munhoz Ruiz
Rosane Maria Kaspary
Martha Santana Martins

CAPÍTULO 20..... 240

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

Maristela Ramalho Xaud
Cláudia Maria de Almeida
Haron Abraham Magalhães Xaud

CAPÍTULO 21..... 254

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

Gabriella Santos Arruda de Lima

Nilson Clementino Ferreira

CAPÍTULO 22..... 265

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

Teônia Casado da Silva

Madson Tavares Silva

Danielle Teixeira Alves da Silva

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Eduardo da Silva Margalho

SOBRE O ORGANIZADOR274

ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE

Leonardo Nascimento Lima

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Luciano Ponzi Pezzi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, São Paulo, Brasil

RESUMO: Modelos numéricos dos oceanos incorporam erros que são originados por diferentes fontes (por exemplo, forçantes atmosféricas, parametrizações físicas, condições de contorno, batimetria, erro numérico). Os métodos de assimilação de dados combinam observações com resultados de modelos numéricos e produzem as análises, que são resultados mais acurados. Neste estudo, foram conduzidas simulações por conjuntos utilizando o Regional Ocean Modeling System (ROMS) no oceano Atlântico Sudoeste visando investigar as incertezas na representação numérica do oceano que são derivadas de perturbações nas forçantes atmosféricas. As perturbações nas componentes do vento provocaram um maior impacto no espalhamento do conjunto oceânico em relação às perturbações aplicadas sobre outras variáveis atmosféricas. Os resultados mostraram uma forte influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul no oceano subjacente. Em seguida, experimentos que

utilizaram o método de assimilação de dados Local Ensemble Transform Kalman Filter com o ROMS investigaram o impacto da assimilação dos perfis de temperatura (T) e salinidade (S), topografia dinâmica absoluta (ζ) e temperatura da superfície do mar (TSM) na representação numérica do oceano a partir do modelo regional. Os resultados exibiram a importância da assimilação dos perfis T/S para a correção da representação termohalina, reduzindo o erro quadrático médio da T e S em 39% e 27%, respectivamente. A assimilação de ζ foi importante para produzir uma representação da mesoescala oceânica com mais acurácia, principalmente na região da Confluência Brasil-Malvinas. A assimilação de TSM produziu melhorias adicionais para a T nos níveis verticais do modelo que são internos à camada de mistura oceânica.

PALAVRAS-CHAVE: Confluência Brasil-Malvinas, filtro de Kalman por conjuntos, modelagem oceânica regional.

ABSTRACT: Numerical ocean models incorporate errors that are originated from different sources (e.g. atmospheric forcing, physics parameterization, boundary conditions, bathymetry, numerical error). Data assimilation is an important tool for correcting the numerical representation generated by the ocean model itself. In this study, ensemble experiments were

performed using Regional Ocean Modeling System (ROMS) in the Southwest Atlantic Ocean (55°S – 5°S; 70°W – 20°W), with the aim to investigate uncertainties in the ocean state that derived from perturbations in atmospheric forcing fields. The wind component perturbations dominated and provoked the largest impact in the ocean ensemble spread as compared with other atmospheric variables. The results indicated a strong influence of the South Atlantic Convergence Zone on the underlying ocean. Next, the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) was applied to ROMS in order to examine the impact of the assimilation of observed temperature and salinity (TS) profiles, absolute dynamic topography (ADT) and sea surface temperature (SST) on the regional ocean analysis. The results showed the importance of the T/S profiles assimilation to correct the thermohaline representation, reducing the root mean square error of T and S in 39% and 27% respectively. The ADT assimilation was important to produce a more accurate representation of the oceanic mesoscale mainly in the Brazil-Malvinas Confluence region. SST assimilation was important to provide additional improvements to the T at the model vertical levels within the oceanic mixed layer.

KEYWORDS: Brazil-Malvinas Confluence, ensemble Kalman filter, oceanic regional modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os métodos de assimilação de dados (MADs) se tornaram ferramentas importantes, pois combinam as observações de satélite e *in situ* com os resultados de um modelo numérico e produzem as análises, que constituem resultados mais acurados em relação àqueles derivados puramente do modelo (KALNAY, 2003). Com a assimilação de dados, as informações das observações podem ser propagadas para diferentes regiões oceânicas através da dinâmica do modelo numérico. As análises então permitem um melhor entendimento dos mecanismos físicos responsáveis pela variabilidade dos oceanos e também podem ser usadas como condição inicial de modelos previsores.

O desenvolvimento dos sistemas de observação do oceano tem sido crucial para a melhoria dos resultados obtidos com a assimilação de dados, visto que a qualidade da análise é fortemente dependente do número de observações disponíveis. A evolução desses sistemas foi potencializada principalmente pelo desenvolvimento da capacidade da oceanografia por satélites, permitindo a aquisição de dados com alta cobertura espacial e temporal, como por exemplo as observações da altura do nível do mar (ANM), temperatura da superfície do mar (TSM) e salinidade superficial do mar (SSM) provenientes, respectivamente, das missões Jason, Aqua e Aquarius (<http://podaac.jpl.nasa.gov/>). Os instrumentos a bordo de satélites proporcionam informações valiosas sobre os oceanos. Por exemplo, os altímetros fornecem dados de altura do nível do mar em alta resolução espacial e temporal. O nível do mar é diretamente relacionado à circulação oceânica através da aproximação geostrófica (RISIEN;

STRUB, 2016). O avanço dos altímetros ajudou no conhecimento da circulação oceânica em alta resolução, possibilitando muitas descobertas de processos oceânicos importantes, como aqueles associados à variabilidade de mesoescala dos oceanos. Nas regiões menos cobertas por nuvens e ao longo das zonas costeiras, os dados de TSM do radiômetro *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) são importantes e constituem 40% ou mais dos dados de TSM disponíveis. Em geral, os satélites fornecem informações substanciais sobre a variabilidade espacial e temporal na superfície dos oceanos, entretanto, eles são insuficientes quando o objetivo é a representação da variabilidade de subsuperfície. Desta forma, o desenvolvimento do sistema Argo (FREELAND et al., 2010), composto por flutuadores autônomos, e de outras plataformas de observação *in situ* (e.g. boias meteo-oceanográficas, *gliders*) vem sendo importante para a representação dos campos de temperatura (T) e salinidade (S), principalmente em subsuperfície.

Este capítulo descreve os MADs destacando a importância da estimativa, com acurácia, das incertezas do modelo numérico, especialmente para os métodos baseados em conjuntos. Estas incertezas são estudadas aqui através de experimentos por conjuntos com perturbações nas forçantes atmosféricas. Além disso, são apresentados os resultados de experimentos de assimilação de dados com o método *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF) (HUNT et al., 2007), enfatizando a influência das observações de satélite na qualidade da previsão oceânica.

2 | MÉTODOS DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS

Os MADs corrigem as soluções numéricas geradas pelos modelos oceânicos em direção às observações. Eles combinam os resultados do modelo e as observações levando em consideração as incertezas destas duas fontes para produzir um campo mais acurado, a análise oceânica (KALNAY, 2003). A estimação das incertezas das observações considera o erro do instrumento de medição (ϵ), o erro de representatividade (δ) e, em algumas situações, os erros associados com a distância temporal entre cada observação e o momento de criação da análise (τ) (OKE et al., 2008). Valores típicos de ϵ são iguais a 0,04 m e 0,25 °C respectivamente para as observações de nível do mar e TSM oriundas de satélite (OKE et al., 2008). O δ é relacionado às diferenças nas resoluções espaciais do modelo e das observações e, de uma forma generalizada, pode ser atribuído a qualquer processo físico que é caracterizado a partir das observações, mas tem uma representação limitada através do modelo (OKE; SAKOV, 2008). As informações desses erros são armazenadas na matriz de covariância dos erros das observações.

Por outro lado, as incertezas do modelo são difíceis de serem estimadas e têm um impacto crucial na qualidade da análise. Surgiram diversas estratégias de estimação dessas incertezas de modo que os MADs as incluam na matriz de covariância dos

erros do *background*. Esta matriz inclui as covariâncias dos erros entre as variáveis do vetor de estado do modelo numérico. Os MADs menos robustos, como a interpolação ótima (HOLLINGSWORTH; LÖNNBERG, 1986; LIMA; TANAJURA, 2013), empregam uma matriz de covariância dos erros do *background* prescrita, que não varia no tempo. Enquanto os métodos avançados, como o *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) (EVENSEN, 1994), buscam estimar essa matriz a partir das covariâncias dos erros que dependem do fluxo, *i.e.*, variam de acordo com a dinâmica do modelo numérico e evoluem durante os ciclos de assimilação de dados.

O EnKF é um método por conjuntos no qual os erros do modelo são estimados a partir de um conjunto de integrações, que evoluem no tempo, do próprio modelo. A eficácia do EnKF depende do tamanho desse conjunto, que é definido pelo número de membros. Se o número de membros do conjunto é suficiente o bastante e se o modelo tem um viés desprezível, a estimação da matriz de covariância dos erros do *background* pode ser uma boa aproximação do “erro do dia”. Em contrapartida, a utilização de um conjunto de tamanho reduzido pode conduzir à divergência do filtro (*i.e.*, a análise tende a divergir da realidade enquanto o espalhamento do conjunto permanece pequeno). A fim de resolver esta divergência em sistemas de alta dimensão, algumas estratégias podem ser utilizadas: a localização para reduzir o problema de alta dimensão das matrizes envolvidas na etapa da análise, além de filtrar os ruídos derivados de covariâncias espúrias (MIYOSHI et al., 2007) e a inflação para evitar a subestimação das variâncias dos erros (MIYOSHI, 2011). Desta forma, a utilização do EnKF com modelos oceânicos tem empregado um tamanho do conjunto de $O(10) - O(100)$ membros e aplicado ambos localização e/ou inflação (HOFFMAN et al., 2012; SAKOV et al., 2012). Novos MADs combinam as abordagens dos métodos por conjuntos e variacionais (*e.g.* 3DVar, 4DVar), prevenindo os problemas intrínsecos derivados da aplicação de cada abordagem sozinha. Estes métodos híbridos podem reduzir a sensibilidade às estratégias de localização e inflação, particularmente, quando se tem um tamanho do conjunto reduzido (PENNY, 2014), e podem também mitigar os problemas relacionados aos erros sistemáticos do modelo (PENNY et al., 2015; PENNY, 2017).

Diversos MADs baseados em conjuntos são derivados do EnKF, destaca-se aqui o LETKF em função deste método ser computacionalmente bastante eficiente em relação aos seus antecessores (MIYOSHI; YAMANE, 2007). No LETKF, a análise é gerada de forma independente para cada ponto de grade do modelo numérico usando somente as observações localizadas ao redor desse ponto, o que favorece a elaboração de um algoritmo em paralelo. Trata-se de um *Square Root Filter* (WHITAKER; HAMILL, 2002) onde a equação da análise é resolvida através da média do conjunto, de tamanho n , da seguinte forma:

$$\mathbf{X}^a = \mathbf{X}^b + \mathbf{K}(\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{X}^b)), \quad (1)$$

onde \mathbf{X} contém a média do conjunto de todas as variáveis do modelo oceânico

(e.g. $T, S, u, v, \zeta, u_{\text{bar}}, v_{\text{bar}}$) em um único vetor de tamanho N . Os índices sobrescritos a e b indicam, respectivamente, análise e *background*. \mathbf{K} é a matriz de ganho de Kalman, \mathbf{y}^o denota um vetor que inclui as observações, \mathbf{H} é operador da observação o qual projeta $\bar{\mathbf{X}}^b$ no espaço das observações. Diferente do EnKF, a matriz de covariância dos erros do *background* não é explicitamente calculada no LETKF. Em vez disso, perturbações do conjunto do *background* ($\delta\mathbf{X}^b$), de tamanho m , são transformadas em perturbações do conjunto da análise ($\delta\mathbf{X}^a$):

$$\delta\mathbf{X}^a = \delta\mathbf{X}^b \left[(m-1)\tilde{\mathbf{P}}^a \right]^{1/2}, \quad (2)$$

com $\delta\mathbf{X} = \mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}}$ uma matriz $N \times m$ cujas as colunas são as perturbações do conjunto. A covariância dos erros da análise $\tilde{\mathbf{P}}^a$ é dada pela equação:

$$\tilde{\mathbf{P}}^a = \left[(m-1)\mathbf{I} + (\mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b)^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b \right]^{-1}. \quad (3)$$

\mathbf{R} é simétrica e corresponde a matriz de covariância dos erros das observações. Trata-se de uma matriz diagonal onde os elementos que não pertencem à diagonal principal são iguais a zero, significando que as covariâncias entre os erros de diferentes observações não são consideradas. A diagonal principal inclui as variâncias das observações, a partir dos valores de $\varepsilon_i, \varepsilon_r$ e ε_a .

Em seguida, a média do conjunto da análise é determinada pela equação:

$$\bar{\mathbf{X}}^a = \bar{\mathbf{X}}^b + \delta\mathbf{X}^b \tilde{\mathbf{P}}^a (\mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b)^T \mathbf{R}^{-1} \left(\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\bar{\mathbf{X}}^b) \right). \quad (4)$$

Esta média é usada para obter um novo conjunto de análises, somando-a aos -membros da matriz de perturbações do conjunto da análise, que são provenientes da equação 2. Então, esse novo conjunto de m análises é utilizado como condição inicial para um próximo ciclo de integrações do modelo numérico ou ciclo de previsões em sistemas de previsão oceânica.

3 | INVESTIGAÇÃO DAS INCERTEZAS DO MODELO A PARTIR DE EXPERIMENTOS POR CONJUNTOS E ASSIMILAÇÃO DE DADOS NO ATLÂNTICO SUDOESTE

Esta seção apresenta as configurações do *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), que é o modelo oceânico utilizado na realização dos experimentos por conjuntos. A finalidade aqui é investigar as incertezas no modelo oceânico que são derivadas de perturbações nas forçantes atmosféricas e o impacto da assimilação de dados com o método LETKF no Atlântico Sudoeste.

3.1. O Modelo Oceânico

O ROMS é um modelo oceânico regional, de superfície livre e de coordenadas verticais sigma, que seguem a batimetria. Ele resolve a equação de Navier-Stokes usando a média de Reynolds, a aproximação de Boussinesq e o balanço de momentum vertical hidrostático (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Os experimentos realizados neste estudo utilizaram o ROMS para o domínio numérico 55°S-5°S; 70°W-20°W com resolução horizontal 1/12°, sendo 602 pontos na direção zonal e 736 pontos na direção meridional, e 30 níveis verticais. Este domínio resolve o Atlântico Sudoeste. As integrações utilizaram forçantes atmosféricas a cada 6 h. Estas forçantes são campos atmosféricos de radiação de onda curta, radiação de onda longa, precipitação, pressão atmosférica, umidade específica, temperatura da superfície do ar e velocidade do vento em 10 m provenientes do *Climate Forecast System Reanalysis do National Centers for Environmental Prediction (CFSR/NCEP)* (SAHA et al., 2010). Os fluxos superficiais de calor sensível, calor latente e momentum foram calculados a partir das forçantes atmosféricas utilizando a formulação *bulk* descrita em Fairall et al. (1996) e Fairall et al. (2003). Como condições de contorno laterais oceânicas, foram empregados campos médios mensais de T, S, velocidade das correntes e altura da superfície do mar derivados da reanálise *Simple Ocean Data Assimilation* (CARTON; GIESE, 2008). Os experimentos utilizam a batimetria derivada do ETOPO *high-resolution global topography* (AMANTE; EAKINS, 2009).

3.2. Experimentos Incluindo Perturbações nas Forçantes Atmosféricas e sem Assimilação de Dados

Experimentos sem assimilação de dados iniciaram em 1 de janeiro de 2009 a partir de um conjunto constituído por 28 condições iniciais idênticas, i.e., o espalhamento inicial é nulo. Em seguida, as perturbações são realizadas nas forçantes atmosféricas. Os experimentos avançam com cada membro do seu conjunto integrado de forma independente. Portanto, as perturbações causam a divergência dos membros e conseqüentemente, são responsáveis pelo aumento do espalhamento do conjunto ao longo do tempo. O espalhamento é o desvio padrão dos membros do conjunto em relação à média, e fornece uma estimativa quantitativa das incertezas que dependem do fluxo.

As perturbações nas forçantes atmosféricas são realizadas nas variáveis do CSFR que são usadas pela fórmula bulk do ROMS. Os campos de perturbações são provenientes da reanálise atmosférica chamada 20th Century Reanalysis version 2c (20CR) (COMPO et al., 2011). Trata-se de uma reanálise por conjuntos que é constituída por 56 membros. Neste estudo, foram escolhidos apenas 28 membros de forma aleatória. A média destes 28 membros é subtraída de cada membro para gerar as respectivas perturbações $\delta X_m^R = X_m^R - \bar{X}^R$, onde m é um membro do conjunto e o

índice sobrescrito R indica 20CR. As perturbações foram interpoladas para a resolução do CFSR usando um programa de computador que é estruturado com o Earth System Modeling Framework (www.earthsystemcog.org/projects/regridweightgen/). Os campos perturbados do CFSR foram então calculados por $\tilde{X}_m^C = \bar{X}^C + \delta X_m^R$, onde m é um membro do conjunto e o índice sobrescrito C indica CFSR. Os campos foram preparados a cada 6 h de modo que as perturbações atmosféricas variam com o tempo. Quatro experimentos por conjuntos foram realizados aplicando perturbações separadamente aos campos de vento, fluxos de radiação e precipitação. Um experimento final foi realizado aplicando simultaneamente perturbações a todos os campos do forçamento atmosférico.

3.3. Experimentos de Assimilação de Dados

Os experimentos realizados com assimilação de dados iniciaram em 1 de julho de 2009 e utilizaram somente o conjunto inicial de 28 membros proveniente do experimento que inclui as perturbações sobre todas as forçantes atmosféricas. Mesmo incluindo a assimilação de dados, as perturbações nas forçantes atmosféricas persistiram no tempo para representar as incertezas do modelo numérico que dependem do fluxo de forma adequada, mantendo um espalhamento do conjunto satisfatório ao longo da integração. Caso o contrário, após diversos ciclos de assimilação, o conjunto pode apresentar um espalhamento bastante reduzido. A manutenção das perturbações então evita um colapso do conjunto e a divergência do filtro.

Diversos experimentos foram realizados incluindo a assimilação de perfis T/S, topografia dinâmica absoluta (ζ) e TSM. O LETKF é um método multivariado, *i.e.*, a assimilação de um tipo de observação interfere em todas as variáveis do vetor de estado do modelo numérico. Entretanto, a assimilação de TSM não impactou a S nos experimentos conduzidos neste estudo. O impacto da assimilação dessas observações na representação do oceano é acessado a partir da avaliação da média das “previsões”. A previsão oceânica propriamente dita utiliza forçantes atmosféricas e condições de contorno laterais provenientes respectivamente de modelos de previsão atmosférico e oceânico. Porém isto não ocorreu neste estudo, por se tratar de um estudo diagnóstico e não prognóstico. Um experimento foi realizado sem assimilação e denominado de experimento de controle. O experimento de controle é uma simulação única com o ROMS e utilizou, como condição inicial, a média do conjunto oceânico calculada em 1 de julho de 2009 a partir do experimento que incluiu perturbações sobre todas as forçantes atmosféricas.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados do espalhamento das variáveis oceânicas

na superfície em 7 de janeiro de 2009. Buscou-se avaliar o impacto de curto-prazo das perturbações atmosféricas no oceano a partir dos experimentos sem assimilação de dados. Após 7 dias, identificou-se um maior impacto, com maiores valores de espalhamento, quando todas as variáveis atmosféricas são perturbadas. As perturbações nos ventos promovem um impacto nas correntes de superfície de forma análoga, confirmando o importante papel que os ventos têm na transferência de momentum da atmosfera para o oceano. Os ventos também são importantes no cálculo dos fluxos de calor sensível e calor latente através da formulação *bulk*, justificando os valores expressivos que são encontrados nos campos de espalhamento da TSM e SSM.

Em janeiro de 2009, o Boletim CLIMANÁLISE (CLIMANÁLISE, 2009) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) documentou dois eventos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O primeiro se estendeu de 4 a 8 de janeiro e pode ser caracterizado como um caso de ZCAS oceânica (PEZZI et al., 2016). A presença da ZCAS promove um impacto importante, principalmente no campo de espalhamento da SSM que é derivado do experimento com perturbações na precipitação. A análise deste campo permite a identificação de uma banda com orientação NW-SE e perpendicular a linha de costa, onde os valores do espalhamento são relativamente mais elevados. Essa banda está localizada no oceano em torno de 20°S-30°S e 30°W-45°W e coincide com a posição da ZCAS (Fig. 2). O sinal da ZCAS está presente no espalhamento do conjunto de uma determinada variável oceânica dependendo do tipo de perturbação atmosférica. Na região oceânica subjacente à ZCAS, os experimentos com perturbações na precipitação e dos fluxos de radiação geram valores de espalhamento elevados respectivamente para SSM e TSM, excedendo 0,08 e 0,2 °C. Devido à transferência de momentum na superfície, as perturbações do vento estendem o impacto para as componentes u e v de velocidade das correntes, com o espalhamento destas variáveis alcançando valores maiores que 0,1 m s⁻¹.

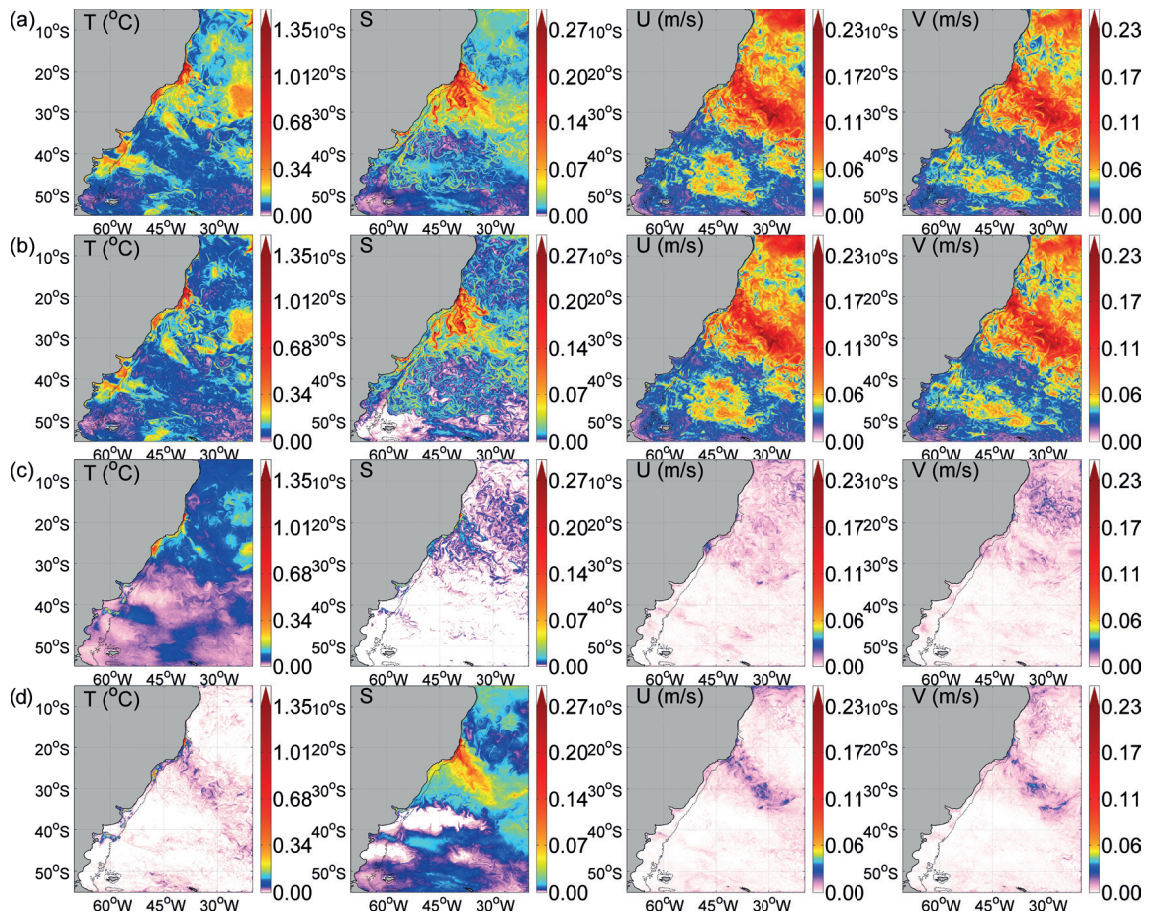


Figura 1: Espalhamento do conjunto das principais variáveis do modelo oceânico na superfície: TSM (°C), SSM, u (m/s) e v (m/s). Os experimentos estão ordenados, de cima para baixo, de acordo com o impacto na TSM. O espalhamento é calculado em 7 de janeiro de 2009 a partir dos resultados dos experimentos por conjuntos com perturbações sobre (a) todos os forçantes, (b) ventos, (c) fluxos de radiação e (d) precipitação.

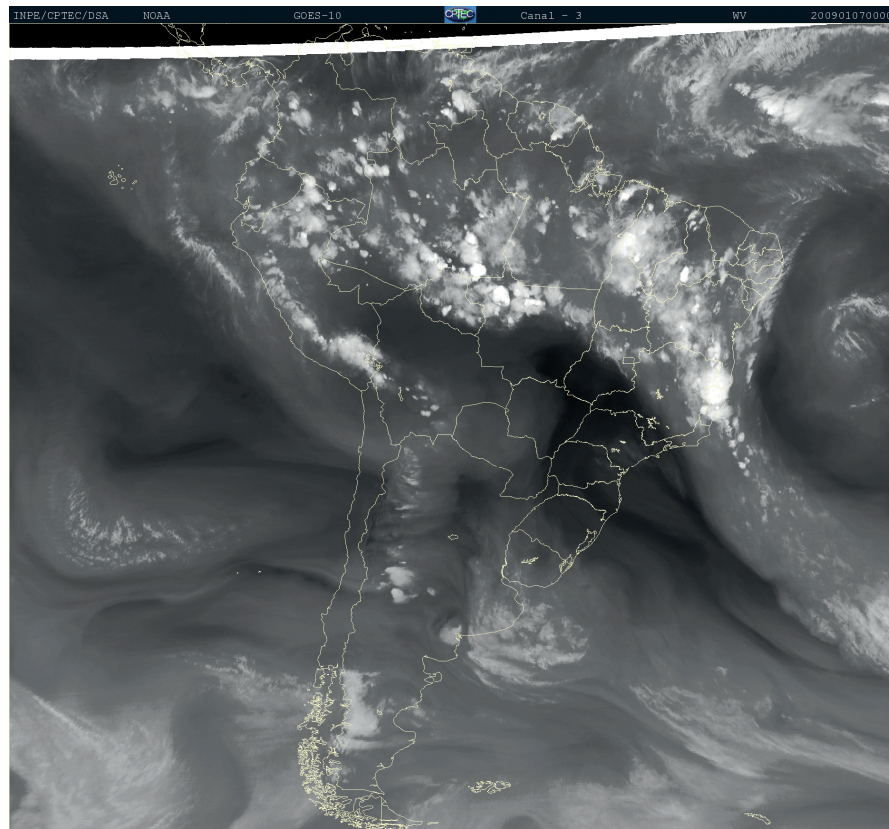


Figura 2: Imagem de alta resolução de vapor d'água proveniente do satélite GOES-10. Nota-se a presença da ZCAS em 7 de janeiro de 2009 (extraído de <http://satellite.cptec.inpe.br/>).

Um estudo da variabilidade da mesoescala oceânica foi conduzido através da avaliação qualitativa da energia cinética turbulenta (ECT) (Fig. 3). Como referência, utilizou-se o campo médio da ECT gerado a partir das componentes u e v de velocidade do *Ocean Surface Current Analyses* (OSCAR) (Dohan et al., 2010). Este campo apresenta um padrão não-homogêneo a partir do qual é possível distinguir a Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM) e Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Provost e Le Traon (1993), a partir de dados altimétricos, estimaram valores de ECT iguais a $800 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$, $150 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ e $1700 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ nas regiões da CB, CM e CBM, respectivamente. Enquanto o campo do OSCAR exibe valores que alcançam $500 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CB, $500\text{-}750 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CM e superam $1500 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CBM. Esse padrão não é visto no campo médio do experimento de controle, no qual os valores da ECT variam entre 500 e $1250 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ ao longo de quase toda extensão da quebra da plataforma continental. Em latitudes mais baixas, os resultados do experimento de controle não permitem distinguir as regiões da CB, CBM e CM. A assimilação de dados somente dos perfis T/S é importante e produz valores de ECT que se aproximam daqueles do OSCAR, embora não proporcione fielmente a representação das feições espaciais presentes nesse campo de referência. Em contrapartida, o experimento que inclui a assimilação de ζ reproduz mais propriamente os valores de ECT do OSCAR, principalmente sobre a CBM. Isto indica a importância da assimilação de dados altimétricos visando a representação da variabilidade da mesoescala oceânica com acurácia.

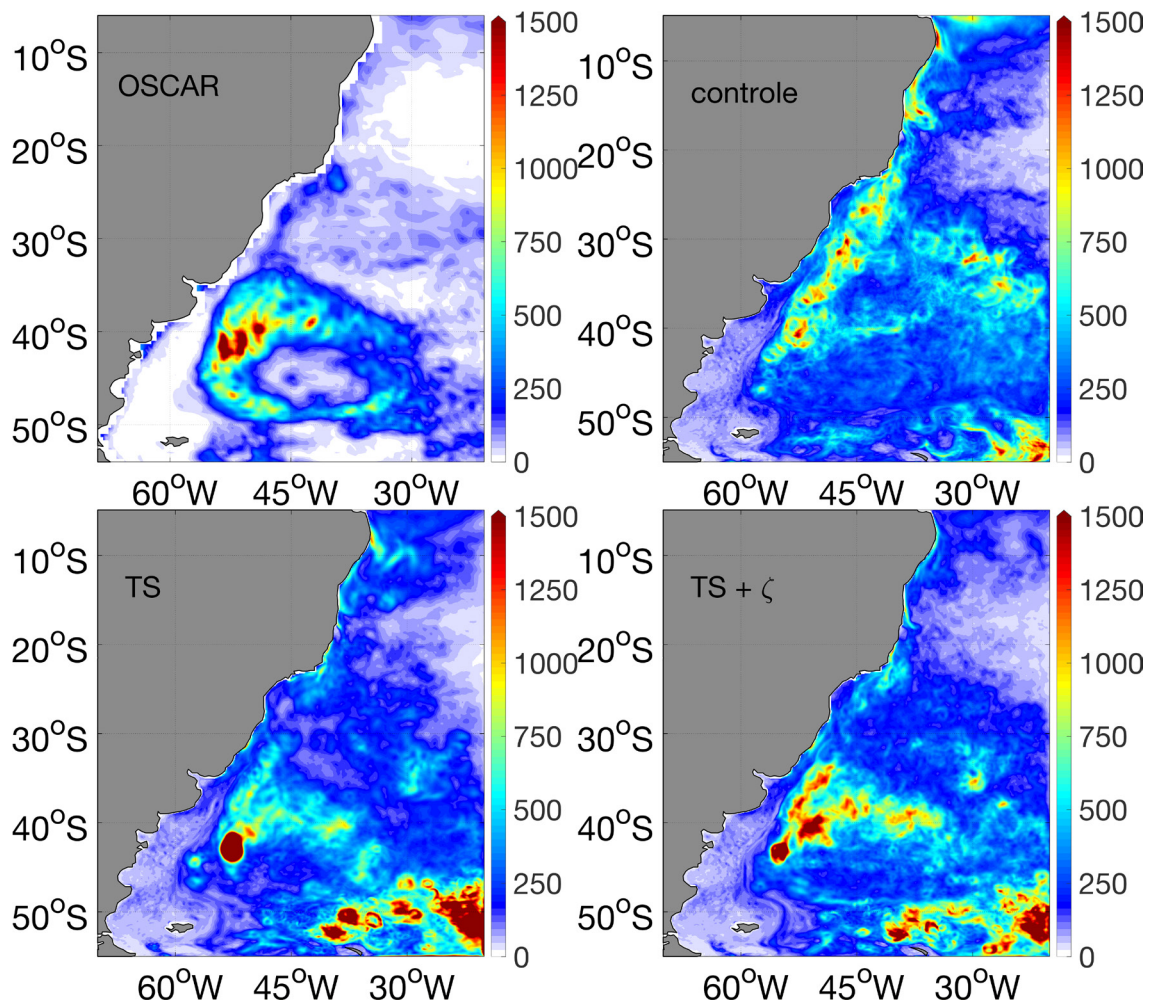


Figura 3: Mapas horizontais da ECT em $\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$ produzidos a partir das componentes horizontais da velocidade u e v . As médias são calculadas de 1 de julho de 2009 a 30 de junho de 2010 a partir das análises objetivas de u e v na resolução horizontal de $1/3^\circ$ do OSCAR e os resultados de u e v do experimento de controle e das médias das previsões dos experimentos com assimilação de perfis T/S e assimilação de perfis T/S e ζ .

A avaliação do impacto da assimilação em subsuperfície foi verificada através de perfis verticais da média do erro quadrático médio (EQM) de T e S (Fig. 4). A assimilação dos perfis T/S é crucial e promove uma redução do EQM de $0,19^\circ \text{C}$ e $0,08$ na camada de mistura, $1,08^\circ \text{C}$ e $0,12$ respectivamente na termoclina e haloclina, e $0,30^\circ \text{C}$ e $0,03$ no oceano profundo. Além da assimilação de T/S, a inclusão da assimilação de ζ promove um impacto discreto, produzindo uma pequena correção da T acima de aproximadamente 303 m. Entretanto, a inclusão de ζ degrada a T em níveis mais profundos. Com a assimilação de T/S, ζ e TSM, as correções da T se estendem às profundidades acima de 366 m, devido à adição da TSM. Neste caso, a TSM mostra-se crucial na correção do perfil de T, principalmente na região da camada mistura oceânica. Oke e Schiller (2007) identificaram um impacto da assimilação de TSM dependente da profundidade da camada de mistura em latitude. Acima de 165 m, a correção se estende ao perfil de S, indicando que as correções da T, em função da assimilação de TSM, podem ser estendidas à S através da dinâmica do modelo numérico. Em profundidades mais elevadas, prevalece um impacto ligeiramente negativo decorrente da assimilação de ζ .

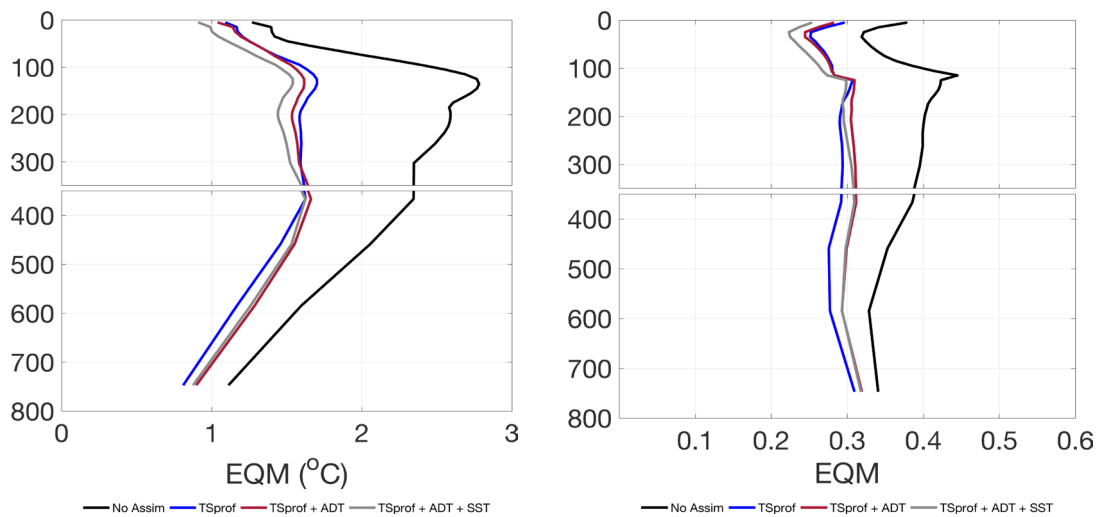


Figura 4: Perfis verticais médios do EQM de T em °C (painel esquerdo) e S (painel direito). O eixo indica a profundidade (em m). O EQM é computado de 1 de julho de 2009 a 30 de junho de 2010 entre as observações de T e S provenientes dos perfis verticais *in situ* e os resultados do experimento de controle (preto) e das médias das previsões dos experimentos com assimilação de somente perfis T/S (azul), perfis T/S e ζ (vermelho), perfis T/S, ζ e TSM (cinza).

5 | CONCLUSÕES

Neste capítulo, foram apresentadas e discutidas simulações numéricas oceânicas por conjuntos realizadas com perturbações nas forçantes atmosféricas. O principal objetivo foi investigar as incertezas nas representações numéricas do modelo. A resposta de curto-prazo mostrou a importância dos ventos no cálculo dos fluxos de momentum, calor sensível e calor latente através da formulação *bulk* do ROMS. Apenas as perturbações nos ventos produziram valores do espalhamento das variáveis oceânicas comparáveis aos gerados quando todas as forçantes atmosféricas foram perturbadas. Enquanto as perturbações nos campos de radiação (precipitação) produziram um maior impacto somente na TSM (SSM). Assim, a utilização de estratégias que aplicam perturbações apenas nos ventos pode ser suficiente, ao menos, no oceano Atlântico Sudoeste. Constatou-se a influência de fenômenos atmosféricos importantes que ocorrem nessa região, como a ZCAS. O espalhamento do conjunto das variáveis atmosféricas perturbadas apresentou valores relativamente mais altos ao longo da ZCAS. Respondendo às perturbações atmosféricas nessa região, os valores do espalhamento do conjunto das variáveis oceânicas foram mais elevados, como foi verificado nos resultados do espalhamento da SSM a partir da simulação por conjuntos com perturbações no campo de precipitação. Outras alternativas de perturbações a serem incluídas no modelo numérico (por exemplo: parametrizações físicas, condições de contorno laterais, batimetria) não são verificadas aqui. Entretanto, a resposta do oceano as perturbações de outras variáveis atmosféricas, além de comparações com perturbações no campo de batimetria são investigadas em Lima et al. (2018) e Lima (2018). Estes trabalhos mostram que as características do campo do espalhamento do conjunto das variáveis oceânicas dependeram de como cada variável atmosférica

foi utilizada no cálculo dos fluxos turbulentos atmosféricos através da fórmula *bulk*. Em adição, eles identificaram um impacto, com maiores valores do espalhamento do conjunto, ao longo da simulação por conjuntos que empregou perturbações no campo de batimetria do modelo oceânico, especialmente em águas rasas, em consequência do modelo oceânico ROMS ser estruturado com coordenadas verticais que seguem a batimetria.

Os experimentos de assimilação de dados foram avaliados e os resultados mostraram a importância da assimilação de dados na correção da representação oceânica no Atlântico Sudoeste. A assimilação de perfis T/S é fundamental na correção da T e S em subsuperfície. A assimilação de dados altimétricos são importantes para a representação da variabilidade da mesoescala oceânica com acurácia. As correções impostas ao nível do mar do modelo oceânico podem ser transmitidas para as componentes de velocidade das correntes através da assimilação de ζ e da própria física do modelo pela aproximação geostrófica. No entanto, alguns ajustes estão sendo planejados buscando evitar o impacto negativo da assimilação de ζ nos níveis mais profundos de T e S. A assimilação de TSM promove a correção de T nos níveis mais superficiais do modelo que estão internos à camada de mistura oceânica. As correções da T podem ser estendidas à S pela dinâmica interna do modelo numérico.

REFERÊNCIAS

AMANTE, C.; EAKINS, B. W. **ETOPO1 1 Arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, p. 19, Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>>.

CARTON, J. A.; GIESE, B. S. **A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA)**. Monthly Weather Review, v. 136, n. 8, p. 2999–3017, 2008.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática (CPTEC/INPE) Climanálise**, 2009. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf03/jan03.pdf>>.

COMPO, G. P.; WHITAKER, J. S.; SARDESHMUKH, P. D.; MATSUI, N.; ALLAN, R. J.; YIN, X.; GLEASON, B. E.; VOSE, R. S.; RUTLEDGE, G.; BESSEMOULIN, P.; BRÖNNIMANN, S.; BRUNET, M.; CROUTHAMEL, R. I.; GRANT, A. N.; GROISMAN, P. Y.; JONES, P. D.; KRUK, M. C.; KRUGER, A. C.; MARSHALL, G. J.; MAUGERI, M.; MOK, H. Y.; NORDLI, O.; ROSS, T. F.; TRIGO, R. M.; WANG, X. L.; WOODRUFF, S. D.; WORLEY, S. J. **The twentieth century reanalysis project**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 137, n. 654, p. 1–28, 2011.

DOHAN, K.; BONJEAN, F.; CENTURIONI, L.; CRONIN, M.; LAGERLOEF, G.; LEE, D.-K.; LUMPKIN, R.; MAXIMENKO, N. A.; NIILER, P. P.; UCHIDA, H. **Measuring the Global Ocean Surface Circulation with satellite and in situ observations**. In: OCEANOBS'09, 2009. European Space Agency Publication, 2010. Disponível em: <<http://www.oceanobs09.net/proceedings/cwp/cwp23>>.

EVENSEN, G. **Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics**. Journal of Geophysical Research, v. 99, n. C5, p. 10143, 1994.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; HARE, J. E.; GRACHEV, A. A.; EDSON, J. B. **Bulk**

parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm. Journal of Climate, v. 16, n. 4, p. 571–591, 2003.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; ROGERS, D. P.; EDSON, J. B.; YOUNG, G. S. **Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment.** Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 101, n. C2, p. 3747–3764, 1996.

FREELAND, H. J.; ROEMMICH, D.; GARZOLI, S. L.; LETRAON, P.-Y.; RAVICHANDRAN, M.; RISER, S.; THIERRY, V.; WIJFFELS, S.; BELBÉOCH, M.; GOULD, J.; GRANT, F.; IGNAZEWSKI, M.; KING, B.; KLEIN, B.; MORK, K. A.; OWENS, B.; POULIQUEN, S.; STERL, A.; SUGA, T.; SUK, M.-S.; SUTTON, P.; TROISI, A.; VÉLEZ-BELCHI, P. J.; XU, J. **Argo: a decade of progress.** In: OCEANOBS'09, 2009. European Space Agency Publication, 2010. Disponível em: <<http://www.oceanobs09.net/proceedings/cwp/cwp32>>.

HOFFMAN, M. J.; MIYOSHI, T.; HAINE, T. W. N.; IDE, K.; BROWN, C. W.; MURTUGUDDE, R. An advanced data assimilation system for the Chesapeake Bay: performance evaluation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 29, n. 10, p. 1542–1557, 2012.

HOLLINGSWORTH, A.; LÖNNBERG, P. **The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind field.** Tellus A, v. 38A, p. 111–136, 1986.

HUNT, B. R.; KOSTELICH, E. J.; SZUNYOGH, I. **Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter.** Physica D: Nonlinear Phenomena, v. 230, n. 1–2, p. 112–126, 2007.

KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability.** Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 9780521796293. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Uqc7zC7NULMC>>

LIMA, L. N.; TANAJURA, C. A. S. **A study of the impact of altimetry data assimilation on short-term predictability of the HYCOM ocean model in regions of the Tropical and South Atlantic Ocean.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 31, n. 2, p. 271–288, 2013.

LIMA, L. N.; PEZZI, L. P.; PENNY, S. G.; TANAJURA, C. A. S. (Em revisão). **An investigation of ocean model uncertainties through ensemble forecast experiments in the Southwest Atlantic Ocean.** Journal of Geophysical Research: Oceans, 2018.

LIMA, L. N. **Estudo das incertezas na simulação por conjuntos e no uso da assimilação de dados no oceano Atlântico Sudoeste.** 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo.

MIYOSHI, T. **The Gaussian approach to adaptive covariance inflation and its implementation with the local Ensemble transform Kalman Filter.** Monthly Weather Review, v. 139, n. 5, p. 1519–1535, 2011.

MIYOSHI, T.; YAMANE, S. **Local Ensemble Transform Kalman Filtering with an AGCM at a T159/L48 Resolution.** Monthly Weather Review, v. 135, p. 3841–3861, 2007.

MIYOSHI, T.; YAMANE, S.; ENOMOTO, T. **Localizing the error covariance by physical distances within a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF).** Sola, v. 3, n. 1, p. 89–92, 2007.

OKE, P. R.; BRASSINGTON, G. B.; GRIFFIN, D. A.; SCHILLER, A. **The Bluelink ocean data assimilation system (BODAS).** Ocean Modelling, v. 21, n. 1–2, p. 46–70, 2008.

OKE, P. R.; SCHILLER, A. **Impact of Argo, SST, and altimeter data on an eddy-resolving ocean reanalysis.** Geophysical Research Letters, v. 34, n. 19, p. 1–7, 2007.

PENNY, S. G. **The hybrid local ensemble transform Kalman Filter**. Monthly Weather Review, v. 142, n. 6, p. 2139–2149, 2014.

PENNY, S. G.; BEHRINGER, D. W.; CARTON, J. A.; KALNAY, E. **A Hybrid Global Ocean Data Assimilation System at NCEP**. Monthly Weather Review, v. 143, n. 11, p. 4660–4677, 2015.

PENNY, S. G. **Mathematical foundations of hybrid data assimilation from a synchronization perspective**. Chaos, v. 27, n. 12, 2017.

PEZZI, L. P.; DE SOUZA, R. B.; QUADRO, M. F. L. **Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do oceano atlântico sul baseada em dados observacionais**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, p. 428–453, 2016.

PROVOST, C.; LE TRAON, P.-Y. **Dominance of the semiannual period and large spatial scales**. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 98, p. 18037-18051, 1993.

RISIEN, C. M.; STRUB, P. T. **Blended sea level anomaly fields with enhanced coastal coverage along the U.S. West Coast**. Scientific Data, v. 3, p. 1–15, 2016.

SAHA, S.; MOORTHI, S.; PAN, H. L.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; KISTLER, R.; WOOLLEN, J.; BEHRINGER, D.; LIU, H.; STOKES, D.; GRUMBINE, R.; GAYNO, G.; WANG, J.; HOU, Y. T.; CHUANG, H. Y.; JUANG, H. M. H.; SELA, J.; IREDELL, M.; TREADON, R.; KLEIST, D.; VAN DELST, P.; KEYSER, D.; DERBER, J.; EK, M.; MENG, J.; WEI, H.; YANG, R.; LORD, S.; VAN DEN DOOL, H.; KUMAR, A.; WANG, W.; LONG, C.; CHELLIAH, M.; XUE, Y.; HUANG, B.; SCHEMM, J. K.; EBISUZAKI, W.; LIN, R.; XIE, P.; CHEN, M.; ZHOU, S.; HIGGINS, W.; ZOU, C. Z.; LIU, Q.; CHEN, Y.; HAN, Y.; CUCURULL, L.; REYNOLDS, R. W.; RUTLEDGE, G.; GOLDBERG, M. **The NCEP climate forecast system reanalysis**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 91, n. 8, p. 1015–1057, 2010.

SAKOV, P.; COUNILLON, F.; BERTINO, L.; LISTER, K. A.; OKE, P. R.; KORABLEV, A. **TOPAZ4: an ocean-sea ice data assimilation system for the North Atlantic and Arctic**. Ocean Science, v. 8, n. 4, p. 633–656, 2012.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. **The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model**. Ocean Modelling, v. 9, n. 4, p. 347–404, 2005.

WHITAKER, J. S.; HAMILL, T. M. **Ensemble data assimilation without perturbed observations**. Monthly Weather Review, v. 130, n. 7, p. 1913–1924, 2002.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482