

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL

MODELAGEM DA PLUMA DO CANAL SÃO GONÇALO NA REGIÃO DO COMPLEXO
PATOS-MIRIM

por

Alvaro José Reis Ramos

Dissertação visando obtenção do título de mestre em Modelagem Computacional

Orientador: Dr. Wiliam Correa Marques
Co-orientador (a): Dr^a. Juliana Costi

Rio Grande, Março de 2020

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL

MODELAGEM DA PLUMA DO CANAL SÃO GONÇALO NA REGIÃO DO COMPLEXO
PATOS-MIRIM

Por

Alvaro José Reis Ramos

Dissertação apresentada junto ao programa de pós-graduação em Modelagem Computacional (PPGMC) visando obtenção do título de mestre em Modelagem Computacional sob orientação do Dr. Wiliam Correa Marques e co-orientação da Dr^a. Juliana Costi.

Rio Grande, Março de 2020

Ficha Catalográfica

R175m Ramos, Alvaro José Reis.

Modelagem da pluma do canal São Gonçalo na região do
complexo Patos-Mirim / Alvaro José Reis Ramos. – 2020.
112 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional,
Rio Grande/RS, 2020.

Orientador: Dr. Wiliam Correa Marques.

Coorientadora: Dra. Juliana Costi.

1. Modelagem Numérica 2. Pluma Fluvial 3. Sensoriamento
Remoto I. Marques, Wiliam Correa II. Costi, Juliana III. Título.

CDU 528.8:556.53

Catlogação na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

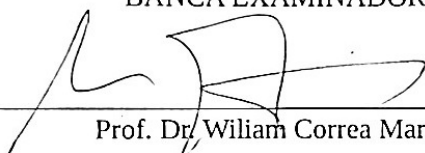
Álvaro José Reis Ramos

“Modelagem da Pluma do Canal São Gonçalo na região do complexo Patos-Mirim”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área concentração: Modelagem Computacional.

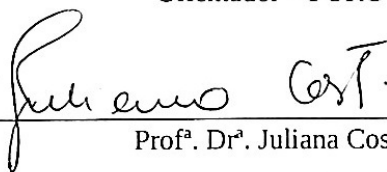
Aprovado em

BANCA EXAMINADORA



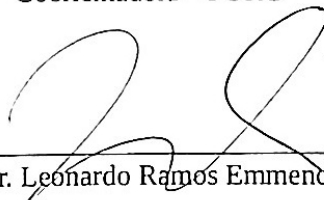
Prof. Dr. Wiliam Correa Marques

Orientador – FURG



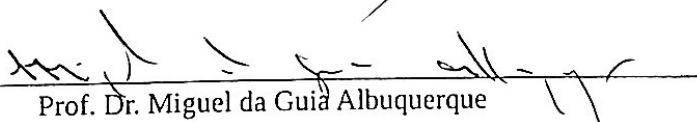
Profª. Drª. Juliana Costi

Coorientadora – FURG



Prof. Dr. Leonardo Ramos Emmendorfer

FURG



Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque

IFRS

Rio Grande - RS
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder sabedoria, grandes oportunidades e perseverança, me proporcionando realizar buscas diárias visando realizar os objetivos traçados. Aos meus amados pais Nazaré e José por todo apoio, suporte, carinho concedidos durante esta jornada e seus esforços em fazer de mim um cidadão honrado e íntegro, sem eles eu não teria conseguido atravessar muitos obstáculos. Agradeço aos meus irmãos, que sempre me incentivaram e ajudaram a dar o melhor de mim na busca pela realização de minhas atividades de maneira responsável. À minha namorada Jessyca, pelo companheirismo, amor, paciência e principalmente o apoio em momentos difíceis, além dos conhecimentos compartilhados. Ao meu orientador Wiliam Marques, pela dedicação no apoio à realização deste trabalho, além da colaboração no meu processo de formação acadêmica, permitindo sempre buscar evoluir profissionalmente. Aos professores pela inspiração e ensinamentos repassados, destacando Miguel Albuquerque, Leonardo Emmendorfer, Nísia Krusche, Diana Adamatti, Bárbara Rodriguez, Viviane Mattos, Osmar Moller e aos demais docentes que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Aos colegas de trabalho e grandes amigos, Raylton Bendô, Nágila Monteiro, Mauren Silva, Juliana Costi e Alejandra Bustillos pelos momentos de união, apoio nas atividades acadêmicas e companheirismo em todos os momentos. Ao Laboratório de análise numérica e sistemas dinâmicos (LANSD), sob coordenação do docente Wiliam Marques, pela contribuição e estímulo ao desenvolvimento de atividades acadêmicas, no qual conhecimentos foram adquiridos e grandes momentos foram vividos. Aos amigos Rafael, Alex, Sávio, Thayanne, Weverton, Scarlet, Mitchel, Christian, Andreone e demais colegas que de alguma forma sempre estiveram ao meu lado durante este período. Ademais, agradeço a todos os demais que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

As plumas podem ser definidas como massas de água que apresentam baixa densidade e são responsáveis por transportar diferentes elementos oriundos do continente para o meio aquático, sendo assim, o presente estudo teve por objetivo caracterizar o comportamento da pluma fluvial e avaliar a concentração de sólidos suspensos na região do Canal São Gonçalo-RS, utilizando o modelo numérico hidrodinâmico TELEMAC-3D para representação espacial e posterior representação vertical. O trabalho ainda aplicou informações orbitais do satélite MODIS-AQUA para geração de um algoritmo regional posteriormente utilizada como ferramenta de validação do modelo numérico. No estudo, foram realizadas 4 simulações, nas quais, para as 3 primeiras foram utilizadas diferentes condições atmosféricas (prevendo eventos de anomalias climáticas no Pacífico), e a última uma simulação de 365 dias para avaliação das características sedimentares anual e estacional. Para tanto, se dispôs de uma malha não estruturada com 159.155 nós como domínio computacional. As informações que alimentavam o modelo foram retiradas do Era-Interim (contorno atmosférico), HYCOM (contorno oceânico) e dados da ANA para a fronteira dos rios Jaguarão, Cebollati, Tacoarí, Guaíba e Camaquã. As informações geradas pelo modelo foram validadas através de dados obtidos *in loco* na estação da praticagem, aliados aos dados geoespaciais. Como principais resultados se observa que, no algoritmo regional as partículas suspensas respondem bem à região do NIR (*near infrared*), onde os maiores valores alcançam 0.045 kg/m^3 para a jusante do canal, morfologicamente as plumas prototípicas e de entrada puramente estuarinas apresentam maior destaque para o canal, influenciadas por ventos do quadrante norte. As regiões de mistura da pluma ocorrem essencialmente no médio e baixo estuários. O transporte de propriedades apresentou alterações em função de mudanças nas condições atmosféricas, mostrando diferenças nos padrões de ventos e correntes sobre efeitos de anomalias climáticas. A advecção controlou os processos verticais na pluma, causando estratificação desigual ao longo do complexo. Contudo, foram observadas baixas variações entre superfície e fundo, com os valores de superfície sendo maiores em relação ao fundo na porção oeste da jusante do canal. Os ventos provenientes do NE, foram maioria registrada durante as simulações, favorecendo o transporte em direção ao sul e espalhamento da pluma na direção do oceano.

Palavras-chave: Modelagem numérica, Pluma fluvial, Sensoriamento remoto.

Abstract

The plumes can be defined as bodies of water that have low density and are responsible for transporting different elements from the continent to the aquatic environment, therefore, the present study aimed to characterize the behavior of the river plume and evaluate the concentration of suspended solids in the São Gonçalo-RS region, using the hydrodynamic numerical model TELEMAC-3D for spatial representation and later vertical representation. The work also applied orbital information from the MODIS-AQUA satellite to generate a regional algorithm later used as a validation tool for the numerical model. In the study, 4 simulations were carried out, in which, for the first 3, different atmospheric conditions were used (predicting events of climatic anomalies in the Pacific), and the last a 365-day simulation to evaluate the annual and seasonal sedimentary characteristics. For that, an unstructured mesh with 159,155 nodes was used as a computational domain. The information that fed the model was taken from Era-Interim (atmospheric contour), HYCOM (oceanic contour) and ANA data for the border of the Jaguarão, Cebollati, Tacoarí, Guaíba and Camaquã rivers. The informations generated by the model was validated through data obtained in loco at the praticagem station, combined with geospatial data. As main results, it is observed that, in the regional algorithm, the suspended particles respond well to the near infrared region, where the highest values reach 0.045 kg/m³ for the channel downstream, morphologically the prototypical and purely estuarine inlet plumes show greater prominence for the channel, influenced by winds from the north quadrant. The plume mixing regions occur mainly in the middle and low estuaries. The transport of properties showed changes due to changes in atmospheric conditions, showing differences in the patterns of winds and currents on the effects of climatic anomalies. Advection controlled the vertical processes in the plume, causing uneven stratification throughout the complex. However, low variations between surface and bottom were observed, with the surface values being higher in relation to the bottom in the west portion of the channel downstream. The winds from the NE were mostly recorded during the simulations, favoring transport towards the south and spreading the plume towards the ocean.

keywords: Numerical modeling, Fluvial plumes, Remote sensing.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo geral	18
1.1.1	Objetivos específicos	18
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	19
2.1	Plataforma continental sul do Brasil (PSB)	19
2.2	Complexo Patos-Mirim	20
2.2.1	Lagoa Mirim	20
2.2.2	Canal São Gonçalo	21
2.2.3	Rio Guaíba	23
2.3	Aspectos sedimentares	25
2.4	Geologia local	26
2.5	Modelagem numérica em estudos sedimentares: Estado da arte	27
2.6	Fundamentos do sensoriamento remoto	30
2.6.1	Sensoriamento remoto para estudos sedimentares	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	Modelagem utilizando o sistema TELEMAC	39
3.1.1	Equacionamento geral do modelo	40
3.1.2	Modelo $(k - \varepsilon)$	41
3.1.3	Equação de traçadores	41
3.1.4	Elaboração da malha de elementos finitos	42
3.1.5	Condições iniciais e de contorno	43
3.1.6	Estudos de caso	44
3.1.7	Validação do modelo hidrodinâmico	46
3.2	Sensoriamento remoto para análise dos sedimentos em suspensão	47
3.2.1	Aquisição de dados espaciais- <i>Google Earth Engine</i> (GEE)	47
3.2.2	Aplicação do NDWI (<i>Normalized Difference Water Index</i>)	48
3.2.3	Geração e validação do algoritmo regional	48
3.2.4	Caracterização das plumas	51
4	RESULTADOS	52
4.1	SENSORIAMENTO REMOTO	52
4.1.1	Uso do índice de água para discretização das linhas de costa	52
4.1.2	Configurações atmosféricas no Pacífico	53
4.1.3	Algoritmo regional e validação	55
4.1.4	Concentração de sedimentos em suspensão no complexo Patos-Mirim	56

4.1.5	Comportamento e mistura da pluma no complexo Patos-Mirim	61
4.1.6	Discussão	66
4.2	TRANSPORTE DE PROPRIEDADES EM SUSPENSÃO (2009-2011)	68
4.2.1	Validação do modelo hidrodinâmico	68
4.2.2	Hidrodinâmica do complexo Patos-Mirim e transporte sedimentar	69
4.2.3	Discussão	77
4.3	COMPORTAMENTO DA PLUMA DO CANAL SÃO GONÇALO: ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2011	80
4.3.1	Hidrodinâmica do complexo Patos-Mirim	80
4.3.2	Comportamento da pluma no estuário da LP	86
4.3.3	Efeitos de eventos extremos na hidrodinâmica do complexo Patos-Mirim	87
4.3.4	Análise quantitativa das concentrações sedimentares: algoritmo regional x modelo numérico	96
4.3.5	Discussão	98
4.3.6	Considerações finais	102
4.3.7	Propostas para estudos futuros	103

LISTA DE FIGURAS

2.1	Lagoa dos Patos.	21
2.2	Delimitação da Lagoa Mirim.	22
2.3	Localização do Canal São Gonçalo.	23
2.4	Rio Guaíba.	24
2.5	Captação de energia pelo sensor.	31
3.1	Área de estudo.	39
3.2	Domínio numérico.	43
3.3	Malha batimétrica	43
3.4	Condições de contorno.	44
3.5	Estação da praticagem.	47
3.6	Pontos de coleta para geração do algoritmo regional.	49
3.7	Classificação morfológica das plumas.	51
4.1	Resultado das máscaras de água criadas para a região costeira adjacente.	53
4.2	Diferenças da temperatura da superfície do mar (2009-2011).	54
4.3	Regressão- CSS/Reflectância.	55
4.4	Relação entre os valores medidos e concentração estimada.	56
4.5	Definição das áreas de alto, médio e baixo estuários da LP.	57
4.6	CSS no Canal São Gonçalo (2009-2011)	58
4.7	CSS no Médio estuário (2009-2011)	58
4.8	CSS no Baixo estuário (2009-2011)	59
4.9	Plumas do CSG- 26 de Junho de 2010.	60
4.10	Pluma sedimentar- 29 de Novembro de 2009.	61
4.11	Comportamento da pluma no CSG para os dias 09 de Janeiro, 06 de Março, 09 de Maio, 04 de Julho, 06 de Setembro e 25 de Novembro de 2010.	62
4.12	Intensidade e direção dos ventos.	63
4.13	Morfologia de plumas encontradas no CSG.	64
4.14	Pluma em equilíbrio geostrófico.	64
4.15	Regiões de mistura da pluma do CSG.	65
4.16	Relação entre os valores medidos e corrente estimada.	69
4.17	Campos médios de CSS(kg/m ³) para 2009-2011.	70
4.18	Campos médios de intensidade do vento(m/s) 2009-2011.	71
4.19	Campos médios elevação da superfície livre(m).	72
4.20	Transectos para as regiões do alto, médio e baixo estuários da LP.	73
4.21	Velocidade de corrente no Alto estuário da LP.	73
4.22	Velocidade de corrente no Médio estuário da LP.	74

4.23	Velocidade de corrente no Baixo estuário da LP.	75
4.24	Campos médios de Corrente 2009-2011(m/s).	76
4.25	<i>Snapshots</i> das condições atmosféricas registradas entre 2009-2011.	79
4.26	Campos médios estacionais de intensidade do vento 2011(m/s)	81
4.27	Campo médio de intensidade dos ventos para 2011.	82
4.28	Campo médio de elevação da superfície livre no estuário-2011.	83
4.29	Elevação estacional da superfície livre no estuário.	83
4.30	Campo médio anual de corrente.	84
4.31	Campos médios estacionais de Corrente 2011(m/s)	85
4.32	Campo médio anual de CSS (kg/m^3).	86
4.33	Concentração sedimentar (kg/m^3) no CSG.	87
4.34	Eventos extremos analisados para o ano de 2011.	89
4.35	Transecto para análise dos perfis verticais.	89
4.36	Passagem de um ciclone entre os dias 27 de Fevereiro e 01 de Março de 2011. . .	90
4.37	Velocidade de corrente durante a ciclogênese.	91
4.38	Passagem de um ciclone entre os dias 27 de Fevereiro e 01 de Março de 2011. . .	92
4.39	Velocidade de corrente na passagem da linha de instabilidade.	93
4.40	Passagem de uma frente fria em Junho de 2011.	94
4.41	Passagem de uma frente fria em Setembro de 2011.	94
4.42	Velocidade de corrente na passagem do sistema frontal em Junho.	95
4.43	Velocidade de corrente na passagem do sistema frontal em Setembro.	96
4.44	CSS gerados pelo modelo numérico e algoritmo regional.	97
4.45	Registro de dois eventos de ZCAS: um para o dia 01 de Novembro e o seguinte dia 02 de Dezembro.	101

LISTA DE TABELAS

2.1	Características gerais do satélite AQUA.	34
3.1	Condições atmosférico-oceânicas do período simulado.	45
3.2	Índices SOI durante o período simulado (2009-2011).	45
3.3	Parametros utilizados no estudo de caso do ano de 2011.	46
3.4	indicadores estatísticos utilizados no processo de validação.	46
3.5	Informações utilizadas no processo de validação do algoritmo regional.	50
3.6	Indicadores estatísticos utilizados no processo de validação.	51
4.1	Média de CSS anuais em diferentes regiões da LP.	57

Lista de Nomenclaturas

Siglas

ANA	Agência Nacional das Águas
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
CSS	Concentração de Sólidos em Suspensão
CSG	Canal São Gonçalo
EDF	<i>Electricite de France</i>
EE	<i>Earth Engine</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENSO	<i>El Niño Oscilação Sul</i>
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FTP	<i>File Transference Protocol</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IC	Índice de Concordância
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOCCG	<i>International Ocean Colour Coordinating Group</i>
IRGA	Instituto Rio Grandense de Arroz
IV	Infravermelho Médio
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LM	Lagoa Mirim
LNCC	Laboratório Nacional de Computação Científica
LNHE	<i>Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement</i>
LP	Lagoa dos Patos
LP DAAC	<i>Land Processes Distributed Active Archive Center</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MSE	<i>Mean Square Error</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ND	Números Digitais
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NIR	Infravermelho Próximo
PDI	Processamento Digital de Imagens
PCs	Computadores Pessoais
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RG	Rio Guaíba

RS	Rio Grande do Sul
SEADAS	<i>SEaWIFS Analysis System</i>
SOI	<i>Southern Oscillation Index</i>
SST	<i>Sea Surface Temperature</i>
SUDESUL	Superintendência do Desenvolvimento do Sul
SWIR	Ondas Curtas do Vermelho
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

Símbolos

ρ_0	Densidade de referência
$\wedge$	Conjunção
$\Delta\rho$	Variação de densidade
∂	Derivada parcial
ε	Épsilon
E_d	Radiância descendente
E_u	Radiância ascendente
FX e FY	Termos de origem
h	Profundidade da água
K_d	Coefficiente de atenuação difusa da irradiância descendente
σ	Sigma
Δ	Delta
ω	Ômega
ρ	Rho
λ	Lambda
π	Pi
P	Produção de energia por turbulência
p	Pressão
p_{atm}	Pressão atmosférica
Q	Unidade traçadora
R	Reflectância
T	Temperatura
t	Tempo
U	Velocidade média na seção transversal
VT	Coefficiente de difusão do traçador
u	Velocidade na direção x
v	Velocidade na direção y
w	Velocidade vertical
$\vec{u}_H$	Velocidade horizontal de superfície
$\vec{\omega}$	Velocidade do vento 10 metros acima do nível da água
x	Dimensão espacial
y	Dimensão espacial
z	Componente de espaço vertical
Z	Elevação da superfície livre

Unidades

°C	Graus Celsius
ha	Hectar
K	Kelvin
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
km ²	Quilômetros quadrados
km	Quilômetros
L ⁻¹	Índice de transparência da água
m	Metros
μm	Micrometros
m ³ .s ⁻¹	Metros cúbicos por segundo
mg.L ⁻¹	Miligramas por litro
m.s ²	Metros por segundo ao quadrado
m.s ⁻¹	Milissegundo
nm	Nanometros
N/ms	Newtons metro por segundo
rd/s	Radianos por segundo

1. INTRODUÇÃO

O transporte sedimentar proveniente dos continentes, em direção aos oceanos através dos rios, é uma característica fundamental da geologia e biogeoquímica do planeta (Medeiros, 1996). Sedimentos são descritos como materiais granulares, formados principalmente por detritos de origem rochosa, resultantes de erosão ou intemperismo, e que podem sofrer processo de decantação no meio aquático mediante ação gravitacional (Winterwerp e Kesteren, 2004).

Para Suguio et al. (1986), os componentes sedimentares são originados precisamente a partir de processos físico-químicos em rochas. Nestas condições, aspectos ambientais distintos geram múltiplos processos, originando diferentes tipos de sedimentos das rochas matrizes, onde a dinâmica hidrológica é considerada a principal causa da meteorização natural. Ações antrópicas também apresentam relevante contribuição na elevação da concentração sedimentar em corpos hídricos, notabilizando o papel do desmatamento e ocupações inadequadas em encostas.

O transporte sedimentológico através dos rios e no ambiente estuarino é um fenômeno notadamente complexo e altamente dependente, principalmente dos processos erosivos que ocorrem em vertentes da bacia e no leito de mananciais, formando materiais posteriormente conduzidos por ação da energia em fluxo. Deste modo, o arranjo destas variáveis, viabilização de material e energia do fluxo, propicia um fenômeno com elevada variação no tempo e espaço. O transporte destes componentes é um processo natural, envolvendo remoção, condução e deposição de material, constituindo parte significativa da evolução da paisagem geomorfológica (Santos et al., 2001).

Relacionado à origem erosiva dos sedimentos em corpos hídricos, Adriolo et al. (2008) expressaram que uma porção da carga detrítica dos cursos de água procede da transformação dos solos, seguida da movimentação que a água exerce sobre margens e o fundo do leito (*bed load*). Contudo, os autores ressaltam que a maior parte destas cargas é propiciada pelo deslocamento detrítico em vertentes (*wash load*), portanto, proveniente dos processos erosivos em bacias. Deste modo, o transporte sedimentar é regido por fatores hidrológicos que controlam as características e o escoamento superficial, denotando singularidades das partículas que constituem as cargas sedimentárias.

Neste aspecto, o ciclo da água contribui significativamente para o fluxo de sedimentos em uma determinada bacia. Associado a isto encontra-se o ciclo hidro-sedimentológico, caracterizado por Paiva (2003) por apresentar feições abertas, envolvendo deslocamentos de partículas sólidas presentes em determinada bacia. O autor resalta os atributos naturais deste processo e possíveis intensificações resultantes de ações antrópicas, destacando o conhecimento prévio referente à quantidade e fluxo geral de sedimentos transportados pelos rios como agente fundamental no planejamento para correto aproveitamento dos recursos hídricos. Este autor ainda evidencia que possíveis danos causados ao meio dependem da quantidade e natureza dos sedimentos dispersos, os quais decorrem sumariamente dos regimes de erosão, deslocamento e

deposição.

Diferentes abordagens metodológicas para compreensão de informações podem ser aplicadas na caracterização do comportamento sedimentar em meio aquático, dentre estas, Pereira (2010) profere que a modelagem numérica é considerada uma ferramenta bastante eficiente, fornecendo resultados satisfatórios sobre distintas condições iniciais, gerando ao pesquisador inúmeras possibilidades na realização de estimativas e simulações, auxiliando na proposição de soluções satisfatórias, ressaltando ainda o desenvolvimento contínuo dos métodos matemáticos, que proporcionam praticidades na entrada de dados em diferentes programas e cenários ambientais.

Sendo assim, o emprego da modelagem visando avaliação da produção e transporte sedimentar é viável e imprescindível em diferentes aspectos ambientais, permitindo localizar espacialmente áreas com processos erosivos notadamente acentuados, contribuindo para tomada de decisões e atingindo a fonte do problema de maneira concisa. O uso de modelos também permite estimar quantitativamente mudanças na carga de sedimentos provocada por possíveis alterações no uso da terra, propiciando previsões de impactos e alterações na bacia. Estas características podem amparar o planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e campanhas de medição em campo, considerando esta como uma atividade complexa e que apresenta custos elevados (Shultz et al., 2010).

1.1. Objetivo geral

O presente estudo busca verificar a formação, o comportamento e o destino final das plumas no complexo Patos-Mirim, através de modelagem numérica e dados de sensores orbitais.

1.1.1. Objetivos específicos

- Caracterizar o comportamento sedimentar na região do Canal São Gonçalo;
- Identificar o comportamento dos sedimentos dentro do estuário em diferentes condições atmosféricas;
- Classificar morfologicamente a pluma oriunda do Canal São Gonçalo e sua relação com eventos climáticos extremos;
- Comprovar a eficiência do sensoriamento remoto como instrumento de validação numérica no processo de formação e comportamento da pluma proveniente do CSG.

2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1. Plataforma continental sul do Brasil (PSB)

Aproximadamente dois terços da superfície da terra são cobertos por oceanos e mares e um terço pelos continentes. As áreas de transição entre estes ambientes são conhecidas como zonas costeiras e cobrem uma faixa estreita influenciada sobremaneira por ambos. Estas zonas abrangem em torno de 2% do volume total dos oceanos e 5,2% da superfície global. A região pode ser definida como um espaço de íntimas relações entre as águas continentais que abrangem o litoral, o mar aberto e os continentes. Nas zonas de transição ocorrem as maiores taxas de introdução residual no meio marinho, sendo estes provindos de origem natural ou por ação antropogênica (Wolanski e Elliott, 2015).

As zonas costeiras estão intimamente relacionadas às plataformas continentais, que foram definidas no país de acordo com o artigo 76, vigente no decreto N°99.165, de 12 de Março de 1990, resultante da convenção das nações unidas sobre o direito do mar, como um local que compreende a região do leito e o subsolo das áreas submarinas, que se estendem para além do seu mar territorial, na totalidade da extensão de prolongamento natural do seu território terrestre, abrangendo os limites mínimos e máximos. E ressalta que, cabe aos países exercerem direitos de soberania sobre suas respectivas plataformas continentais para efeitos de exploração e aproveitamento de recursos. Através da imensa extensão da área reconhecida como sua plataforma continental, o Brasil aumenta o espaço no qual não se poderão aproveitar recursos naturais sem o consentimento do governo brasileiro.

Segundo McClain et al. (1998), a plataforma continental brasileira está situada na borda ocidental do Atlântico meridional e se caracteriza predominantemente por apresentar baixa produtividade se comparada a outras regiões do globo, decorrente essencialmente de sua localização. Relacionado à circulação oceânica, grande parte das massas de água são ineficientes no que corresponde à indução dos efeitos de ressurgência. Outro aspecto que merece destaque é a rede hidrográfica correspondente à plataforma, que apesar de considerada significativa, deságua em sua quase totalidade nas extremidades norte e sul da plataforma do território.

Dentre as plataformas continentais nacionais, a plataforma continental sul brasileira merece destaque, e se caracteriza pela extensão, apresentando largura média de 130 km. Morfologicamente a plataforma é predisposta pela herança geológica, ocorrendo longe das fronteiras de placas, desprovida de grandes cadeias de elevações e comumente dominada por sedimentos de origem terrígena, deste modo, são estabelecidas na região de margem continental passiva do Atlântico (Chang et al., 1992).

Para Niencheski et al. (2014), a plataforma continental sul do Brasil é caracterizada também por sofrer significativa pressão de origem antrópica, haja vista ter sido constatada como uma das regiões mais produtivas do país. Reflexo desta característica é observada na

indústria, onde hoje a produtividade pesqueira mais importante do litoral brasileiro se encontra na região. Os autores ainda ressaltam o exercício de outras atividades que produzem algum tipo de impacto ambiental no local, como as atividades portuárias, domésticas e industriais, que contribuem para dispersão de resíduos ao longo da plataforma.

Diferentes estudos abordam as características de dispersão residual sedimentar originadas no complexo da Lagoa dos Patos e sua distribuição ao longo da plataforma continental sul do Brasil, abordando principalmente as condições hidrodinâmicas que contribuem para sua disseminação (Urien et al. (1980); Hartmann (1988); Moller et al. (1996); Lélis e Calliari (2003); Figueiredo (2005); Campos (2008); Calliari (2009); Marques et al. (2012); Nagai (2014)).

2.2. Complexo Patos-Mirim

A Lagoa dos Patos está localizada na região Sul do Brasil entre 30°S - 32°15'S e 50°30'W - 52°15'W. Esta laguna é descrita por Toldo (1994) como do tipo estrangulada e conectada diretamente ao oceano Atlântico por um canal com aproximadamente 20 km de extensão (Fig. 2.1.).

O mesmo autor ainda ressalta que, a sedimentologia da lagoa é dominada principalmente por silte e argila, e neste aspecto pode ser dividida em duas partes, onde a primeira apresenta batimetrias consideradas mais rasas, sendo dominadas por componentes arenosos em suas margens. Em contrapartida, nas regiões mais profundas da laguna, os componentes lamosos se sobressaem.

2.2.1. Lagoa Mirim

A Lagoa Mirim e o complexo que compõe as áreas úmidas ao seu redor, formam uma das principais bacias hidrográficas da América do Sul, apresentando relevância econômica e ecológica, tanto para o estado do Rio Grande do Sul quanto para o Uruguai. Diante de sua importância, a partir da década de 70, inúmeras pesquisas foram promovidas pelos governos brasileiro e uruguaio, visando investigar e divulgar, na forma de boletins e notas técnicas, resultados de resumos climatológicos, dados sobre os regimes pluviométricos, evaporação, níveis e descargas para a região (SUDESUL, 1974).

A lagoa está estabelecida entre as latitudes 32°09' - 33°37'S e longitudes 52°35' - 53°59'W, possuindo área superficial de aproximadamente 3.749 km², onde um terço deste total está localizado em regiões pertencentes ao Uruguai, e dois terços encontram-se estabelecidos em território brasileiro (Fig. 2.2.). A Lagoa Mirim é classificada como segundo mais extenso corpo hídrico com aspectos singularmente lacustres no país, e encontra-se conectada à Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo, formando o maior sistema lagunar da América do Sul.

A zona é abastecida por uma extensa malha hidrográfica e excessivos níveis de precipitações ao longo da bacia de recepção, onde os níveis oscilam notadamente de 2 a 3 m, produzindo deste modo, alagamentos nas planícies aluviais (Vieira e Rangel, 1998). A região é considerada extremamente complexa, em razão de ser uma lagoa binacional, e analisando deste modo sua