

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da  
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região  
Marinha e Costeira Adjacente**

**Material Suplementar Ambiente Marinho -Tema: Modelagem**

**RT- 43/ JUN 23**

**RA2022 PMBA/Fest**

Vitória,

Junho de 2023

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>3</b>
2.1	COLETA .....	3
2.2	PROCESSAMENTO .....	4
2.2.1	Sensoriamento remoto.....	4
2.2.2	Modelagem numérica hidrodinâmica .....	5
2.2.3	Modelagem numérica de transporte de sedimentos.....	6
2.2.4	Estimativa da Deriva Litorânea .....	7
2.3	ANÁLISE.....	8
2.3.1	Dados <i>in situ</i> .....	8
2.3.2	Sensoriamento Remoto.....	8
2.3.3	Modelagem numérica .....	8
2.4	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	9
<b>3</b>	<b>RESULTADOS DOS INDICADORES .....</b>	<b>9</b>
3.1	TURBIDEZ/ CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA COLUNA D'ÁGUA .	11
3.2	SALINIDADE NA SUPERFÍCIE DA COLUNA D'ÁGUA.....	15
<b>4</b>	<b>ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>18</b>

## 1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuação do monitoramento, apresentada no primeiro semestre de 2022 visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS - Malha e frequência amostrais**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) MS – **Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em 31 de agosto de 2022. Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest a fim de determinar os indicadores.

### 2.1 COLETA

A amostragem *in situ* é composta por dois conjuntos de dados. Os perfis verticais de temperatura, salinidade (estimada a partir da condutividade), turbidez, fluorescência e oxigênio dissolvido são obtidos por um equipamento CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) do modelo SBE 19plus V2 SeaCAT (*Sea Bird Electronics*) nas estações amostrais da malha do Marinho Integrado com frequência de amostragem trimestral. Esses dados passam por um pré-processamento que envolve o auxílio do *software* disponibilizado pelo próprio fabricante do equipamento (SEA-BIRD ELECTRONICS, 2013) e o MATLAB® (e.g., McTAGGART *et al.*, 2010). Assim, é assegurado que os dados não apresentarão valores discrepantes e/ou descontinuidades nas análises posteriores. Por fim, são estimadas outras propriedades oceanográficas a partir da temperatura, condutividade e pressão com o auxílio do pacote de rotinas *GSW Oceanographic Toolbox* desenvolvido por McDougall e Barker (2011).

Por outro lado, as séries temporais de medidas de ondas, correntes, temperatura, salinidade, fluorescência e turbidez foram obtidas durante a Transição em quatro linhas de fundeio: duas ao norte da foz do Rio Doce e outras duas ao sul. Vale ressaltar que para o Novo Ciclo do PMBA/Fest as linhas de fundeios foram reduzidas somente para as duas ao norte da foz. Cada linha de fundeio contempla uma medição junto ao fundo e outra próxima à superfície dos parâmetros físico-químicos provenientes de equipamentos CTD do modelo SBE HydroCAT-EP (*Sea Bird Electronics*) em intervalos de 20 min. As medições de ondas são realizadas a cada hora e as de correntes a cada 20 min, ambas através de equipamentos ADCP (*Acoustic Doppler Current Profilers*) colocados próximo ao fundo do modelo Signature1000 (Nortek) para os fundeios ao norte da foz e do modelo Signature500 (Nortek) para os fundeios ao sul da foz. Os dados são extraídos mensalmente dos equipamentos através da realização de atividade embarcada de coleta e manutenção. Esses dados passam por um pré-processamento que envolve o auxílio do *software* disponibilizado pelo próprio fabricante do equipamento (SignatureWaves64) e o MATLAB®, cujo são retirados os dados espúrios e as análises sequenciais.

Assim, os indicadores salinidade superficial e turbidez na coluna d'água são monitorados tanto nos perfis verticais como nas séries temporais dos fundeios. Neste novo ciclo está sendo realizado o processo de calibração dos turbidímetros com o intuito de transformar o sinal de turbidez em concentração de sedimento (massa/volume), tarefa realizada em laboratório com amostras de sedimentos coletadas no local dos fundeios.

## 2.2 PROCESSAMENTO

### 2.2.1 Sensoriamento remoto

Para essas análises são selecionados dados diários obtidos pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), um a bordo do satélite Aqua e outro a bordo do satélite Terra (NASA, 2018). O processamento consiste na conversão de arquivos nível 1A de processamento em nível 2 e posteriormente em nível 3, (L1A > L1B > L2 > L3b > L3m) utilizando o *software* SeaDAS, disponibilizado pela NASA. Nesse processamento é feita a correção atmosférica, detecção de nuvens, o cálculo dos campos de concentração de clorofila-a ([chlor-a]) e a quantificação da temperatura da superfície do mar (TSM).

Os dados de [chlor-a] são provenientes de uma análise mista das reflectâncias na banda do espectro correspondente ao vermelho, azul e verde e a profundidade da coluna d'água onde é inferido esse dado pode variar de pouco menos de um metro em mares costeiros com alta turbidez a até mais de 30 metros em oceanos profundos de baixa turbidez (GORDON & McCLUNEY, 1975; SOUZA, 2005). Já a quantificação da TSM é resultante da radiação emitida nos primeiros milímetros da coluna d'água (SOUZA, 2005).

O cálculo da turbidez superficial é feito com o *software* MATLAB® utilizando uma equação, já testada na região, proposta por Dogliotti e outros (2015), que utiliza dados de reflexão da luz nos comprimentos de onda de 645 nm (banda da cor vermelha do espectro visível) e 859 nm (reflectância no comprimento de onda no infravermelho próximo) em ambientes marinhos de alta e baixa turbidez a uma distância

mínima de 750 metros da costa com resolução espacial de 250 m (DOGLIOTTI *et al.*, 2015; AURIN *et al.*, 2013).

A presença de nuvens sobre o oceano durante a obtenção dos dados pelo satélite é o principal limitante comum a todas as medidas realizadas com radiação refletida ou emitida impedindo, dessa forma, as suas quantificações.

## 2.2.2 Modelagem numérica hidrodinâmica

O modelo ROMS (*Regional Ocean Modeling System*) é utilizado para evidenciar processos costeiros de submesoescala e mesoescala ao longo da plataforma continental do Espírito Santo e oceano adjacente.

Dois domínios numéricos com distintas resoluções espaciais são utilizados para as simulações hidrodinâmicas. No domínio de maior área (grade 1), com resolução espacial implementada igual a  $1/24^\circ$  (aproximadamente 4,6 km), cobrindo a região entre  $49^\circ$  e  $27^\circ$ W e entre  $8^\circ$  e  $27^\circ$ S. Aninhada a grade 1, é utilizada a técnica de *downscaling two-way* numa segunda grade (grade 2), que apresenta resolução espacial de  $1/120^\circ$  (0,9 km). A grade 2 abrange a plataforma continental do Espírito Santo entre o Banco de Abrolhos e o sul do Estado do Espírito Santo ( $41^\circ$  e  $36,4^\circ$ W e  $16,7^\circ$  e  $21,5^\circ$ S).

A elevação da superfície é parametrizada pela condição limite de Chapman (modo explícito) (CHAPMAN, 1985), enquanto que as parametrizações *radiation/nudging* e Flather (2D momentum) (FLATHER, 1976) são utilizadas para as componentes baroclínica e barotrópica, respectivamente. O modo *radiation* utilizado é resolvido por Orlanski (1976) e Raymond e Kuo (1984) e reproduz o fluxo de entrada e saída ao longo do contorno, bem como em diferentes profundidades da mesma localização horizontal. Um relaxamento para os traçadores climatológicos de temperatura e salinidade (T-S) é aplicado em 5 dias no interior do domínio. A difusão horizontal harmônica ( $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ) é utilizada para *momentum* e os traçadores (temperatura e salinidade). Os traçadores são misturados ao longo das superfícies geopotenciais e o *momentum* é misturado ao longo dos níveis sigma. Uma camada de esponja para difusividade de 30 pontos de grade é incluída nos limites abertos da Grade 1 e 2, enquanto o coeficiente de viscosidade horizontal é mantido constante em todo o domínio ( $A_h = 50 \text{ m}^2/\text{s}$ ). A mistura turbulenta vertical é o *Generic Length Scale* (GLS: k-kl) para os parâmetros de fechamento turbulento (WARNER *et al.*, 2005). A tensão de cisalhamento de fundo é parametrizada segundo a lei quadrática de arrasto do fundo, com coeficiente de arrasto igual a  $C_d = 3 \times 10^{-3}$ .

A discretização vertical adotada é de 40 camadas sigma com os parâmetros de estiramento de superfície e fundo prescritos como 6,5 e 2,5, respectivamente. A batimetria foi obtida a partir da Carta Batimétrica Geral dos Oceanos (GEBCO) com resolução espacial de 30 segundos de arco (COI *et al.*, 2003). As condições de forçamento de superfície incluem vento, umidade, pressão, temperatura do ar, precipitação e dados de radiação obtidos do ERA 5 - *Copernicus Climate Change Service* (C3S), quinta geração de reanálises atmosféricas de ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) (HERSBACH *et al.*, 2020), com resolução temporal de 1 hora e 31 km de resolução espacial. A forçante de maré é obtida do banco de dados global TPXO 9.0 (EGBERT & EROFEEVA, 2002), que

fornece amplitudes e fases dos dez principais constituintes harmônicos de maré com resolução espacial de  $1/4^\circ$   $1/4^\circ$ , utilizados nos limites abertos da grade grossa ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $M_f$  e  $M_m$ ). O *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM Global  $1/12^\circ$ , aproximadamente 9,5 km de resolução horizontal) juntamente com a reanálise do sistema de Assimilação de Dados Oceânicos Acoplados à Marinha (NCODA) (HYCOM, 2011) fornece as condições iniciais e diárias dos limites (temperatura, salinidade, elevação e velocidades).

### 2.2.3 Modelagem numérica de transporte de sedimentos

A hidro e morfodinâmica na plataforma continental e zona costeira são simuladas através do modelo numérico computacional DELFT3D-4 (Delft3D-FLOW, 2023; Delft3D-WAVE, 2023). O domínio modelado é estruturado sobre uma malha em coordenadas esféricas, com limite externo acompanhando a borda da plataforma continental. A malha é composta por 54.120 células de resolução espacial variável. No trecho do entorno da foz do Rio Doce, a malha recebeu um refinamento, com resolução espacial em torno de 130 m. Fora desta área detalhada, a resolução espacial é em média de 450 m.

A batimetria implementada no modelo foi extraída da digitalização das cartas náuticas da Marinha do Brasil. A porção na costa do Espírito Santo já havia sido digitalizada anteriormente (BASTOS *et al.*, 2015) e foi repassada à equipe LDSC/UFRJ. Já a porção da costa do sul da Bahia foi digitalizada utilizando-se as cartas nº 22700, 1310, 1311 e 1312.

Em relação às forçantes hidrodinâmicas, são considerados o efeito da maré, das ondas, do vento e da pressão atmosférica. Como condição de contorno de maré são prescritas as 10 principais constantes  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$ ,  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $Q_1$ ,  $P_1$ ,  $M_4$ ,  $MN_4$ . As informações de fase e amplitude são interpoladas para os pontos nos contornos a partir da informação do modelo global FES2014. Na modelagem das ondas de gravidade são utilizadas condições de contorno geradas pelo modelo de ondas do ECMWF. Os dados disponibilizados de ondas (altura significativa:  $H_s$ ; período de pico:  $T_p$ ; e, direção média:  $Dir$ ), de vento (componentes  $u$  e  $v$  da velocidade) e pressão atmosférica são advindos de uma reanálise global (ERA5). Os dados do ERA5 são disponibilizados numa grade regular com resolução espacial de 0,25 graus e resolução temporal horária. Em relação às parametrizações sub-grade e da tensão de atrito de fundo, para o cálculo da mistura horizontal é adotado um coeficiente de viscosidade turbulenta horizontal constante no domínio de  $1 \text{ m}^2/\text{s}$  e para o cálculo da tensão de atrito no fundo utilizou-se a formulação de Chèzy, com um valor do coeficiente  $C = 65 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  constante no domínio.

O módulo morfodinâmico representa seus parâmetros e processos integrados na vertical. Os sedimentos coesivos modelados no Delft3D-4 são classificados por origem, uma classe representou os sedimentos coesivos do Rio Doce e a outra os sedimentos coesivos dos depósitos lamosos na plataforma continental interna. A série temporal horária do aporte de sedimentos coesivos do Rio Doce são extraídos da curva-chave de sedimento em suspensão da estação fluviométrica P21 do Ambiente Dulcícola do PMBA/Fest em Linhares-ES. A caracterização sedimentológica e o mapeamento dos depósitos lamosos da plataforma continental são obtidos dos estudos de Bastos e outros (2015) e Vieira e outros (2019). A velocidade de queda adotada para os sedimentos coesivos é de  $0,125 \text{ mm/s}$ . O



transporte tridimensional de sedimentos suspensos é calculado resolvendo a equação tridimensional de advecção-difusão (balanço de massa) para o sedimento suspenso (DELFT3D-FLOW, 2023). O coeficiente de mistura vertical para sedimento coesivo é igual ao coeficiente de mistura de fluido vertical calculado pelo modelo (DELFT3D-FLOW, 2023). A erosão e deposição de sedimentos coesivos sobre leito é calculado através da formulação de Partheniades-Krone (DELFT3D-FLOW, 2023). A validação da modelagem é realizada através da comparação os resultados com os dados coletados nos fundeios (nível d'água, correntes, ondas e turbidez).

#### 2.2.4 Estimativa da Deriva Litorânea

Para estimar as vazões do transporte litorâneo geradas pelas correntes longitudinais, devido à quebra das ondas, é seguida a metodologia de Rodriguez e Mehta (2000). Calcula-se para cada perfil do litoral (dimensão longitudinal,  $y$ ) a velocidade média das correntes litorâneas,  $V(y)$ , e a área de influência, definida pela largura da zona de surfe e a profundidade de quebra das ondas ( $d_b$ ). Para determinar  $V(y)$  é utilizado um modelo analítico-paramétrico com base nos trabalhos de Longuet-Higgins (1970a; 1970b), uma vez que o modelo numérico utilizado não consegue reproduzir as principais feições hidrodinâmicas na zona de surfe devido à discretização da malha. O modelo considera o balanço entre forças de atrito -  $F_y$  (condições físicas da praia como sedimento e declividade) e o gradiente (normal à praia) da componente tangencial da tensão de radiação -  $S_{xy}$  (obtido a partir das condições de ondas na arrebentação). A partir deste balanço pode ser estimada a distribuição da corrente litorânea na zona de surfe, com a forma do perfil de velocidade *cross-shore* (dimensão transversal,  $x$ ) dependente do grau de difusão lateral considerado, o que permite representar a variação da velocidade tanto na zona *offshore* quanto *onshore*. Como indicado por Longuet-Higgins (1970a), o perfil de correntes linear pode ser modificado considerando o efeito de mistura lateral ou difusão devido à turbulência.

Os cálculos são realizados em 14 perfis de praia ao longo do litoral, cinco ao sul do Rio Doce e nove ao Norte do Rio Doce. As informações sobre as características da praia para cada perfil, como declividade, granulometria e azimuth, são obtidas dos levantamentos realizado na região praial (RRDM, 2019). Considerando um coeficiente de difusão máximo de  $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$  (BOSBOOM & STIVE, 2012), são calculados coeficientes de mistura ( $P$ ) para os diferentes perfis de praia considerados, resultando um valor médio de 0,15, o que reduz o pico da corrente litorânea ( $V_{\max}$ ) aproximadamente em 40%.

A altura e ângulo de incidência das ondas, utilizadas no cálculo da componente tangencial da tensão de radiação, são extraídas dos resultados da modelagem numérica, em cada perfil de praia para a profundidade de 10 m. Logo, é utilizada a teoria linear de ondas (CERC, 1984) para modificar a altura das ondas por empinamento e de direção por refração até a zona de quebra, considerando contornos batimétricos paralelos à linha de costa. Para determinar o índice e profundidade de quebra ( $h(y)$ ) são utilizadas formulações paramétricas (BATTIES & JANSSEN, 1978; KOMAR & GAUGHAN, 1973). Com a declividade de cada perfil e a profundidade de quebra, é determinada a largura da zona de surfe ( $B(y)$ ). O produto da velocidade longitudinal e a área de influência para cada perfil permite o cálculo ou estimativa das vazões derivas, responsáveis pelo carregamento de sedimentos ao longo do litoral.

## 2.3 ANÁLISE

### 2.3.1 Dados *in situ*

Os dados *in situ* obtidos pela perfilação de CTD são analisados por meio de seções horizontais e verticais e de mapas, de modo que auxiliam na compreensão de como a dinâmica oceanográfica vigente na realização das campanhas do Marinho Integrado condiciona o padrão de distribuição do material de rejeito no ambiente marinho. Os dados obtidos nos pontos de fundeio são analisados tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo, ressaltando as diferenças entre a circulação da superfície e do fundo e a comparação entre os dados obtidos para cada um dos pontos de fundeio. A compreensão da dinâmica local em diferentes escalas temporais permite definir os eventos hidrológicos e de aumento da energia das ondas que são avaliados com a finalidade de caracterizar os principais processos físicos que atuam na região da foz do Rio Doce e adjacências.

### 2.3.2 Sensoriamento Remoto

Os dados diários de Clorofila-a, Temperatura da Superfície do Mar e as estimativas de Turbidez são processados e mapeados para fornecer uma análise da variabilidade espaço-temporal da influência da descarga continental na produtividade primária, das feições térmicas que condicionam a dispersão da pluma do Rio Doce e da distribuição da turbidez superficial do oceano, permitindo inferir a área de alcance da pluma de sedimentos do Rio Doce diariamente e sazonalmente, bem como a dispersão dos sedimentos ressuspensos do fundo com a passagem de sistemas transientes. Imagens de cor verdadeira diárias também são utilizadas na identificação visual (qualitativa) da dispersão de sedimentos durante dos eventos hidrológicos e de ressuspensão por ondas. A presença de nuvens sobre o oceano durante a obtenção dos dados pelo satélite é o principal limitante comum a todas as medidas realizadas com radiação refletida ou emitida impedindo, dessa forma, as suas quantificações.

### 2.3.3 Modelagem numérica

Mapas dos campos termohalinos e de velocidades resultantes dos experimentos numéricos hidrodinâmicos são confeccionados a fim de compreender eventos específicos (instantâneos) e padrões sazonais e anuais (estatísticas). A modelagem numérica hidrodinâmica visa o entendimento sinóptico das diferentes condicionantes ambientais existentes na plataforma continental que conferem alterações diárias, sazonais e anuais no espalhamento da pluma proveniente do Rio Doce no ambiente marinho.

As comparações dos resultados das simulações numéricas do transporte de sedimentos com os dados de turbidez coletados são apresentadas tanto em forma pontual, na forma de séries temporais, e regional, na forma de mapas, permitindo a visualização da variação espaço-temporal do indicador. As séries temporais são obtidas para os locais relevantes, como nos pontos onde são realizadas as medições *in situ* (fundeios), assim como em locais importantes para a descrição dos processos apontados. Os mapas são selecionados de forma a ilustrar eventos específicos ou períodos de tempo de interesse (como os meses dos períodos úmidos e secos de cada ano ou as datas das campanhas)



para a obtenção de correntes residuais. A modelagem numérica do transporte de sedimentos permite compreender a dispersão da descarga sedimentar proveniente do Rio Doce e/ou que estejam já depositados na plataforma continental adjacente a fim de identificar o destino do material de rejeito no ambiente marinho. O foco dessa modelagem é a análise dos papéis dos diferentes processos hidrodinâmicos específicos para o transporte de sedimentos finos, como por exemplo tensões de cisalhamento no fundo, correntes residuais de maré, ondas, entre outros. O cálculo da deriva litorânea permite evidenciar sua importância frente a outras correntes residuais, permitindo comparações sazonais e interanuais e em cenários específicos, mostrados através de mapas de estimativas de vazões de deriva (residuais anuais e/ou para os períodos úmidos ou secos analisados).

## 2.4 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Ao longo da evolução do PMBA/Fest a modelagem numérica biogeoquímica prevista no primeiro Plano de Trabalho foi realizada e apresentada no RA2019 para avaliar o impacto na porção biológica, geológica e química do ambiente marinho receptor final do material de rejeito. Na ocasião foi apresentada a distribuição do sedimento superficial e de fundo associados à vazão do Rio Doce simulada pelo modelo *Surface-Trapped River Plume Evolution* (STRiPE) (OSADCHIEV & ZAVIALOV, 2013), bem como a distribuição dos parâmetros biogeoquímicos sobre a plataforma continental simulada pelo modelo biogeoquímico *Eastern Boundary Upwelling Systems* (BioEBUS) (GUTKNECHT *et al.*, 2013). Além disso, os resultados simulados de nutrientes (nitrato e amônio), campos de fitoplâncton e zooplâncton, campos de clorofila-a e oxigênio dissolvido foram entregues via *Dropbox* e o mapa da distribuição de sedimento de fundo foi apresentado no RA2019. A partir do período de Transição, essa metodologia foi alterada para a modelagem numérica de transporte de sedimentos que permitiu a análise da dinâmica dos sedimentos finos na plataforma continental adjacente associada aos processos de dispersão e ressuspensão (maré, vento local, ondas), além da descarga sólida do Rio Doce. Também se passou a considerar os resultados de modelos de ondas para a deriva litorânea utilizando tanto modelos paramétricos quanto para cenários específicos com acoplamento de modelo de sedimentos. É importante salientar que, mesmo havendo alteração metodológica, a meta foi alcançada em conjunto com os demais Temas que compõe o Ambiente Marinho.

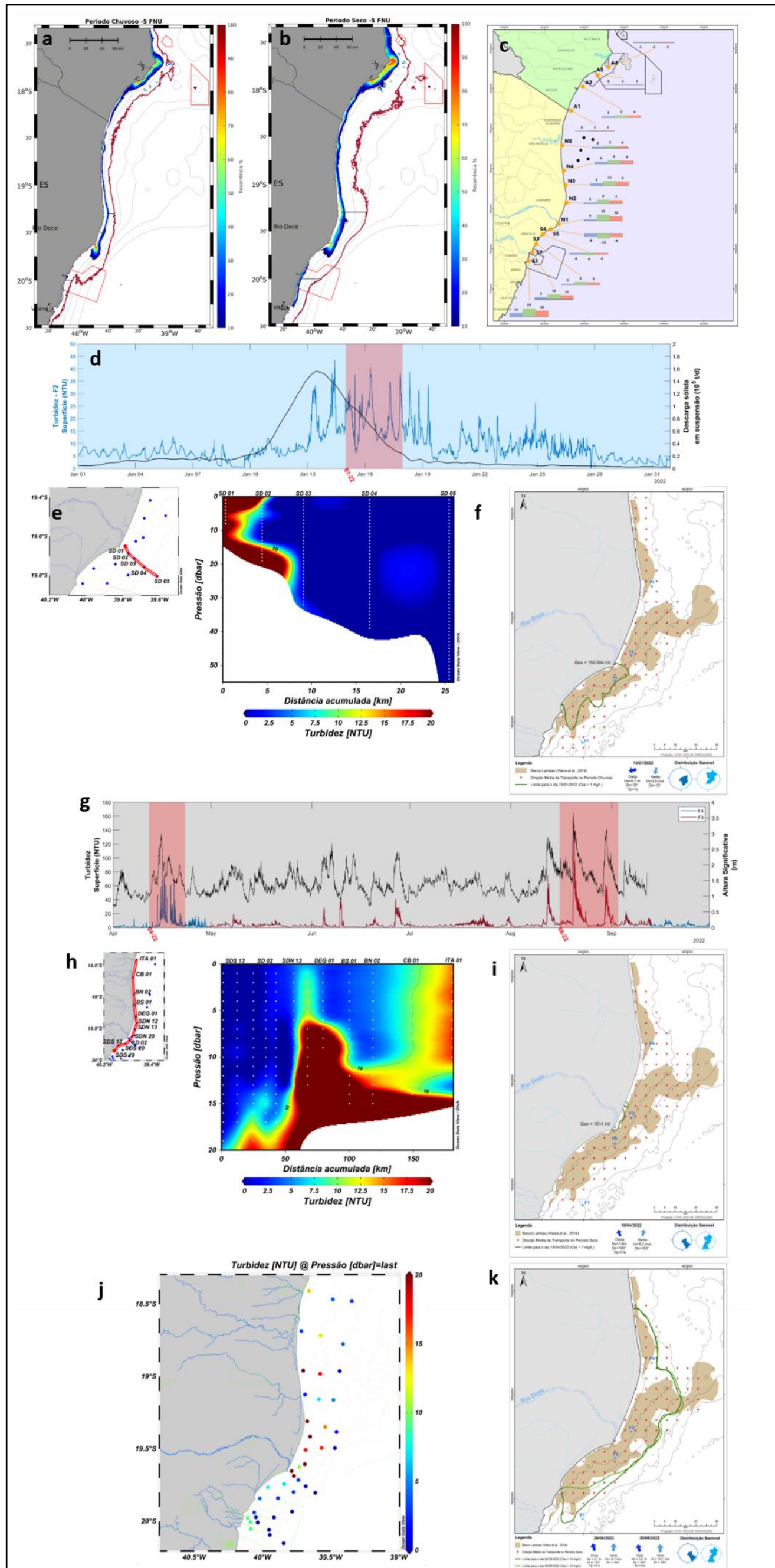
## 3 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – setembro/2022) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte a gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo de quatro anos de monitoramento, onde seus principais resultados foram discutidos em todos os relatórios técnicos entregues até o presente, entretanto a partir do novo modelo de relatório solicitado via ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio, proposto via ofício FR.2023.0214 (SEI13515133) e aprovado via ofício SEI nº4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio, a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

### 3.1 TURBIDEZ/ CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO NA COLUNA D'ÁGUA

Figura 1: Turbidez/Concentração de sedimento em suspensão na coluna d'água



Para a distribuição espaço-temporal da turbidez na plataforma continental da região adjacente à foz do Rio Doce, com ênfase no Ano 4 de monitoramento temos como referências de compreensão dos resultados sínteses, os itens em destaque na Figura 1:

**1a. Distribuição espacial da frequência de ocorrência de turbidez superficial  $\geq 5$  FNU. Esse mapa foi construído com todas as imagens de satélite do período chuvoso dos Anos 1 a 4 sem cobertura de nuvens (51,4%). A linha vermelha escura indica a frequência de ocorrência de 20% da turbidez superficial  $\geq 1$  FNU. As linhas em vermelho claro indicam as áreas das Unidades de Conservação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas. As linhas cinzas indicam as isóbatas de 10, 20, 30, 50 e 100 m. Valores de turbidez  $\geq 5$  FNU foram observados próximos à isóbata de 30 m no Setor Foz, sendo os valores máximos sempre associados à desembocadura do Rio Doce. A partir do valor máximo há uma redução exponencial dos valores de turbidez sentido offshore. Uma área de aproximadamente 5 km<sup>2</sup>, adjacente à desembocadura do Rio Doce, marca a ocorrência acima de 80% da turbidez  $\geq 5$  FNU. Observou-se que a área de ocorrência igual ou superior a 20% de turbidez  $\geq 1$  FNU se estendeu ao longo de toda linha de costa da região, atingindo uma distância de aproximadamente 9,6 km da costa em Degredo (traço preto perpendicular à linha de costa ao norte da foz do Rio Doce) e ficando mais estreita (cerca de 9,3 km - traço preto perpendicular à linha de costa ao sul da foz do Rio Doce) no Setor APA Costa das Algas. Essa continuidade da distribuição de turbidez ao longo da costa não implica, necessariamente, que o sedimento proveniente do aporte do Rio Doce chega até o Banco de Abrolhos. Nesse período a pluma do Rio Doce foi direcionada para S-SO paralelamente à costa, devido à ocorrência majoritária de ventos N-NE e correntes predominantemente S-SO.**

**1b. Distribuição espacial da frequência de ocorrência de turbidez superficial  $\geq 5$  FNU. Esse mapa foi construído com todas as imagens de satélite do período seco dos Anos 1 a 4 sem cobertura de nuvens (31,9%). A linha vermelha escura indica a frequência de ocorrência de 20% da turbidez superficial  $\geq 1$  FNU. As linhas em vermelho claro indicam as áreas das Unidade de Conservação do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas. As linhas cinzas indicam as isóbatas de 10, 20, 30, 50 e 100 m. Por ser um período tipicamente caracterizado pela redução da descarga continental, a frequência máxima de ocorrência dos valores de turbidez  $\geq 5$  FNU foi de 60% na foz do Rio Doce com uma redução gradual da ocorrência até a localidade Barra Seca, situada no Setor Norte. Em comparação aos períodos chuvosos, a isolinha de 20% de ocorrência de turbidez  $\geq 1$  FNU indica que os períodos secos apresentam uma maior extensão da área de turbidez, atingindo cerca de 32,7 km em Degredo (traço preto perpendicular à linha de costa ao norte da foz do Rio Doce) e aproximadamente 27,2 km no Setor APA Costa das Algas (traço preto perpendicular à linha de costa ao sul da foz do Rio Doce). Esse comportamento está associado ao processo de ressuspensão de sedimentos de fundo a partir do aumento da ocorrência de ondas com maior energia (maior altura significativa e maior período de pico) associada à passagem de sistemas transientes e ondulações remotas, além do aporte sedimentar oriundo do rio e do transporte residual de sedimentos (deriva litorânea).**

**1c. Valores médios das vazões litorâneas residuais (m<sup>3</sup>/s) estimadas para o período chuvoso do Ano 4 (barras azuis), período seco do Ano 1 (barras verdes) e período seco do Ano 4 (barras rosas). Os resultados estimados mostraram que o**



transporte residual ocasionado pela deriva litorânea foi preferencialmente de Sul para Norte durante todo o período de monitoramento. Sua maior magnitude foi durante o período seco, caracterizado por apresentar maior frequência de passagem de sistemas transientes. Comparações entre as vazões residuais ocasionadas pela Deriva Litorânea entre os períodos secos dos Anos 1 e 4, mostraram que o primeiro foi superior em função do evento de grande energia das ondas ocorrido neste período entre os dias 18 e 31 de julho de 2019, conforme descrito em RRDM (2019).

**1d. Série temporal de turbidez (NTU) em superfície medida no Fundeio 2 (em azul), localizado no Setor Foz Sul, e da descarga sólida em suspensão (QSS - t/d) do Rio Doce medida na estação na P21 (Linhares - ES) do PMBA/Fest no Ambiente Dulcícola (em preto), referente ao mês de janeiro do Ano 4 (período chuvoso). A faixa em vermelho representa o período de realização da campanha 01-22 do Marinho Integrado.** Na distribuição temporal da QSS oriunda do Rio Doce destaca-se o dia 13 de janeiro de 2022, quando foi registrado o maior QSS do período chuvoso do Ano 4 (155.856,8 t/d), associado ao registro do maior valor de vazão ao longo dos 4 anos de execução do PMBA/Fest (5.595 m<sup>3</sup>/s, Fest (2023)). Os valores de turbidez refletiram a ocorrência deste evento de Inundação, indicando um aumento na turbidez superficial do Fundeio 2 que durou cerca de 7 dias, atingindo o máximo de 40 NTU.

**1e. Seção vertical de turbidez (NTU) obtida pela perfilagem de CTD na campanha 01-22 do Marinho Integrado ao longo do transecto perpendicular à foz do Rio Doce.** A campanha 01-22 se destacou por ocorrer em seguida ao maior evento de Inundação já registrado pelo PMBA/Fest. O valor de turbidez superficial na estação mais próxima da foz do Rio Doce chegou a 128 NTU, enquanto toda a coluna d'água (8 m de profundidade) apresentou valores maiores do que 20 NTU. Por outro lado, o maior valor de turbidez junto ao fundo foi no ponto amostral sob a isóbata de 20 m ainda no Setor Foz Central (53 NTU), onde valores maiores que 10 NTU foram medidos nos últimos 5 m da coluna d'água.

**1f. Mapa de dispersão da pluma de sedimentos finos provenientes do Rio Doce obtida a partir da modelagem numérica para o evento de Inundação do Rio Doce e a máxima descarga de sólidos em suspensão (152.084 t/d) no ambiente marinho registrados em 13 de janeiro de 2022 durante o período chuvoso do Ano 4. A isolinha verde representa o limite máximo de dispersão da pluma ( $C_{ss} \geq 1$  mg/l) sobre a área dos bancos lamosos de origem terrígena apresentados por Vieira et al. (2019) (polígono marrom). As setas vermelhas indicam a direção do transporte médio sazonal da pluma no Ano 4.** O período chuvoso do Ano 4 foi caracterizado pelo aporte de mais de 2 milhões de toneladas de sedimentos coesivos em suspensão na plataforma continental capixaba oriundo do Rio Doce. Nesse caso, o transporte dos sedimentos da pluma ocorreu, preferencialmente, paralelo à linha de costa e na direção SO. A configuração da pluma durante este período acompanhou esse transporte, ultrapassando a isóbata de 25 m no Setor Foz Sul. Entretanto, a partir de Degredo observa-se que a direção de transporte se altera para N-NO.

**1g. Séries temporais da turbidez superficial (NTU) medidas no Fundeio 4 (em azul), localizado no Setor Norte, e no Fundeio 3 (em vermelho), localizado no Setor Foz Norte, e da altura significativa de onda (m) medida no Fundeio 2 (em preto), referente ao período seco do Ano 4. A faixa em vermelho representa o período de realização das campanhas 04-22 e 08-22 do Marinho Integrado.** Quatro eventos de aumento significativo de turbidez se destacam nesse período: um no mês de abril e três no mês de agosto (registros de até 160 NTU). Os quatro foram decorrentes da passagem de sistemas transientes com

aumento significativo de Hs (registros acima de 2,5 m), ventos predominantemente SE e corrente NO.

**1h. Seção vertical de turbidez (NTU) obtida durante a campanha 04-22 do Marinho Integrado, via perfilagem de CTD, ao longo do transecto paralelo à costa dos pontos mais costeiros do Setor Norte.** A campanha 04-22 se destacou por ocorrer simultaneamente a um evento de aumento da energia de ondas que atingiu o Hs máximo de 3 m. Valores de turbidez maiores do que 10 NTU ocuparam dos 3 últimos metros até toda a coluna d'água nas estações dos Setores Foz Norte e Norte.

**1i. Mapa de dispersão da pluma de sedimentos finos provenientes do Rio Doce obtida a partir da modelagem numérica para o evento de condição Úmida do Rio Doce registrada em 18 de abril de 2022 durante o período seco do Ano 4.** A isolinha verde representa o limite máximo de dispersão da pluma ( $C_{ss} \geq 1 \text{ mg/l}$ ) sobre a área dos bancos lamosos de origem terrígena apresentados por Vieira et al. (2019) (polígono marrom). As setas vermelhas indicam a direção do transporte médio sazonal da pluma no Ano 4. Durante o período seco, o aporte de sedimentos finos do Rio Doce reduziu drasticamente, representando menos 2,6 % do volume anual. A pluma mais extensa neste período foi registrada no dia 18 de abril de 2022 associada a uma vazão de 860 m<sup>3</sup>/s. Favorecida pela ação das ondas de SE e ventos intensos de S, a pluma ficou confinada junto à costa e foi transportada preferencialmente pela deriva litorânea na direção NE.

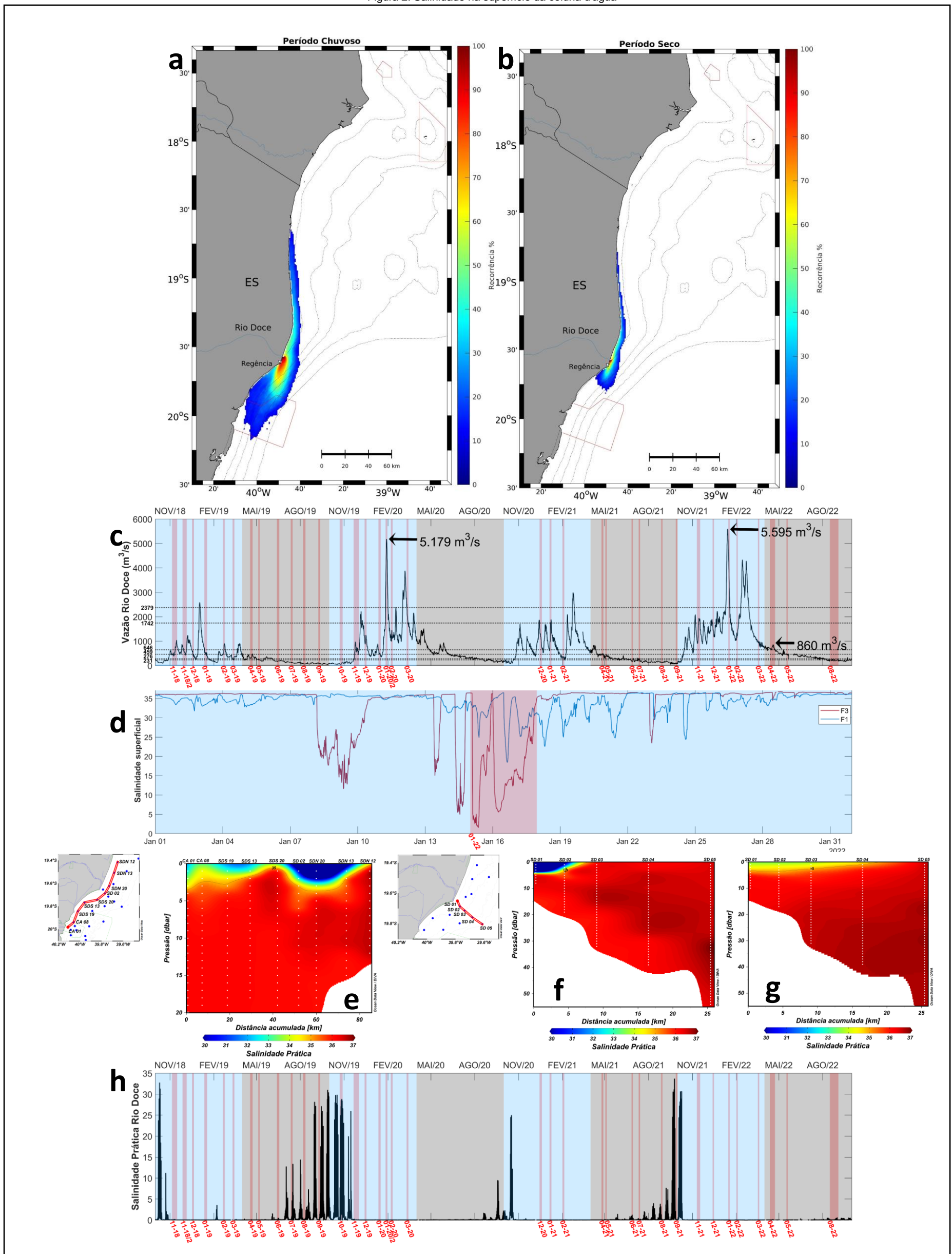
**1j. Mapa da distribuição da turbidez de fundo (NTU) obtida pela perfilagem de CTD durante a campanha 08-22 do Marinho Integrado.** A campanha 08-22 ocorreu simultaneamente ao evento de maiores registros de Hs do período seco do Ano 4. Valores maiores do que 10 NTU foram registrados nos pontos mais costeiros (até 20 m de profundidade) do Setor Foz Central e do Setor Norte e em todas as estações do Setor Foz Norte.

**1k. Mapa de ressuspensão e transporte de sedimentos finos oriundos do banco lamoso obtidos a partir da modelagem numérica nos dias 20 (linha verde escura) e 30 de agosto de 2022 (linha verde clara) durante o período seco do Ano 4.** As isolinhas verdes representam o limite máximo da área afetada pela ressuspensão dos sedimentos finos do leito marinho ( $C_{ss} \geq 10 \text{ mg/L}$ ) sobre a área dos bancos lamosos de origem terrígena registrados por Vieira et al. (2019) (polígono marrom). As setas vermelhas indicam a direção do transporte médio sazonal do sedimento ressuspensionado no Ano 4. O período seco foi marcado pela maior frequência de eventos de ressuspensão de sedimento finos do leito marinho, provocados pela passagem de sucessivos sistemas frontais ou ondulações remotas trazendo ondas de SE com alta energia e ventos intensos de S, resultando em um transporte preferencialmente na direção NE. Quando foram registrados nos dias 20 e 30 de agosto de 2022 os eventos de ressuspensão mais intensos durante o Ano 4 do monitoramento, a pluma de material ressuspensionado abrangeu áreas semelhantes da plataforma continental, sendo que no dia 20 de agosto de 2022 o limite sul da pluma chegou a alcançar a isóbata de 40 m, próximo ao local a estação de medição fixa F1.



### 3.2 SALINIDADE NA SUPERFÍCIE DA COLUNA D'ÁGUA

Figura 2: Salinidade na superfície da coluna d'água



**Distribuição espaço-temporal da salinidade superficial na plataforma continental da região adjacente à foz do Rio Doce com ênfase no Ano 4 de monitoramento. 2a. Distribuição espacial de recorrência de valores de salinidade superficial inferiores ou iguais a 35 sobre a plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 4 obtidos através de simulações numéricas.** O campo mostrou que os valores de salinidade superficial  $\leq 35$  ocorreram principalmente no Setor Foz. Especificamente, os percentuais de recorrência variaram entre aproximadamente 100% próximo à foz do Rio Doce e ~35% nas imediações da isóbata de 50 m no período chuvoso. O padrão de espalhamento observado está associado tanto ao maior volume de água doce aportado na plataforma continental durante este período quanto ao predomínio de ventos NE e correntes SO. O valor de salinidade superficial de 35 representa o limite adotado por Pereira e colaboradores (2005) como representativo da ocorrência de Água Costeira, que é a massa d'água originada a partir da diluição água oceânica pela água dos rios aportada na plataforma continental. **2b. Distribuição espacial de recorrência de valores de salinidade superficial inferiores ou iguais a 35 sobre a plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce no período seco do Ano 4 obtidos através de simulações numéricas.** Semelhante ao período chuvoso do Ano 4, o campo superficial de recorrência de salinidade referente ao período seco mostrou que valores  $\leq 35$  também ocorreram principalmente no Setor Foz. Entretanto, os percentuais de recorrência mostraram uma pluma de água menos salina com menor abrangência espacial, que não chega a alcançar o Setor APA Costa das Algas, conforme observado no período chuvoso. Frequências de, aproximadamente, 100% ocorreram próximo à foz do Rio Doce, reduzindo para e~35% nas imediações da isóbata de 30 m, devido ao menor aporte fluvial típico desse período. **2c. Série temporal de vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) horária do Rio Doce medida na estação P21 (Linhares - ES) entre outubro/2018 e setembro/2022. As faixas verticais vermelhas destacam os períodos de realização das campanhas de coletas de dados in situ na foz do Rio Doce. As faixas azuis e cinzas indicam, nesta ordem, os períodos chuvosos e secos para a região. As linhas pontilhadas horizontais indicam os limites que estabelecem as condições de vazão de Seca Extrema, Baixo Fluxo, Seca, Normal, Úmida, Alto Fluxo e Inundação, respectivamente (Oliveira e Quaresma, 2017).** Nos períodos chuvosos os valores máximos de vazão foram significativamente maiores do que os observados nos períodos secos. Além disso, nos períodos chuvosos frequentemente foram observados eventos em que a vazão atingiu as condições de Alto Fluxo e de Inundação (vazões  $> 1.742 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Durante o período chuvoso do Ano 4, em 13 de janeiro de 2022, ocorreu o maior pico de vazão ( $5.595 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (evento discutido no RSE2022). Evento semelhante ocorreu no dia 29 de janeiro de 2020 (Ano 2) quando a vazão do Rio Doce atingiu o pico de  $5.179 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para o período seco do Ano 4, foi registrado no dia 18 de abril de 2022 o valor de  $860 \text{ m}^3/\text{s}$ , fazendo que a vazão atingisse a condição Úmida. **2d. Séries temporais de salinidade prática superficial medidas no Fundeio 3 (em vermelho), localizado no Setor Foz Norte, e no Fundeio 1 (em azul), localizado no Setor APA Costa das Algas, ambas referentes ao mês de janeiro do Ano 4 (período chuvoso).** Associado ao evento de Inundação do Rio Doce registrado no dia 13 de janeiro de 2022, observou-se valores de salinidade inferiores a 10 entre os dias 13 e 18 de janeiro, chegando próximos a zero no Setor Foz Norte. No mesmo período, a salinidade medida no fundeio localizado no Setor APA Costa das Algas atingiu 18,4. Nesse fundeio, a duração desse evento de baixas salinidades

foi de 9 dias. Nos 3 dias que antecederam a campanha 01-22, os ventos eram N-NE-E com intensidade variável entre 2 m/s e 8 m/s e as correntes O-SO com intensidade máxima de 0,63 m/s. Entre os dias 15 e 17 de janeiro, quando foram realizadas as coletas de dados hidrográficos na foz do Rio Doce, houve a entrada de um sistema frontal que ocasionou a inverteção dos ventos, para S-SE-E (~40h), e das correntes, que passaram a ter direção preferencial O no Setor Foz Norte, favorecendo a advecção da pluma para o norte. Logo após esta ocorrência, ventos de E-NE voltaram a ser registrados permanecendo nesta condição até o final da coleta de dados na Foz (~37h).

**2e. Seção de salinidade paralela à foz do Rio Doce obtida pela perfilagem de CTD na campanha 01-22 do Marinho Integrado durante o período chuvoso do Ano 4 (destaca-se que o ponto inicial é a estação amostral CA 01).** Devido ao evento de Inundação do Rio Doce que precedeu a campanha 01-22, baixos valores de salinidade superficial ( $\leq 35$ ) foram observados desde os pontos mais costeiros no Setor APA Costa das Algas até o Setor Foz Norte em uma camada de até 3 m de espessura. O padrão de espalhamento observado está associado tanto ao maior volume de água doce aportado na plataforma continental durante este período quanto às condições meteoceanográficas vigentes que foram descritas em detalhes anteriormente.

**2f. Seção de salinidade perpendicular à foz do Rio Doce obtida pela perfilagem de CTD na campanha 01-22 do Marinho Integrado durante o período chuvoso do Ano 4, realizada 2 dias após o evento de Inundação do Rio Doce registrado no dia 13 de janeiro de 2022.** Em face do maior volume de água doce aportado na plataforma devido ao evento de Inundação, uma pluma de menor salinidade ( $\leq 35$ ) foi observada no Setor Foz Central, permanecendo restritos a profundidades menores do que 5 m da coluna d'água em uma extensão de pelo menos 6 km da foz do Rio Doce. O ponto SD 01 registrou o menor valor de salinidade da campanha no primeiro metro (15,6).

**2g. Seção de salinidade perpendicular à foz do Rio Doce obtida pela perfilagem de CTD na campanha 04-22 do Marinho Integrado durante o período seco do Ano 4.** Embora o período seco seja caracterizado por menores valores de vazão do Rio Doce e, consequentemente, menor volume de água de baixa salinidade disponível para espalhamento, a campanha 04-22 foi realizada durante um evento de condição Úmida. Nessa campanha, salinidades  $\leq 35$  atingiram, pelo menos, 18 km da foz do Rio Doce alcançando até 3 m de espessura no Setor Foz Central.

**2h. Série temporal horária de salinidade prática calculada a partir da condutividade elétrica (uS/cm) medida na estação automática RDO-16 Boia do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos da Fundação RENOVA entre outubro/2018 e setembro/2022.** As faixas verticais vermelhas destacam os períodos de realização das campanhas de coletas de dados in situ na foz do Rio Doce. As faixas azuis e cinzas indicam, nesta ordem, os períodos chuvosos e secos para a região. Ao longo de todo o período de execução do PMBA/Fest houve constante intrusão de águas salinas no interior do Rio Doce durante os períodos secos. A maior salinidade medida foi 33,6 no Ano 3. Entretanto, durante o período seco do Ano 4 não foram observados aumentos significativos de salinidade na estação automática RDO-16, sendo o máximo valor registrado de 0,5. Possivelmente a presença de barras arenosas que se formaram na desembocadura do Rio Doce dificultaram o acesso das águas salinas ao seu interior.

#### 4 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todas as metas previstas para o Tema Modelagem Numérica foram cumpridas integralmente.

#### 5 REFERÊNCIAS

AURIN, D. *et al.* Spatially resolving ocean color and sediment dispersion in river plumes, coastal systems, and continental shelf waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 137, p. 212-225. 2013.

BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S.; MARANGONI, M. B.; D' AGOSTINI, D. P.; BOURGUIGNON, S. N.; CETTO, P. H.; SILVA, A. E.; AMADO FILHO, G. M.; MOURA, R. L.; COLLINS, M. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin. **Journal of South American Earth Sciences**. v.63, p.125-136. 2015.

BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy Loss and Set-Up Due to Breaking of Random Waves. **Coastal Engineering**. 1978

BOSBOOM, J.; STIVE, M. J. F. **Coastal dynamics I: lecture notes CIE4305**. DELFT. 2012

CERC. **Coastal Engineering Research Center (CERC). Shore Protection Manual (SPM)**. US Army. EUA. 1984

CHAPMAN, D.C. Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. **J. Phys. Oceanogr.** 15, 1060–1075. 1985.

DELFT3D-FLOW. Delft3D-FLOW, User Manual. Deltares: Delft. The Netherlands. 725 p. 2023.

DELFT3D-WAVE. Delft3D-WAVE, User Manual. Deltares: Delft. The Netherlands. 219 p. 2023.

DOGLIOTTI, A. I. *et al.* A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 157-168. 2015.

EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 19 (2), 183–204. 2002.

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest - Síntese Integrativa entre Ambientes. RT-42. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 204 pag. 2023.

FLATHER, R. A. A tidal model of the northwest European continental shelf. **Memories de la Societe Royale des Sciences de Liege**, 6 (10), pp. 141-164. 1976.

GORDON, H. R.; McCLUNEY, W., R. Estimation of the depth of the sunlight penetration in the sea for remote sensing. **Applied Optics**, v. 14, n. 2. 1975.

- GUTKNECHT E. *et al.* Coupled physical/biogeochemical modeling including O<sub>2</sub>-dependent processes in the eastern boundary upwelling systems: application in the Benguela. **Biogeosciences**, 10 (5), 3359-3591, 2013.
- KOMAR, P. D.; GAUGHAN, M. Airy wave theories and breaker height prediction. **Proc. 13th Coastal Engineering Conf. ASCEM**, 405–418. 1973.
- LONGUET-HIGGINS, M. S. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 2. **Journal of Geophysical Research**, 75(33), 6690–6801. 1970a
- LONGUET-HIGGINS, M. S. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves: 1. **J Geophys Res**, 75(33), 6778–6789. 1970b
- McDOUGALL, T. J.; BARKER, P. M. Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox, 28 pp. SCOR/IAPSO WG127, ISBN 978-0-646-55621-5.
- McTAGGART, K. E.; JOHNSON, G. C.; JOHNSON, M. C.; DELAHOYDE, F. M.; SWIFT, J. H. Notes on CTD/O<sub>2</sub> data acquisition and processing using Sea-Bird hardware and software (as available). The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines, IOCCP Report 15.:10pp. 2010.
- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Ocean Color Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. doi: data/10.5067/AQUA/MODIS/L2/OC/2018. 2018.
- OLIVEIRA, K. S. S.; QUARESMA, D. S. V. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 78, p. 101-115, 2017.
- ORLANSKI, I. A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. **J. Comp. Sci.** 21(3), 251–269. 1976.
- OSADCHIEV, A. A.; ZAVIALOV, P. O. Lagrangian model for surface-advected river plume. **Cont. Shelf Res.** 58, 96–106, 2013.
- PEREIRA, A.F.; BELEM, A.L.; CASTRO, B.M.; GEREMIAS, R. Tide-topography interaction along the Eastern Brazilian Shelf. **Continental Shelf Research** 25 (12–13), 1521–1539. 2005.
- RAYMOND, W.H.; KUO, H.L. A radiation boundary condition for multi-dimensional flows. **Quart. J. R. Met. Soc.** 110, 535–551. 1984.
- RODRIGUEZ, H. N.; MEHTA, A. J. Longshore transport of fine-grained sediment. **Continental Shelf Research**, 20(12–13), 1419–1432. 2000.
- RRDM. Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 4 Praias. RT-20, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. 2019.
- SOUZA, R. B. Oceanografia por satélites. Oficina de Textos, 2005.



SEA-BIRD ELECTRONICS. Seasoft V2: SBE Data Processing CTD Data Processing and Plotting Software for Windows XP, Windows Vista, or Windows 7. User's Manual. 2013.

VIEIRA, F. V.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S.; LEITE, M. D.; COSTA Jr, A.; OLIVEIRA, K. S. S.; DALVI, C. F.; BAHIA, R. G.; HOLZ, V. L.; MOURA, R. L.; AMADO FILHO, G. M. Along-Shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. **Continental Shelf Research**, v. 187, 103964. 2019.

WARNER, J.C. *et al.* Performance of four turbulence closure methods implemented using a generic length scale method. **Ocean Model.** 8, 81–113. 2005.