



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ILANA SAMPAIO HEIN DA SILVA

**A VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE
OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

SALVADOR

2024

ILANA SAMPAIO HEIN DA SILVA

**A VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE
OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

SALVADOR

2024

ILANA SAMPAIO HEIN DA SILVA

**A VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE
OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Oceanografia, Instituto de
Geociências, Universidade Federal da Bahia,
como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

Profa. Dra. Ana Cecília Rizzatti de Albergaria Barbosa

Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim, de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Guilherme Lessa, que me guiou durante toda essa caminhada, com muito entusiasmo, cuidado e compreensão, ajudando a superar os desafios encontrados na produção desta e de outras pesquisas, sempre de forma solícita. Sem ele não teria sido possível realizar este trabalho.

Em seguida, agradeço a minha mãe, Cristiane Sampaio e ao meu irmão, Ricardo Sampaio, por todo o apoio diário ao longo de toda a vida e por terem acreditado em mim, me motivando diariamente durante esse período da graduação. Agradeço à minha vizinha, que foi minha companhia durante as aulas a distância e desde sempre faz muito por nós. Junto a eles, agradeço a toda a minha família. Também agradeço a meu namorado, Lucas, que esteve comigo durante grande parte da graduação e foi um apoio indispensável nessa reta final.

Aos meus colegas de pesquisa do LABMOO (Laboratório de Modelagem e Observação Oceanográfica): George Oliveira, Guilherme Ale, Gabriel Pugliese, Bárbara Regina, Maria Luiza Bulcão e, principalmente, a minha dupla Bruno de Aguiar (oceano). Foram essenciais para meu desenvolvimento em ambiente de trabalho, com um ambiente leve, descontraído, onde todo mundo sempre se ajudou. A Lucas Fonseca pelas orientações em campo, bem como sobre a vida de oceanógrafo.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte dessa caminhada, compartilhando seus conhecimentos e vivências. Também a Ritinha, que sempre fez o que pôde para nos ajudar, seja em épocas de matrícula, ou na época de formatura.

A galera da resenha! Agradeço a todos os participantes do grupo “Zé apenas”, pela resenha, pelos rolês e, principalmente, pelas ajudas, seja entre colegas da mesma matéria, seja entre colegas que fizeram a matéria anteriormente. Sem vocês a graduação jamais teria sido a mesma. A galera que fez a minha primeira e última SNO da graduação ser inesquecível, viver o rio com vocês foi bom demais!

Por fim, agradeço a Petrobras pelo fomento da minha pesquisa por um ano, através do projeto “Avaliação e Pesquisa do Coral-Sol na Baía de Todos os Santos” e ao SiMCosta pelo fomento desta pesquisa.

RESUMO

Este trabalho analisou a variabilidade espaço-temporal da concentração de oxigênio dissolvido (OD) na Baía de Todos os Santos (BTS), com base em registros de alta frequência ao longo de cinco anos (2019-2024). Foram realizadas medições com sondas multi-parâmetros em cinco estações de monitoramento, abrangendo diferentes profundidades e localizações dentro da baía. Os resultados, que variaram de $4,03 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,25 \text{ mg L}^{-1}$, demonstraram que as concentrações de OD apresentam oscilações sazonais e estão positivamente correlacionadas com a maré e concentrações de clorofila, e negativamente correlacionadas com a temperatura da água. Foi observada uma tendência de redução na concentração de OD junto ao fundo em direção à parte interna da baía, possivelmente devido ao aporte de matéria orgânica e ao aumento da temperatura nesse sentido. Nas estações de superfície observou-se o oposto, com menores concentrações de OD na estação mais externa. Os valores mais altos de OD ocorreram na primavera e no verão nas estações de fundo, sugerindo um efeito da ressurgência na plataforma continental. Nas estações de superfície, a concentração de OD foi maior no inverno e na primavera. A maré desempenha importante papel por carrear água mais oxigenada da plataforma para a parte interna da baía, implicando em maiores concentrações médias na preamar. Além disso, é responsável por modular a mistura da coluna d'água entre marés de sizígia e quadratura.

Palavras-chave: Oxigênio Dissolvido, Baía de Todos os Santos, preamar, baixamar, quadratura, sizígia, ressurgência, eutrofização, hipoxia

ABSTRACT

This study analyzed the spatiotemporal variability of dissolved oxygen (DO) concentration in the Bay of All Saints (BTS) based on high-frequency records over five years (2019-2024). Measurements were conducted using multiparameter CTD at five monitoring stations, covering different depths and locations within the bay. The results, which ranged from 4.03 mg L⁻¹ to 7.25 mg L⁻¹, showed that DO concentrations exhibit seasonal oscillations and are positively correlated with tide and chlorophyll concentrations and negatively correlated with water temperature. A decreasing trend in DO concentration was observed near the bottom towards the inner part of the bay, possibly due to the input of organic matter and the increase in temperature in this direction. In the surface stations, the opposite pattern was observed, with lower DO concentrations at the outermost station. The highest DO values occurred in spring and summer at the bottom stations, suggesting an upwelling effect on the continental shelf. At the surface stations, DO concentration was higher in winter and spring. The tide plays an important role in carrying more oxygenated water from the shelf to the inner part of the bay, resulting in higher average concentrations at high tide. Additionally, it is responsible for modulating water column mixing between spring and neap tides.

Keywords: Dissolved Oxygen, Todos Os Santos Bay, high tide, low tide, neap tide, spring tide, upwelling, eutrophication, hypoxia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Batimetria da Baía de Todos os Santos e estações de monitoramento.	4
Figura 2 – Comparação entre a sonda utilizada em ST2s (vermelho) e sonda teste (azul). Diferença entre as sondas (preto) está plotada no 2º eixo y.	8
Figura 3 – Variação da altura da maré no período do estudo. Acima da linha pontilhada estão as marés de sizígia e abaixo da linha contínua estão as marés de quadratura.	9
Figura 4 – Série temporal dos parâmetros analisados na estação #1. A linha preta representa as médias mensais.	11
Figura 5 – Série temporal dos parâmetros analisados na superfície da estação #2. A linha preta representa as médias mensais.	12
Figura 6 – Série temporal dos parâmetros analisados no fundo da estação #2. A linha preta representa as médias mensais.	13
Figura 7 – Série temporal dos parâmetros analisados na superfície da estação #3. A linha preta representa as médias mensais.	14
Figura 8 – Série temporal dos parâmetros analisados no fundo da estação #3. A linha preta representa as médias mensais.	15
Figura 9 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão, para diferentes estações do ano, no período de 2019 a 2021.	16
Figura 10 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão para o período de 2019 a 2021 em situações de preamar e baixamar para todas as estações.	17
Figura 11 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão para o período de 2019 a 2021, em momentos de sizígia e quadratura para todas as estações.	18
Figura 12 – Concentrações de OD previamente coletadas na BTS. Adaptado de Hatje et al. (2017).	20
Figura 13 – Altura da maré (azul) e concentração do OD em ST2s filtrada em banda para frequências entre 13,5 e 15,5 dias (laranja). A) durante o período de 20/11/2020 a 09/06/2021. B) Durante o período de 01/08/2023 a 01/05/2024.	21
Figura 14 – Temperatura e clorofila (2º eixo) plotados contra o OD (1º eixo) em ST2s. Parâmetros filtrados em 53h (cores mais claras) e 6 meses (cores mais escuras).	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Período de medição, quantidade de ciclos de maré (1 preamar e 1 baixamar) e porcentagem de dados não medidos (Not-a-Number (NaN)) durante este período e no período definido para as médias, calculados para cada estação de coleta. _____ 7

Tabela 2: Resumo da estatística dos dados coletados, considerando a série temporal total de cada estação. _____ 10

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO.....	3
3. METODOLOGIA	5
4. RESULTADOS.....	9
5. DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÃO.....	23
7. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O oxigênio dissolvido (OD) é essencial para a manutenção da vida marinha. Diferentemente do oxigênio ligado quimicamente às moléculas de água, o OD é livre e prontamente utilizável por organismos aeróbicos para a respiração celular. A disponibilidade desse gás pode afetar a locomoção, o crescimento e a reprodução desses organismos (Kramer, 1987). O OD é incorporado ao meio aquático por meio de processos físicos e biogeoquímicos, como a interação oceano-atmosfera, mistura da coluna d'água e a produção de oxigênio por organismos fotossintetizantes, como o fitoplâncton e as macroalgas (Garcia et al., 2019), entre outros. Processos celulares oxidativos, como a respiração e a decomposição da matéria orgânica, também estão diretamente associados à redução da concentração de OD disponível na coluna d'água (Pereira et al., 2010).

Inúmeros estudos publicados na última década mostram que ações antrópicas têm promovido a redução das concentrações de OD nos ambientes costeiros, com preocupante aumento na frequência de eventos de hipóxia (Breitburg, 2018, Breitburg, 1990, Rabalais e Turner, 2019). O aumento da temperatura e da estratificação das águas causados pelo aquecimento dos oceanos diminui a solubilidade e a ventilação, contribuindo para a desoxigenação dos oceanos (Garcia-Soto et al., 2021). Estudo realizado por Schmidtke et al. (2017) indica que cerca de 15% das perdas de OD no oceano estão relacionadas a mudança da solubilidade a partir do aumento da temperatura, sendo que esse valor aumenta para 50% se considerarmos apenas os primeiros 1000 m da coluna d'água.

A eutrofização costeira é um fenômeno gerado pelo aporte excessivo de nutrientes na coluna d'água, causando um aumento desordenado de microrganismos, que impacta seriamente a concentração do oxigênio dissolvido, pois o crescimento microbiano aumenta a produção de matéria orgânica, que, por sua vez, demanda mais oxigênio para sua decomposição (Diaz e Rosenberg, 2008). Esses fatores interligados comprometem o ciclo biogeoquímico do oxigênio, afetando diretamente a biodiversidade e, assim, o funcionamento dos ecossistemas costeiros e estuarinos (Breitburg et al., 2018).

O OD é uma das variáveis marinhas que mais foi afetada em um curto espaço de tempo ao longo do globo, sendo a hipoxia e anoxia as mais frequentes consequências da influência antrópica (Diaz e Rosenberg, 2008). Menos de 5% dos mais de 400 sistemas marinhos que desenvolveram hipoxia apresentaram algum sinal de melhora no final do século XX (Diaz e Rosenberg, 2008). Não existe uma única concentração de OD que possa ser considerada como limite para uma condição hipóxica. É possível encontrar diferentes limites na literatura, variando entre valores iguais a 2 mg L^{-1} (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2008) a 4 mg L^{-1} (Paerl, 2006). No entanto, pouco mais da metade (55%) dos estudos utilizam valores iguais a 2 mg L^{-1} para considerar um ambiente hipóxico (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2008). Isso ocorre porque o limite letal de baixas concentrações de OD varia entre diferentes espécies. Valores próximos a 10 mg L^{-1} podem ser suficientes para alterações na fisiologia e/ou comportamento de algumas espécies de peixes, enquanto outras conseguem tolerar concentrações tão baixas quanto $0,085 \text{ mg L}^{-1}$ (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2008). Desta forma, o entendimento da variabilidade das concentrações de OD é importante para a compreensão do ecossistema aquático.

Muitos estuários brasileiros enfrentam problemas relacionados à eutrofização (Alves et al., 2013, Borges et al., 2009, Castelo et al., 2021, Santos Sá et al., 2022), que é frequentemente associada a pressões antropogênicas, como a urbanização e o lançamento de efluentes (Borges et al., 2009). No Brasil, estudos realizados na Baía de Paranaguá indicam que a concentração de OD varia entre $5,71 \text{ mg L}^{-1}$ a $10,71 \text{ mg L}^{-1}$ ao longo do ano, atingindo menores concentrações durante os períodos chuvosos (Lana et al., 2001). A Baía de Guanabara, com um restrito canal de entrada (1,6 km), apresenta variações na superfície de 5.8 mg L^{-1} a 8.5 mg L^{-1} e no fundo de 3.1 mg L^{-1} a 6.8 mg L^{-1} , com presença de áreas hipóxicas na sua porção interior (Ribeiro e Kjerfve, 2002).

A Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 1) possui uma grande diversidade de ecossistemas incluindo recifes de corais, planícies de maré, manguezais e gramas marinhas, os quais desempenham papéis cruciais na manutenção da biodiversidade local (Barros et.al, 2012). De acordo com estudos pontuais, a BTS, dada a sua dimensão e ampla exposição aos ventos e à água oceânica, tem concentrações de oxigênio dissolvido variando entre $6,92 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,36 \text{ mg L}^{-1}$ ao longo do canal de

navegação (Hatje et al., 2017). A BTS está sujeita a intensas pressões antrópicas próximo a áreas urbanas e industriais, incluindo a urbanização desordenada e o lançamento de efluentes industriais e domésticos, que ameaçam a qualidade da água e a integridade dos ecossistemas, fatores impactantes na concentração do OD.

O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade espaço-temporal das concentrações de OD entre a plataforma e a área central da baía com base em registros de alta frequência ao longo de 5 anos de monitoramento. Como objetivos específicos, são relacionados: i) verificar como a variabilidade nas frequências de maré semi-diurna (enchente/vazante) e quinzenal (sizígia e quadratura) influencia na concentração do OD, ii) avaliar como a variabilidade sazonal influencia nessa variável, e iii) identificar os principais forçantes das variações observadas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 1) é a 3ª maior baía costeira do Brasil, delimitada pelas falhas geológicas de Salvador e Maragogipe (Lessa et al., 2018). A BTS possui uma área de 1233 km², com 32 km de largura (leste-oeste) e 50 km de comprimento (norte-sul). É considerada uma baía rasa, com profundidade média de 9.8 m e com 94% da área com profundidades inferiores a 25 m (Cirano e Lessa, 2007).

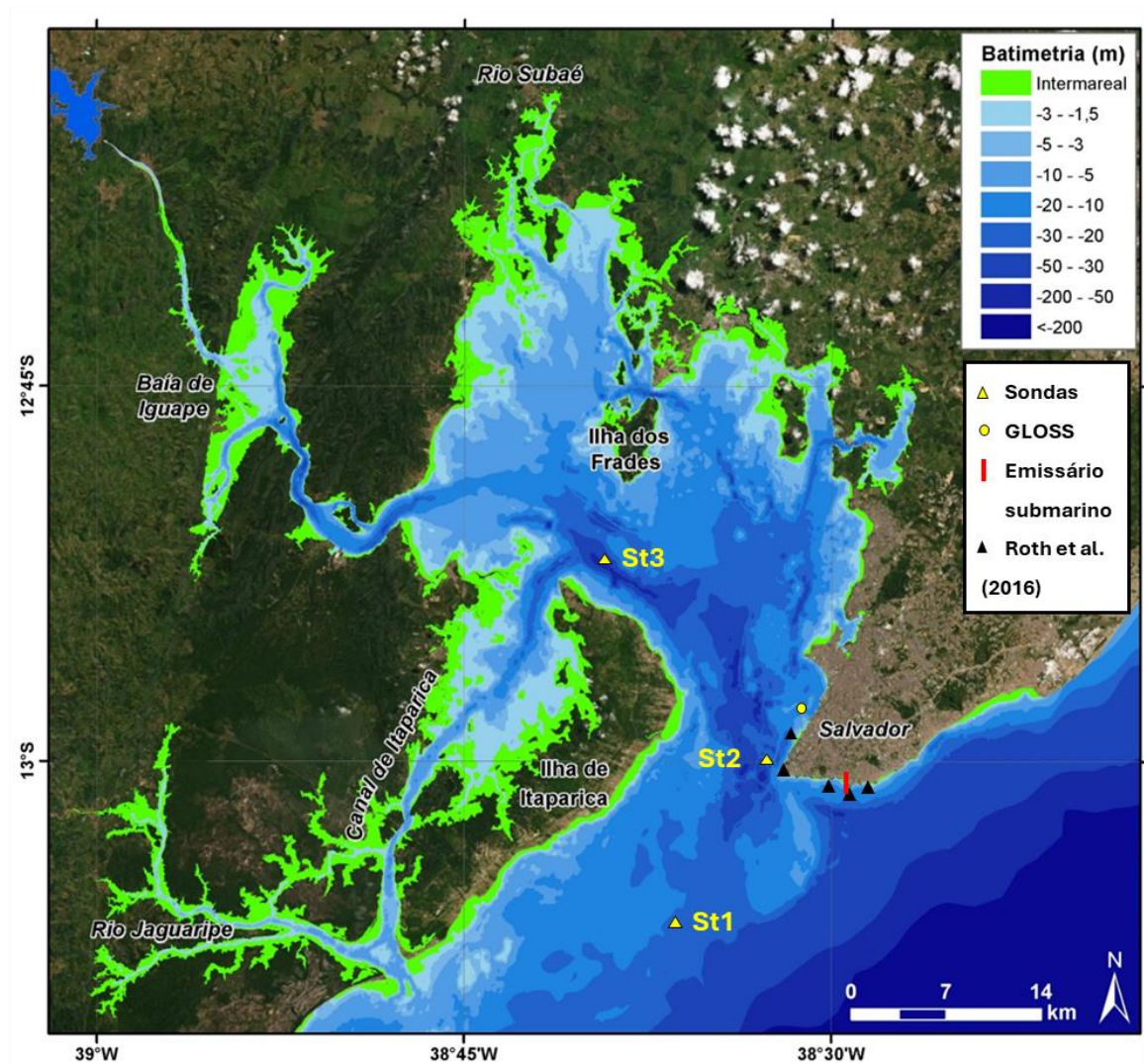


Figura 1 – Batimetria da Baía de Todos os Santos e estações de monitoramento.

O clima na entrada da baía é tropical úmido, de acordo com dados da estação meteorológica do INMET em Ondina. Os ventos são predominantemente de leste no verão e de sudeste no inverno, este orientado com o eixo principal da baía (Cirano e Lessa, 2007). A temperatura média do ar é de 25.6°C, sendo fevereiro e março os meses mais quentes e julho e agosto os meses mais frios. A precipitação média é de 1833.3 mm ao ano (INMET, 2022), a qual é concentrada nos meses de março a julho (Cirano e Lessa, 2007), e o balanço hídrico (precipitação-evaporação) é positivo ao longo de grande parte do ano. O total de precipitação e evaporação médias anuais em toda a área da BTS correspondem a, respectivamente, $2.42 \times 10^9 \text{ m}^3$ e $0.92 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Cirano e Lessa, 2007).

A BTS recebe as águas de três principais rios: Paraguaçu, com uma bacia de drenagem de 56300 km², Jaguaripe, com 2200 km², e Subaé, com 660 km² (Figura 1).

Estes rios possuem vazão média igual a 92.5 m³/s (média de 1947 a 2003), 9 m³/s e 4.8 m³/s, respectivamente (Lessa et al., 2009), e juntos contribuem com 74% da descarga fluvial total na baía (Cirano e Lessa, 2007). As bacias periféricas, que totalizam 1950 km² de área, contribuem com uma descarga média anual de 29.98 m³/s (Lima e Lessa, 2002).

A maré na região é semi-diurna e assimétrica, com tempos de maré vazante mais curtos e fluxos de maré vazante mais fortes. A salinidade média da água na BTS é aproximadamente 35 e a temperatura da água permanece acima de 20°C ao longo do ano. A temperatura durante o verão aumenta dentro da baía, podendo ser até 3°C mais quente do que a água na plataforma continental. No inverno, essa variação é reduzida para menos de 1°C (Cirano e Lessa, 2007).

O entorno da BTS é densamente urbanizado, com mais de 3 milhões de habitantes, uma extensa zona industrial e 10 grandes terminais portuários. A contaminação por esgoto sanitário é uma das principais fontes de poluição na área da BTS. As cidades de Simões Filho, Feira de Santana e Candeias, situadas a nordeste, noroeste e norte da BTS, respectivamente, concentram as principais atividades industriais da região, destacando-se os setores químico, petroquímico, metalúrgico, de alimentos e fertilizantes (Hatje et al., 2009). Próximo do canal de entrada da BTS o emissário submarino do Rio Vermelho (Figura 1) descarrega em média 8,3 m³/s de esgoto com limitado pré-tratamento na plataforma, apresentando uma demanda biológica por oxigênio por volta de 5 µmol L⁻¹ h⁻¹ na região onde desagua (Roth et al., 2016). Roth et al. (2016) mostrou que o transporte advectivo na plataforma direciona a pluma de esgoto na direção da BTS durante o verão. As baixas concentrações de OD e elevadas taxas de DBO ao longo de um transecto longitudinal à costa (Figura 1 – Batimetria da Baía de Todos os Santos e estações de monitoramento.) indicam que o efluente do emissário adentra a BTS ao longo da margem de Salvador por pelo menos 2,5 km. Foi observado que o transporte dessa pluma é intensificado com as marés de sizígia e com o aumento da velocidade de ventos de leste/nordeste.

3. METODOLOGIA

Foram obtidos dados em 3 estações de monitoramento (Figura 1), sendo uma estação localizada na plataforma junto ao fundo (ST1, -20 m), uma estação na entrada da BTS composta por sondas na superfície e junto ao fundo (ST2, -30 m), e a última localizada 25 km adentro, na região central da BTS, também com sondas na superfície e junto ao fundo (ST3, -30 m). Em todas as estações, exceto ST2 superfície (ST2s), medidas de temperatura, salinidade, clorofila, turbidez, concentração de oxigênio dissolvido (OD) e saturação do oxigênio (OD%) foram obtidos a partir de sondas multi-parâmetros SeaBird, modelo HydroCAT-EP V2. Médias de 50 s de leituras feitas a uma frequência de 1 Hz foram registradas em intervalos de 10 minutos. Na superfície de ST2 os dados foram obtidos pela boia meteorceanográfica SiMCosta (BA-1), equipada com sonda SeaBird Microcat SBE37-SMP-ODO para registro da temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido, e com o sensor óptico SeaBird Eco-Triplet para medições de turbidez, matéria orgânica dissolvida (CDOM) e fluorescência da clorofila. Os dados da boia possuem intervalo de amostragem de 30 minutos e foram interpolados para o intervalo de 10 minutos. Os registros da concentração de OD, disponibilizados em ml/L, foram divididos por 0,7 para conversão das concentrações em mg L^{-1} (Garcia e Gordon, 1992). Os dados de saturação do oxigênio dissolvido para esta estação foram calculados a partir da metodologia de Garcia e Gordon (1992). Os dados de salinidade, turbidez e CDOM não serão analisados, com exceção de ST2s, onde foi necessário utilizar os dados da salinidade para realizar o cálculo citado anteriormente.

O monitoramento se estendeu de 02/08/2019 a 30/04/2024, com períodos de diferentes extensões entre as estações, e ainda com diferentes taxas de aproveitamento de dados (Tabela 1). O intervalo de registros da estação ST3s, com a menor extensão temporal, foi a referência para os calculos estatísticos e comparação entre as estações, a fim de garantir que todas fossem analisadas dentro do mesmo período, reduzindo possíveis vieses nos resultados. Neste período, três (ST2f, ST3s e ST3f) das cinco estações apresentaram lacunas compreendendo mais da metade dos dados, o que certamente impactou o cálculo das médias.

Dados de nível d'água da estação GLOSS (*Global Sea Level Observing System*), localizada no Porto de Salvador (Figura 1), foram obtidos junto ao Centro do Nível do

Mar da Universidade do Hawaii (<https://uhsic.soest.hawaii.edu/data/?fd>), e utilizados como referência da variação da maré nas três estações. A diferença de fase entre as marés medidas na estação mais interna e mais externa é aproximadamente 20 minutos (Marta-Almeida et al., 2019). Os dados do GLOSS, originalmente disponibilizados em intervalo 1 hora, foram interpolados para 10 minutos de modo a igualar a frequência de amostragem das sondas.

Tabela 1: Período de medição, quantidade de ciclos de maré (1 preamar e 1 baixamar) e porcentagem de dados válidos durante o período total e no período definido para as médias, calculados para cada estação de coleta.

Estação	Período de medição	Ciclos de maré	Dados válidos (%)	Dados válidos no período das médias (%)
ST1	06/10/2019 a 30/01/2023	2343	48,74	69,06
ST2s	02/08/2019 a 30/04/2024	3341	88,62	95,64
ST2f	06/10/2019 a 26/01/2023	2278	36,84	48,95
ST3s	29/10/2019 a 19/02/2021	924	40,77	40,77
ST3f	29/10/2019 a 19/02/2021	924	38,95	38,95
GLOSS	02/08/2019 a 30/04/2024	3341	99,80	-

Os dados passaram por uma análise de consistência para remoção de valores espúrios gerados por incrustação biológica, acúmulo de sedimento nos sensores ou alguma questão eletrônica do próprio equipamento. Em ST2s foi realizada uma aferição (Figura 2) das concentrações de OD com dados coletados simultaneamente por uma segunda sonda recentemente calibrada. Observa-se que a sonda de ST2s registra valores $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ mais altos que a sonda de referência.

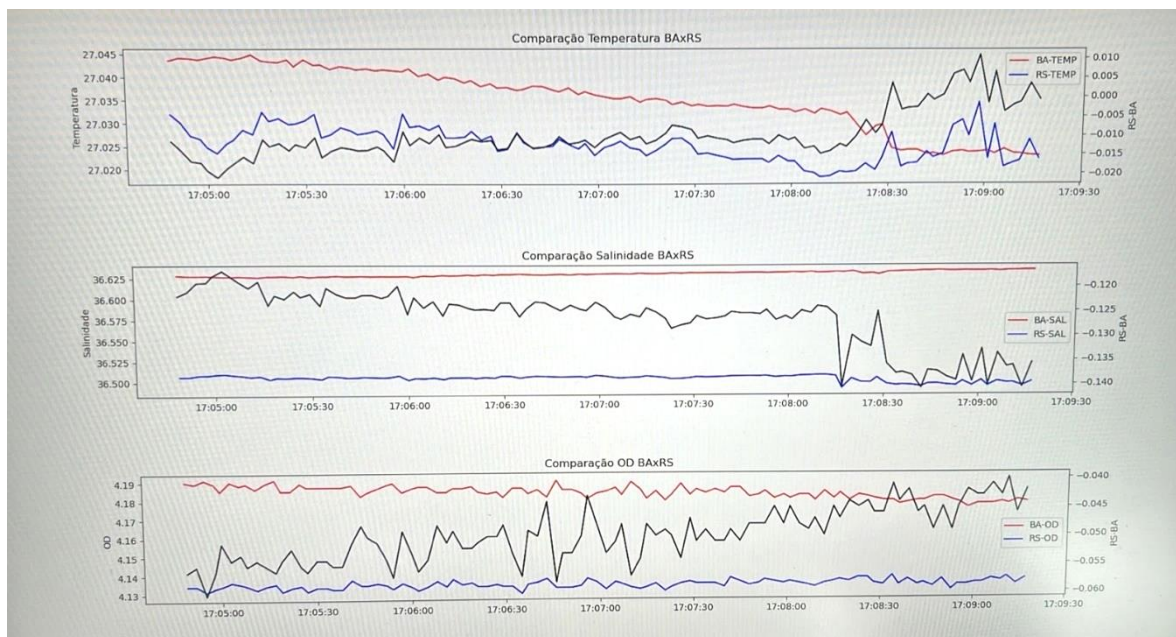


Figura 2 – Comparação entre a sonda utilizada em ST2s (vermelho) e sonda teste (azul). Diferença entre as sondas (preto) está plotada no 2º eixo y.

Níveis e momentos de preamar e baixamar foram identificados para o cálculo da altura da maré. Médias dos parâmetros analisados (temperatura, salinidade, clorofila, turbidez e concentração e saturação de O₂) foram calculadas para um intervalo de tempo de 100 minutos centrado nos momentos de prea e baixamar.

Foram também calculados parâmetros estatísticos para momentos de preamar e baixamar, para as marés de sizígia e quadratura, para os meses e para as estações do ano. Os ciclos de sizígia corresponderam às marés com altura igual ou superior a 2 metros, enquanto a quadratura corresponde aos ciclos com alturas iguais ou menores que 1,5 metros. Em ST3f não houve coleta de dados durante o período do inverno.

Um filtro em passa-baixa foi aplicado para remoção de oscilações supramareais (período de corte de 53hs) e sazonais (período de corte de 180 dias) para os dados de OD, temperatura e clorofila. Os dados de OD também foram filtrados para a banda de períodos compreendida entre 13,5 dias e 15,5 dias, a fim de visualizar a modulação imposta pelos ciclos de sizígia-quadratura.

4. RESULTADOS

A altura da maré no período de investigação variou entre 0,46 m e 2,90 m, com altura média igual a 1,66 m (Figura 3 – Variação da altura da maré no período do estudo. Acima da linha pontilhada estão as marés de sizígia e abaixo da linha contínua estão as marés de quadratura.). A altura média das marés de sizígia e de quadratura foram de $2,28 \text{ m} \pm 0,21 \text{ m}$ e $1,11 \pm 0,23 \text{ m}$, respectivamente.

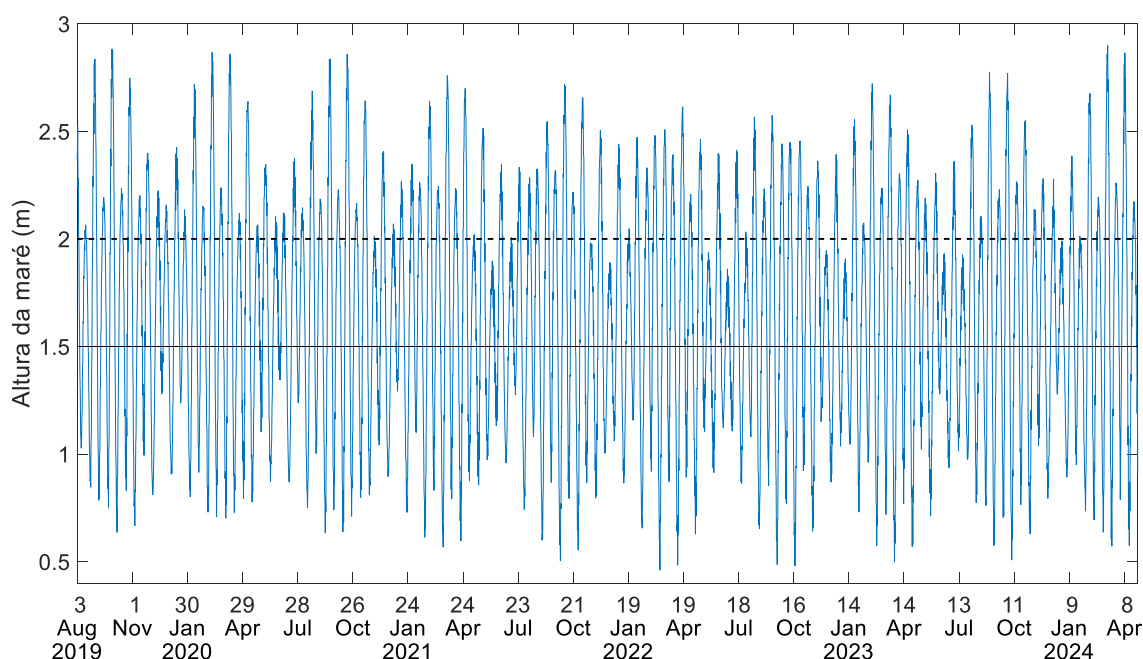


Figura 3 – Variação da altura da maré no período do estudo. Acima da linha pontilhada estão as marés de sizígia e abaixo da linha contínua estão as marés de quadratura.

As séries temporais de temperatura apresentam o comportamento esperado para todas as estações, com temperaturas mais altas no verão e mais baixas no inverno. A temperatura variou entre 24,27 °C e 29,11 °C em ST1 (Figura 4) 23,39 °C e 31,38 °C em ST2s (Figura 5), 24,35 °C e 29,54 °C em ST2f (Figura 6), 24,89 °C e 30,22 °C em ST3s (Figura 7) e 25,60 °C e 29,79 °C em ST3f (Figura 8). As médias calculadas para o mesmo período, com diferentes extensões de dados (Tabela 1), foram iguais a $26,29 \pm 1,00$ °C, $27,15 \pm 1,15$ °C, $26,73 \pm 1,03$ °C, $27,91 \pm 1,23$ °C, $28,15 \pm 0,84$ °C, respectivamente, evidenciando o aumento de temperatura para dentro da baía. Os meses mais quentes foram março/abril e os mais frios foram agosto/setembro.

Tabela 2: Resumo da estatística dos dados coletados (valores mínimos (min), médios (med) e máximos (max)), considerando a série temporal total de cada estação.

	Temperatura (°C)			Clorofila (µg/L)			OD (mg L ⁻¹)			OD (%)		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
ST1	24,27	26,29 ± 1,00	29,11	0,10	0,64 ± 0,28	2,00	5,42	6,33 ± 0,19	6,86	84	97 ± 3	107
ST2s	23,39	27,15 ± 1,15	31,38	0,03	0,52 ± 0,20	1,99	4,03	5,96 ± 0,30	7,25	62	92 ± 5	110
ST2f	24,35	26,73 ± 1,03	29,54	0,08	1,14 ± 0,37	2,70	5,41	6,30 ± 0,19	7,01	75	96 ± 3	108
ST3s	24,89	27,91 ± 1,23	30,22	0,21	0,95 ± 0,29	2,48	5,36	6,19 ± 0,21	6,97	80	96 ± 3	107
ST3f	25,60	28,15 ± 0,84	29,79	0,52	1,38± 0,47	3,00	5,23	5,95 ± 0,16	6,63	83	93 ± 2	102

As concentrações de OD variaram entre 5,42 mg L⁻¹ e 6,86 mg L⁻¹ em ST1, com saturação entre 84% e 107% (Figura 4). Tanto as concentrações de OD como sua saturação apresentaram maiores valores na primavera/verão, decaindo no outono/inverno (Figura 4). As maiores concentrações foram observadas em outubro/2019, com média mensal de 6,53 ± 0,08 mg L⁻¹. Já o mês com menores concentrações foi junho/2020 (6,08 ± 0,15 mg L⁻¹). As concentrações de clorofila variaram de 0,1 µg/L a 2 µg/L, com máxima (0,96 ± 0,18 µg/L) no mês de março/2020 e a mínima (0,38 ± 0,14 µg/L) em janeiro/2023.

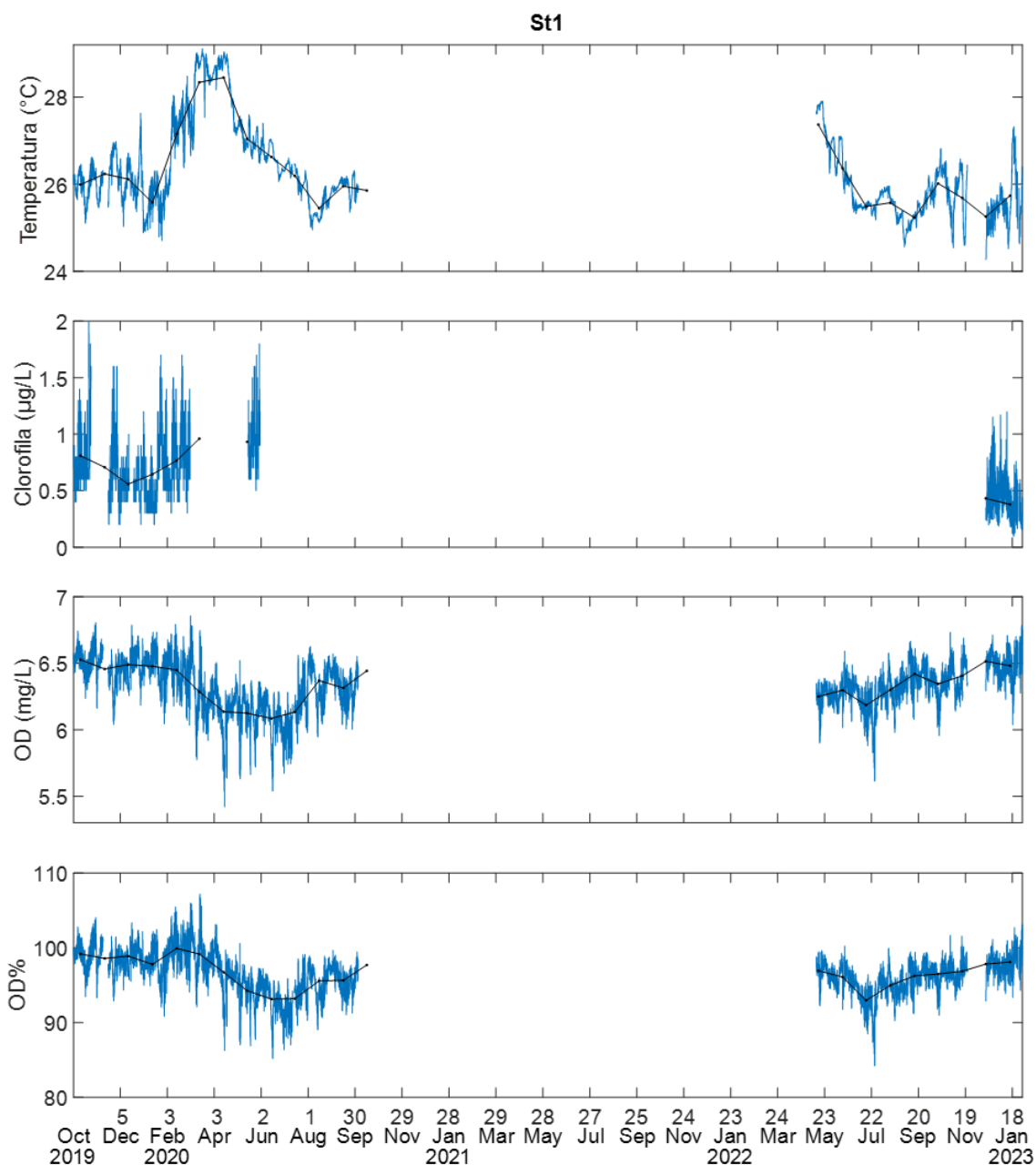


Figura 4 – Série temporal dos parâmetros analisados na estação #1. A linha preta representa as médias mensais.

Na estação ST2s (superfície) (Figura 5) as concentrações de OD e sua saturação variaram de $4,03 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,25 \text{ mg L}^{-1}$ e 62% a 110%, respectivamente (Figura 6 – Série temporal dos parâmetros analisados no fundo da estação #2.). As maiores concentrações de OD e de pressões parciais tenderam a ocorrer durante o inverno e a primavera (Figura 5). A partir de janeiro do ano de 2023 é observado um aumento do OD médio em relação ao resto da série temporal. O mês com maior concentração de OD foi agosto/2023 ($6,41 \pm 0,15 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto o menor foi maio/2021 ($5,58 \pm 0,25 \text{ mg L}^{-1}$). As concentrações de clorofila oscilaram entre $0,03 \text{ µg/L}$ a $1,99 \text{ µg/L}$ (Figura 5),

com maior concentração no mês de julho/2022 ($0,76 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$) e menor em dezembro/2022 ($0,37 \pm 0,15 \mu\text{g/L}$).

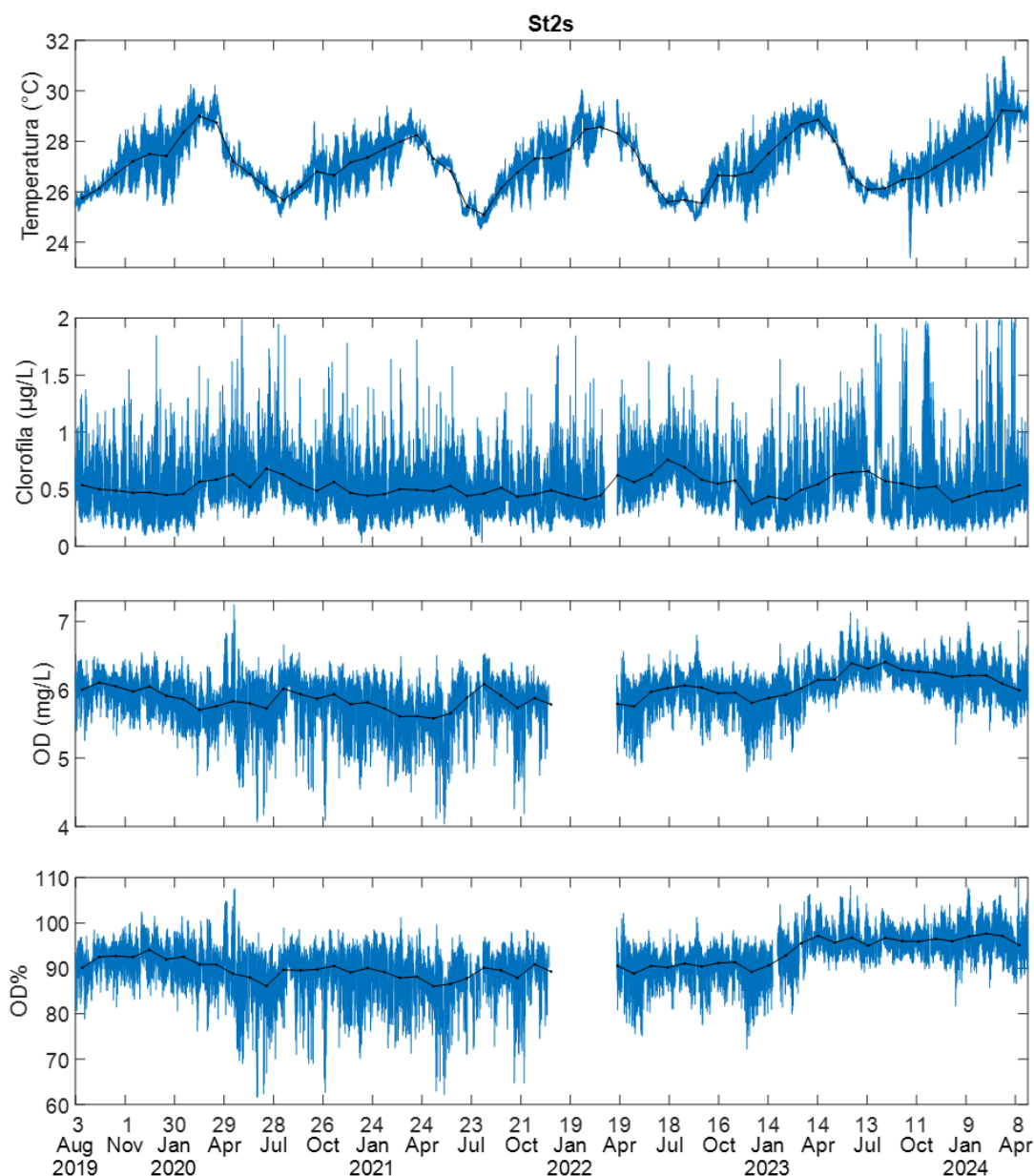


Figura 5 – Série temporal dos parâmetros analisados na superfície da estação #2. A linha preta representa as médias mensais.

O comportamento do OD na estação ST2f (fundo) (Figura 6) é inverso ao da superfície, isto é, a água mais oxigenada ocorre na primavera/verão (Figura 6). As concentrações do OD variaram de $5,41 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,01 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto o OD% variou de 75% a 108%. O mês de máxima concentração de OD foi novembro/2019 ($6,68 \pm 0,13 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto o de mínima foi julho/2020 ($5,99 \pm 0,04 \text{ mg L}^{-1}$). As

concentrações de clorofila oscilaram entre 0,08 µg/L e 2,70 µg/L, sendo maior no mês de novembro/2019 ($1,64 \pm 0,30$ µg/L) e menor no mês de abril/2022 ($0,89 \pm 0,24$ µg/L).

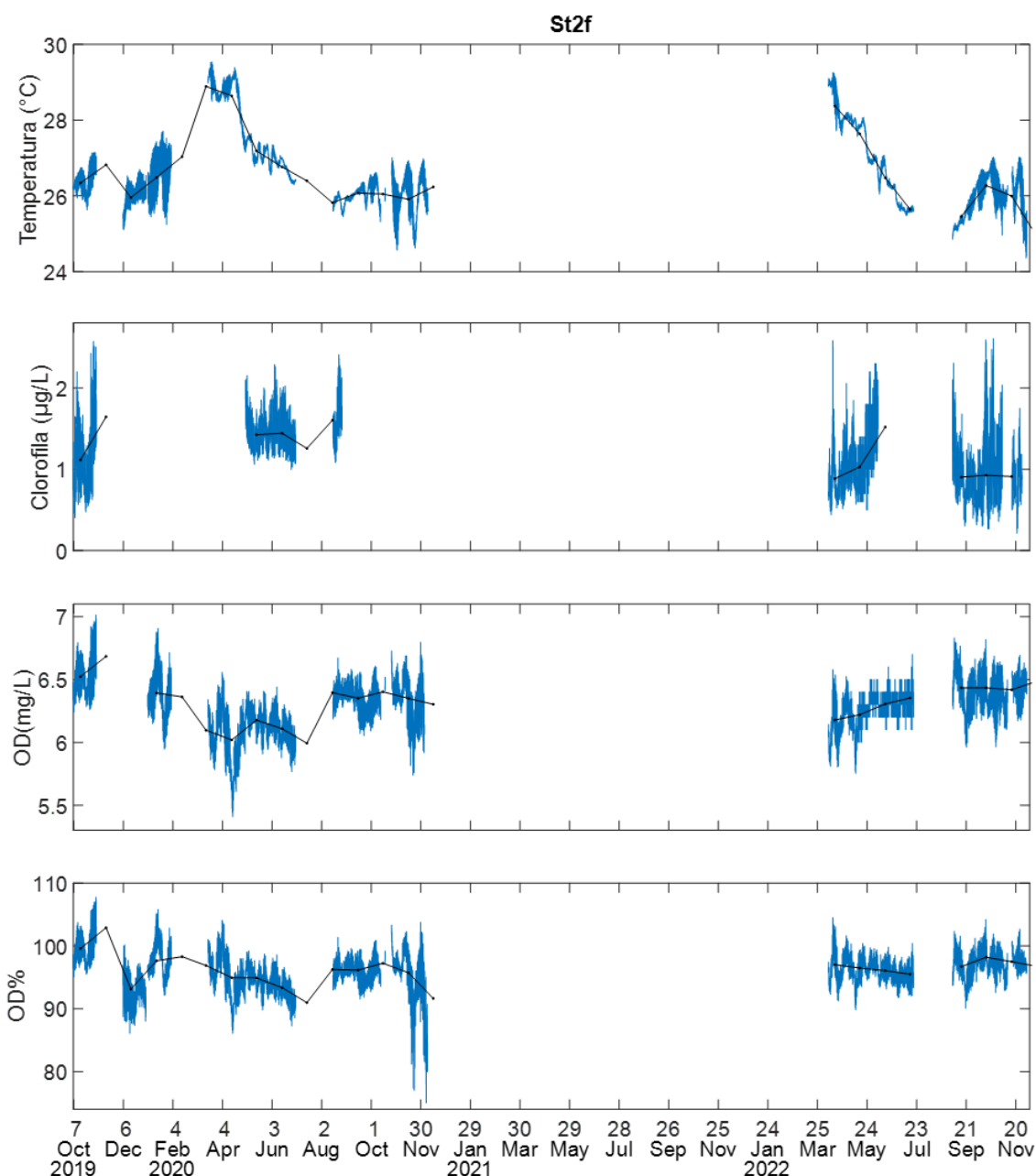


Figura 6 – Série temporal dos parâmetros analisados no fundo da estação #2. A linha preta representa as médias mensais.

Já na estação ST3s a concentração mínima e máxima de OD foi de $5,36 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,97 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, com saturação variando entre 80% e 107%. O comportamento do oxigênio é similar à estação ST2s (também de superfície), com as maiores concentrações de OD ocorrendo no inverno e na primavera. O mês com maior concentração de OD foi agosto/2020 na superfície, com valores médios mensais iguais a $6,32 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$. As menores concentrações ocorreram em março/2020,

com valor médio mensal igual a $5,94 \pm 0,19 \text{ mg L}^{-1}$. Para a clorofila a amplitude de variação foi de $0,21 \text{ }\mu\text{g/L}$ a $2,48 \text{ }\mu\text{g/L}$ (Figura 7) e atingiu seu pico no mês de julho/2020 ($1,16 \pm 0,22 \text{ }\mu\text{g/L}$) e o mínimo ($0,82 \pm 0,29 \text{ }\mu\text{g/L}$) em novembro do mesmo ano.

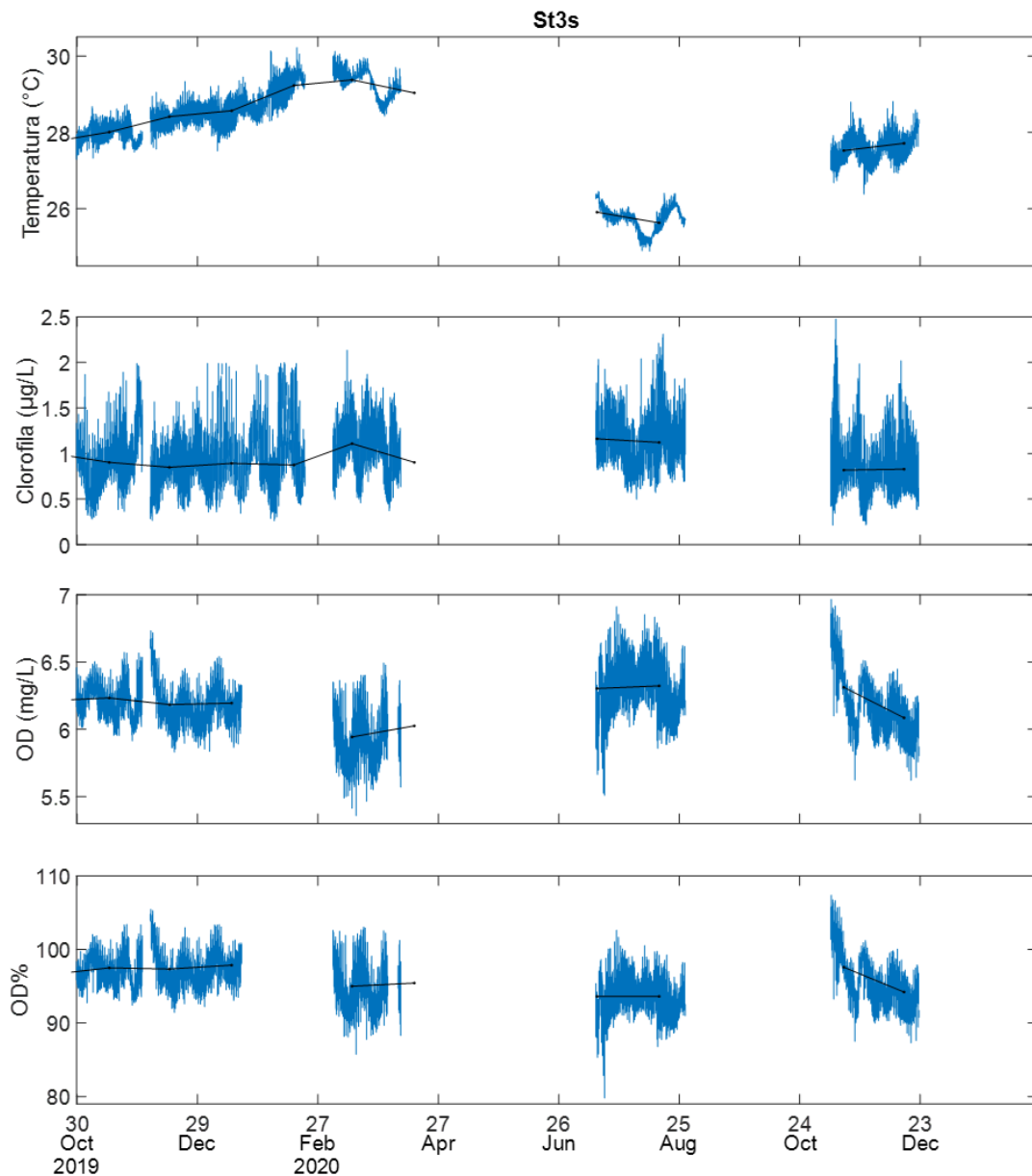


Figura 7 – Série temporal dos parâmetros analisados na superfície da estação #3. A linha preta representa as médias mensais.

Na estação ST3f de fundo os dados de oxigênio dissolvido variaram entre $5,23 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,63 \text{ mg L}^{-1}$ e a saturação do OD entre 83% e 102% (Figura 8). Dentre os meses medidos nesta estação, a concentração média mensal máxima ocorreu em novembro/2020 e a mínima em março/2020, com valores iguais a $6,12 \pm 0,15 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,73 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, considerando que não há dados no período do

inverno. A concentração de clorofila variou entre 0,52 $\mu\text{g/L}$ e 3,00 $\mu\text{g/L}$ (Figura 8), sendo maior no mês de novembro/2019 ($2,10 \pm 0,38 \mu\text{g/L}$) e menor em dezembro/2020 ($1,08 \pm 0,23 \mu\text{g/L}$).

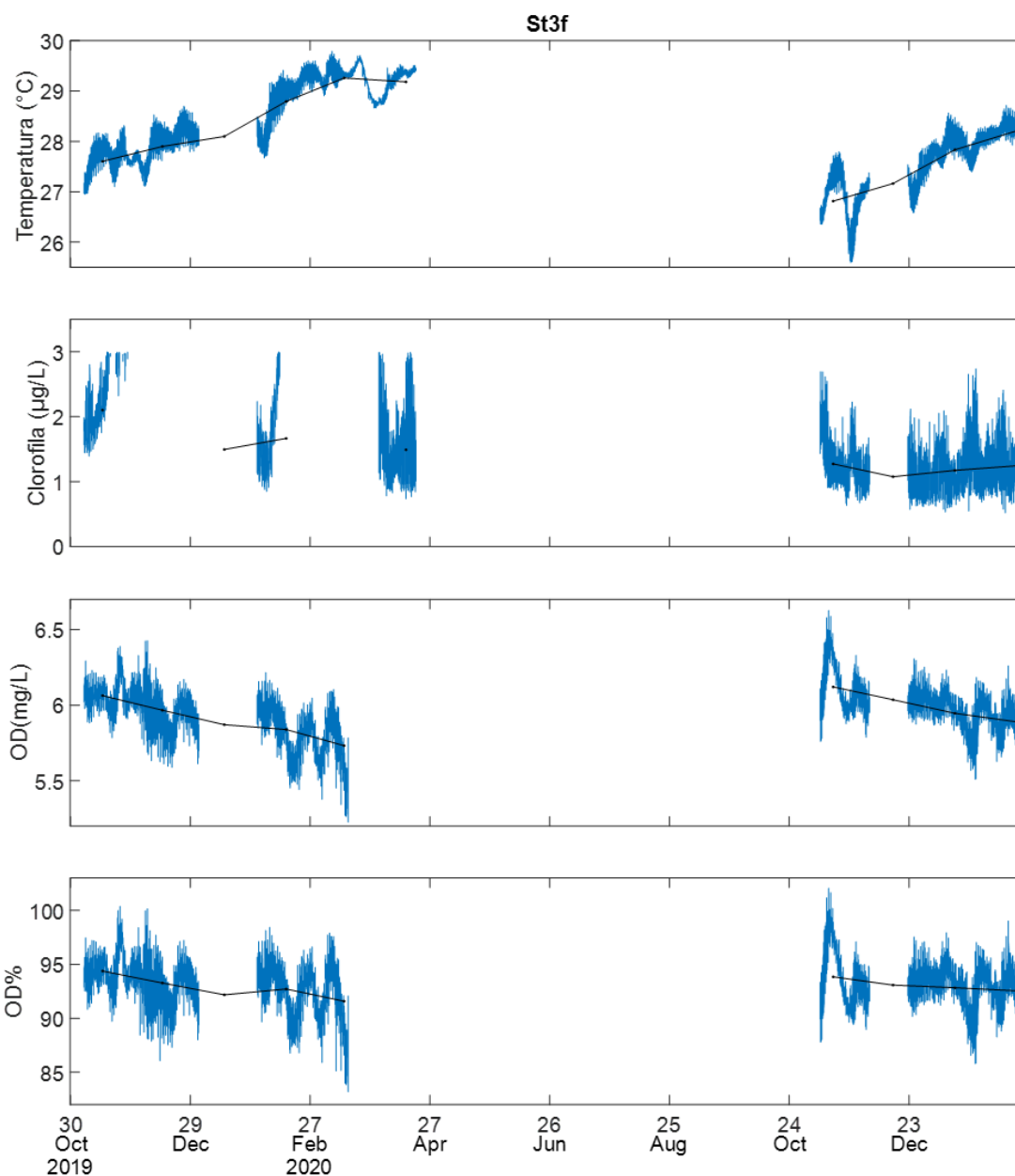


Figura 8 – Série temporal dos parâmetros analisados no fundo da estação #3. A linha preta representa as médias mensais.

A Figura 9 apresenta a estatística das concentrações de OD para cada estação do ano. A estação do ano com menor concentração média foi o outono, com médias iguais a $6,12 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$ (ST1), $5,80 \pm 0,29 \text{ mg L}^{-1}$ (ST2s), $6,10 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$ (ST2f), $5,59 \pm 0,29 \text{ mg L}^{-1}$ (ST3s) e $6,03 \pm 0,14 \text{ mg L}^{-1}$ (ST3f). Observa-se que as estações de fundo apresentam maiores concentrações médias na primavera, em seguida no

verão e no inverno (Figura 9). Estes valores foram iguais a $6,48 \pm 0,12 \text{ mg L}^{-1}$ (ST1), $6,39 \pm 0,17 \text{ mg L}^{-1}$ (ST2f), $6,04 \pm 0,13 \text{ mg L}^{-1}$ (ST3f) na primavera e $6,40 \pm 0,17 \text{ mg L}^{-1}$, $6,29 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$, $5,84 \pm 0,19 \text{ mg L}^{-1}$ no verão, respectivamente. No inverno os valores médios e desvios padrões de ST1 e ST2f foram iguais a $6,23 \pm 0,19 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,26 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Em ST3f não houve dados neste período. Em ST2s, a estação do ano com maior concentração média de OD foi a primavera ($5,92 \pm 0,26 \text{ mg L}^{-1}$), seguida do inverno ($5,87 \pm 0,29 \text{ mg L}^{-1}$) e do verão ($5,82 \pm 0,24 \text{ mg L}^{-1}$). Em ST3s o período com maior concentração média de OD foi o inverno ($6,31 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$), seguido da primavera ($6,21 \pm 0,18 \text{ mg L}^{-1}$) e do verão ($6,05 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$). As concentrações médias de OD no fundo diminuem em direção à parte interna da baía.

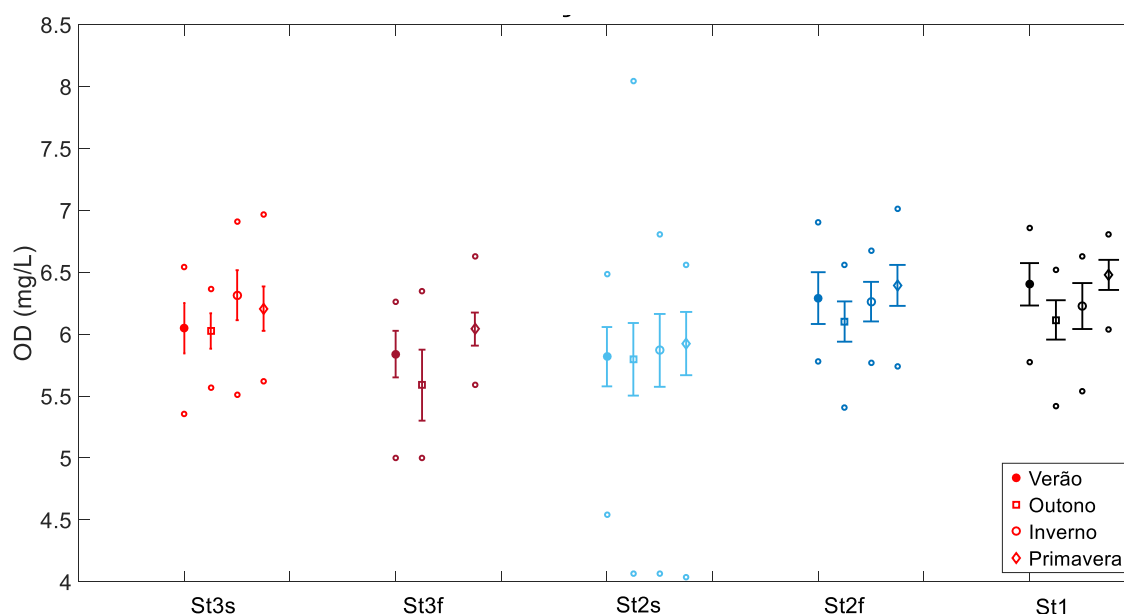


Figura 9 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão, para diferentes estações do ano, no período de 2019 a 2021.

Em todas as estações os valores médios na preamar foram superiores aos da baixamar, com exceção de ST1 (Figura 10). Na preamar, as concentrações médias no fundo foram de $6,28 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$ em ST1, $6,26 \pm 0,24 \text{ mg L}^{-1}$ em ST2f e $5,92 \pm 0,22 \text{ mg L}^{-1}$ em ST3f. Na baixamar, os valores foram iguais a $6,31 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$, $6,17 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,89 \pm 0,23 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Na superfície, ST3s apresenta maior concentração média de OD ($6,22 \pm 0,19 \text{ mg L}^{-1}$ na preamar e $6,17 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$ na baixamar) do que ST2s ($5,91 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$ na preamar e $5,81 \pm 0,28 \text{ mg L}^{-1}$ na baixamar), a qual apresentou a menor concentração de OD dentre todas as

estações. Na estação #3 a superfície é mais oxigenada do que o fundo, como esperado, apresentando uma diferença de $0,30 \text{ mg L}^{-1}$ entre as médias na preamar e $0,28 \text{ mg L}^{-1}$ na baixamar. No entanto, na estação #2 a concentração média de OD é maior no fundo do que na superfície, com diferença de $0,34 \text{ mg L}^{-1}$ na preamar e $0,35 \text{ mg L}^{-1}$ na baixamar. É importante ressaltar que os valores médios consideram diferentes extensões de dados em cada estação de monitoramento (Tabela 1).

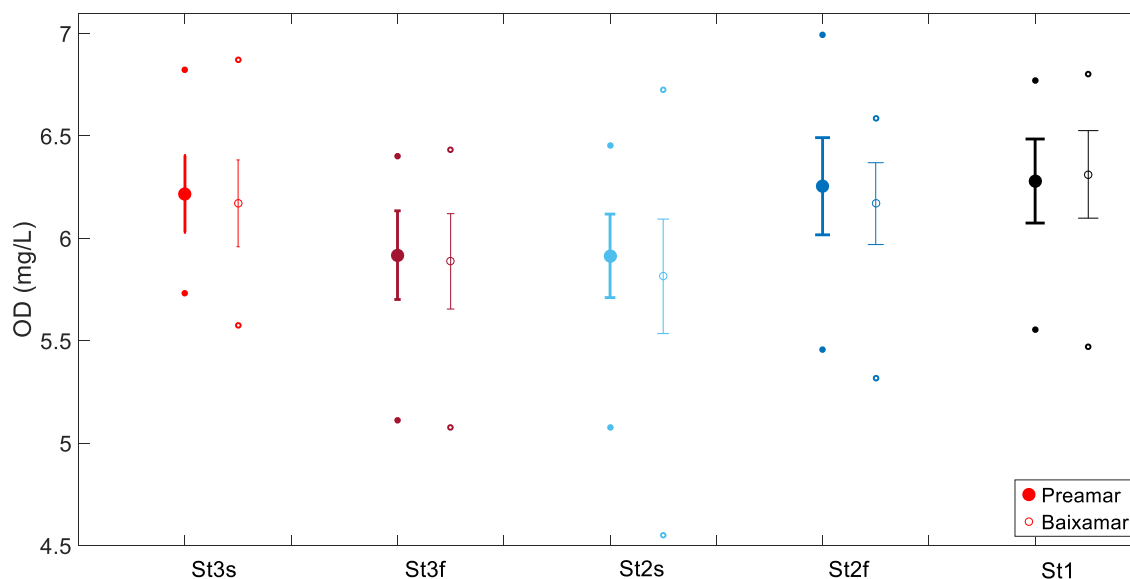


Figura 10 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão para o período de 2019 a 2021 em situações de preamar e baixamar para todas as estações.

As médias das concentrações de OD em sizígia e quadratura variaram entre 4 mg L^{-1} e 8 mg L^{-1} (Figura 11). Nas estações de fundo a concentração média foi maior nas sizígias, enquanto na superfície as concentrações foram maiores na quadratura. As médias das sizígias foram iguais a $6,32 \pm 0,08 \text{ mg L}^{-1}$ em ST1, $5,85 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$ em ST2s, $6,29 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$ em ST2f, $6,14 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$ em ST3s e $5,96 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$ em ST3f. Nas quadraturas as médias foram de $6,30 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$, $5,88 \pm 0,22 \text{ mg L}^{-1}$, $6,26 \pm 0,08 \text{ mg L}^{-1}$, $6,26 \pm 0,14 \text{ mg L}^{-1}$, $5,82 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Mais

uma vez é importante ressaltar que esses valores consideram diferentes extensões de dados (Tabela 1).

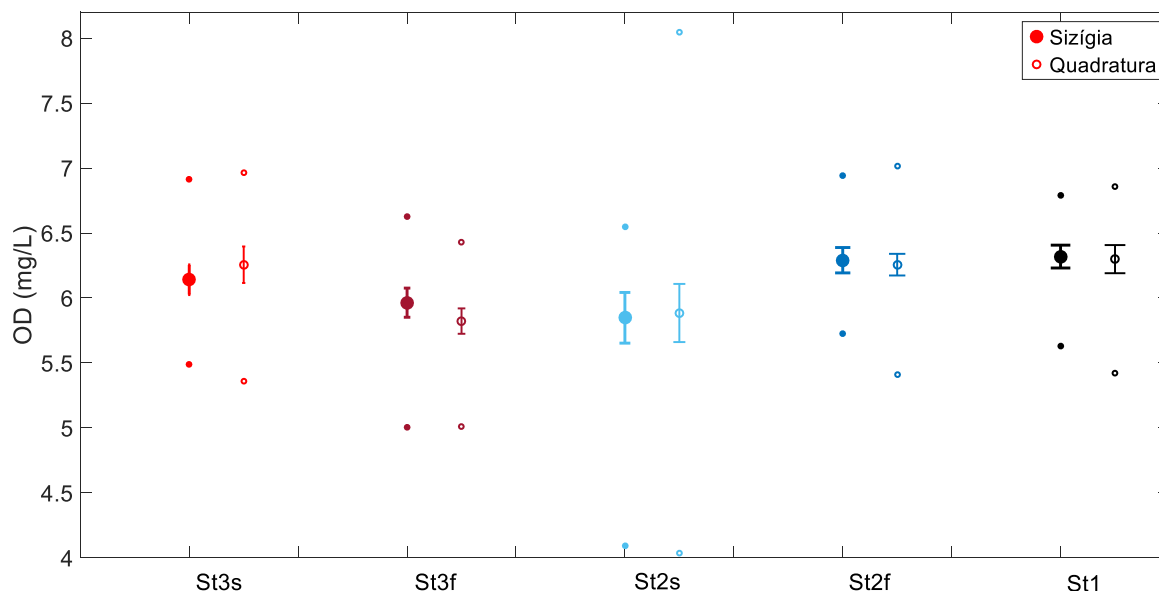


Figura 11 – Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão para o período de 2019 a 2021, em momentos de sizi3gia e quadratura para todas as estações.

5. DISCUSSÃO

As concentrações de oxigênio dissolvido próximo ao fundo apresentam uma tendência de queda em direção a parte interna da BTS, o que também acontece em outras baías do mundo (Zheng et al., 2023). Isso pode ser atribuído ao aumento da temperatura nessa mesma direção, o qual causa redução da solubilidade do gás. Souza (2022) indica que a temperatura na BTS está aumentando ao longo dos anos, principalmente no centro da baía (estações ST3). Outro fator potencialmente responsável pelas menores concentrações na parte mais interna da baía é o aporte de matéria orgânica exportada pelos rios e produzida localmente, que requer consumo de O₂ para sua decomposição (Zheng et al., 2023). Oliveira e Lessa (2019) documentaram a presença de grande quantidade de macro-agregados orgânicos na região central da baía, com gênese aparentemente local, que podem influenciar fortemente as concentrações de OD.

O fato de as maiores concentrações médias ocorrerem durante a preamar em todas as estações internas à baía é explicado pelo transporte de água mais oxigenada vinda da plataforma na condição de enchente. As médias mensais corroboram com a ideia de o transporte da água mais oxigenada vir da plataforma, haja vista que os meses com maior e menor concentração de OD em ST2f (novembro/2019 e julho/2020) ocorreram logo após os meses de máximo e mínimo em ST1 (outubro/2019 e junho/2020).

As maiores concentrações médias sazonais ocorrem nos períodos de primavera e verão nas estações de fundo (ST1, ST2f e ST3f), sugerindo uma influência da ressurgência que ocorre na plataforma continental neste período (Fonseca et al., 2024). Nas estações de superfície (ST2s e ST3s), o verão apresenta a segunda menor concentração de OD.

As concentrações de OD na superfície de ST2 foram as mais baixas dentre as estações. Estas podem ser consideradas anômalas dada sua posição na coluna d'água e proximidade com a plataforma continental. Roth et al. (2016) mostra que a pluma lançada pelo emissário submarino do Rio Vermelho chega à entrada da baía na primavera e verão por conta dos ventos de NE, e adentra pelo menos 2,5 km ao longo de sua margem leste com a maré de enchente. Este processo pode ser o responsável pelas baixas concentrações observadas em ST2s neste período. As baixas concentrações de OD durante o outono e inverno podem se relacionar com o escoamento urbano da margem da baía neste período úmido. Hatje et al. (2017), em extensa coleta de amostra de água superficial na BTS realizada no mês de agosto, sob condição de maré de enchente, reporta as mais baixas concentrações na região central da baía (Figura 12), com valor mínimo observado próximo da estação ST2s.

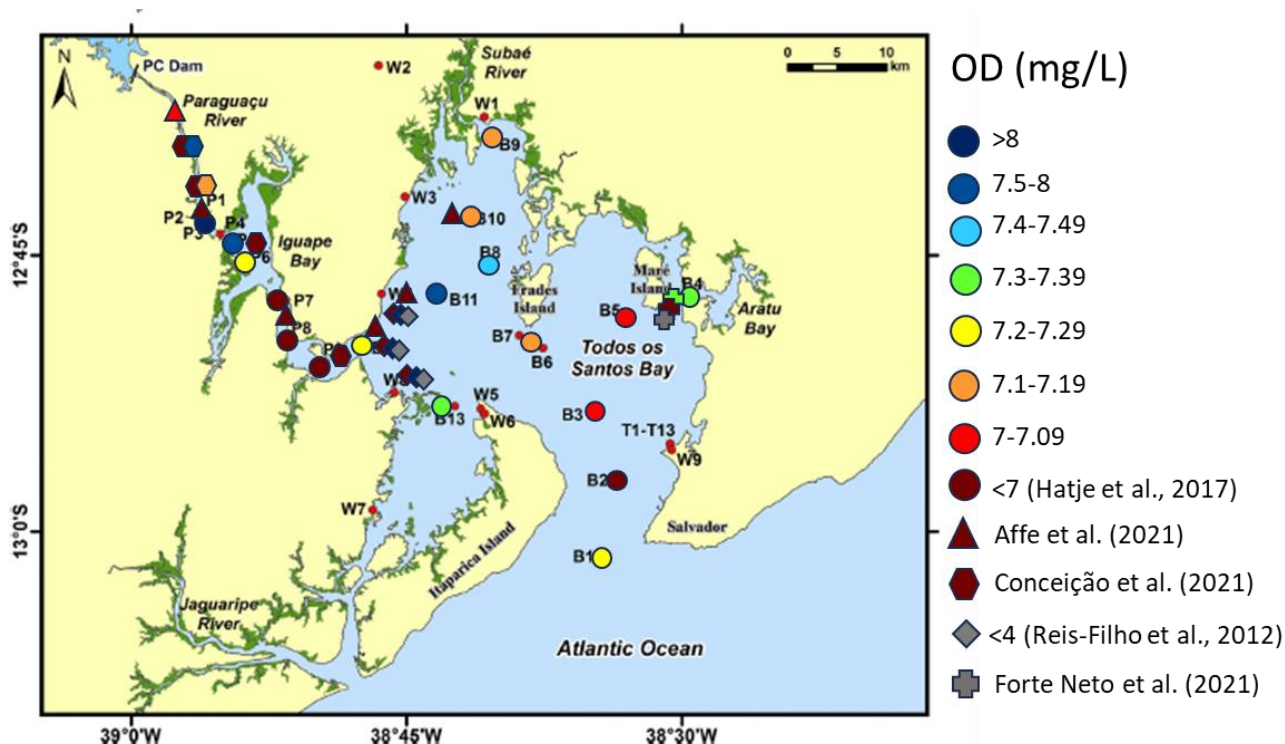


Figura 12 – Concentrações de OD previamente coletadas na BTS. Adaptado de Hatje et al. (2017).

Foi observado que nas estações de fundo as maiores concentrações médias ocorreram em momentos de sizígia e que nas estações de superfície ocorreram na quadratura. Este comportamento pode ser relacionado a diferentes capacidades de mistura da coluna d'água entre marés de sizígia e quadratura (Fonseca et al., 2024). Sendo este o caso, sugere-se que a respiração possa deprimir as concentrações no fundo durante período de menor mistura em quadratura, quando a água mais oxigenada fica retida na superfície onde a fotossíntese ocorre de forma mais acelerada. Com o aumento da capacidade de mistura nas marés de sizígia a água de superfície, mais oxigenada, alcança o fundo. Este comportamento ressalta o controle da maré sobre a concentração do oxigênio dissolvido.

Este processo, no entanto, não se estabeleceria durante todo o ano. A Figura 13 mostra a série de OD de ST2s filtrada na banda entre 13,5 e 15,5 na estação ST2s junto com a variação da altura da maré durante a primavera-verão de 2021 e 2024. É possível observar que trecho da série com os sinais fora de fase (início das séries) e trechos com os sinais em fase (meio para o final da série). Ou seja, maiores concentrações de OD coincidindo com marés de quadratura e posteriormente com marés de sizígia. Considerando o período do ano, é possível que durante as marés

de sizígia houve o transporte dos nutrientes, proveniente da ressurgência, para a camada fótica, estimulando a fotossíntese.

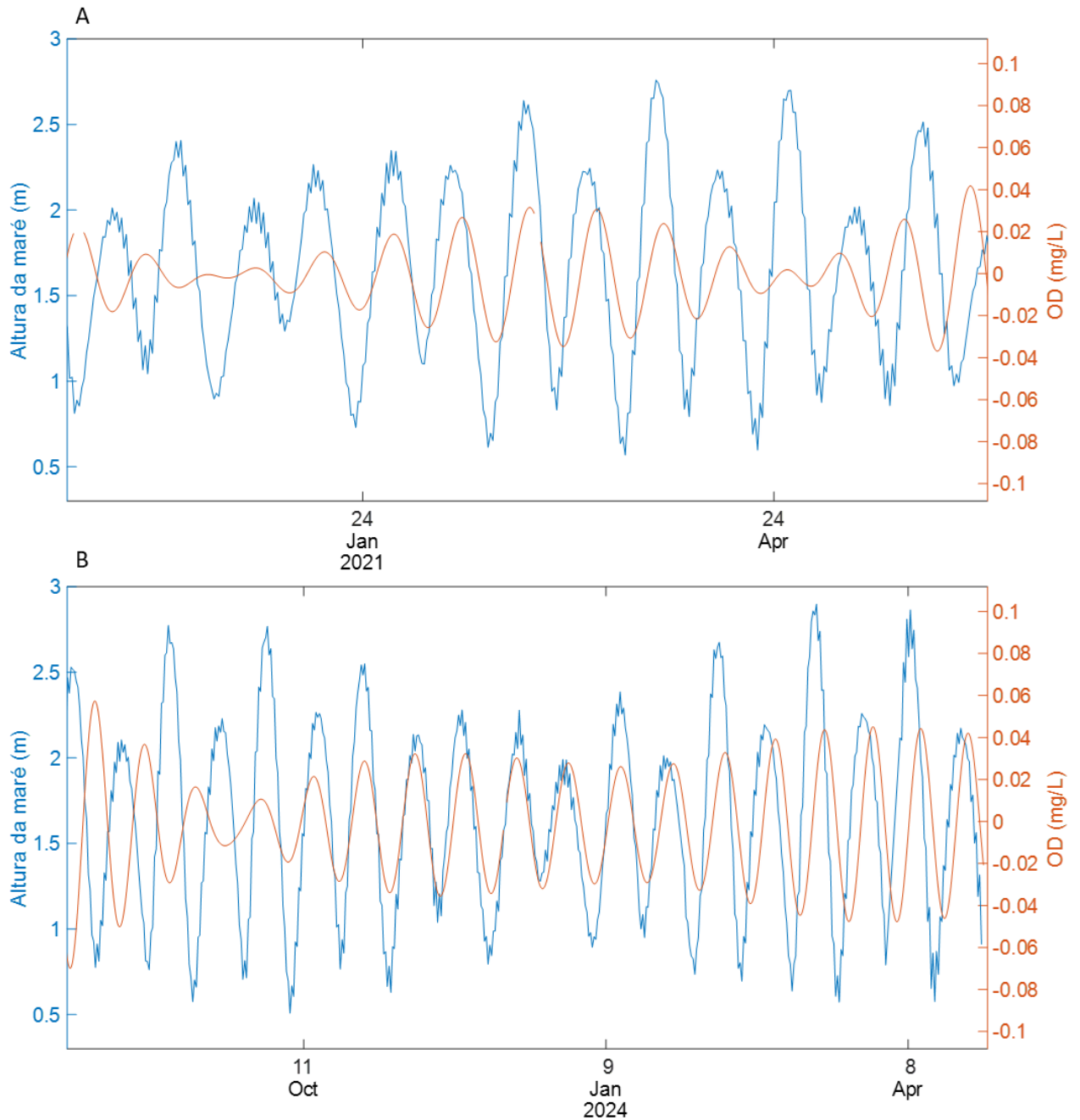


Figura 13 – Altura da maré (azul) e concentração do OD em ST2s filtrada em banda para frequências entre 13,5 e 15,5 dias (laranja). A) durante o período de 20/11/2020 a 09/06/2021. B) Durante o período de 01/08/2023 a 01/05/2024.

A concentração média de OD em ST2s no ano de 2023 foi mais elevada que o restante da série temporal (Figura 14), não sendo possível, no momento, explicar a razão. No entanto, é observado uma correlação do OD altamente negativa com a temperatura durante todo o período (Figura 14), explicada pela solubilidade, enquanto a correlação

entre o OD e a clorofila apresenta variações no padrão de comportamento, sendo inversa entre Agosto/2019 e Março/2021 e claramente positiva entre Abril/2022 e Janeiro/2024.

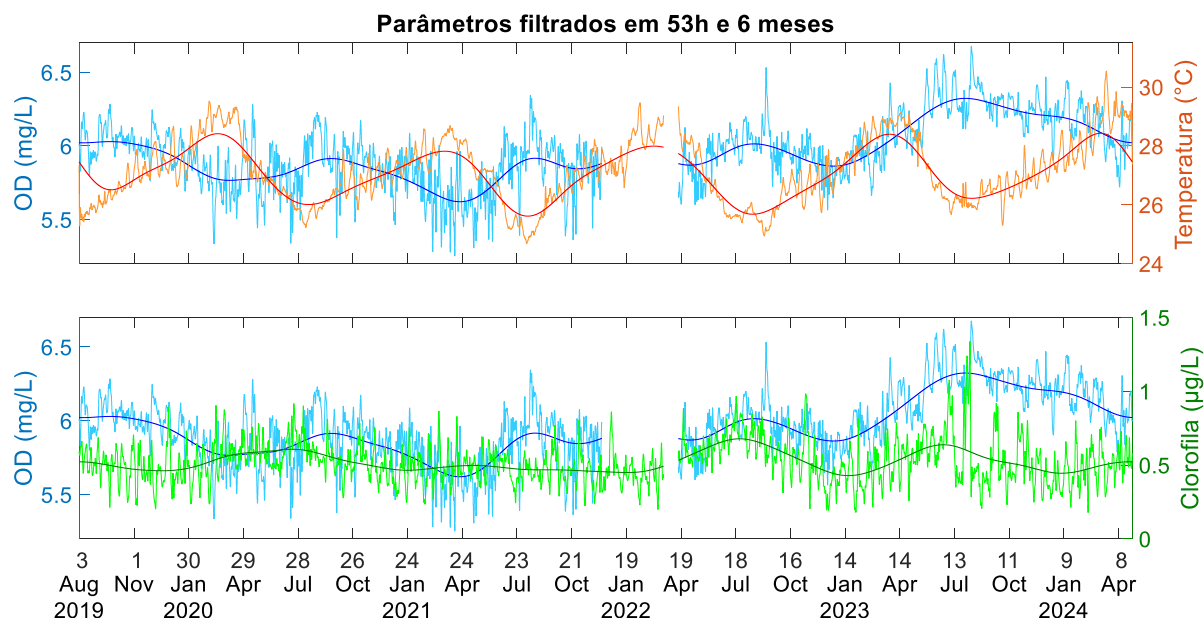


Figura 14 – Temperatura e clorofila (2° eixo) plotados contra o OD (1° eixo) em ST2s. Parâmetros filtrados em 53h (cores mais claras) e 6 meses (cores mais escuras).

A comparação de resultados de concentração de OD obtidos em outros locais é dificultada pela variedade de métodos usados na coleta dos dados. Por exemplo, vários estudos utilizam a coleta d'água para posterior análise através do método de Winkler (Zhou et al. 2020; Kjerfve et al., 1997; Gambagorte, 2011) ou perfilagem realizadas por sondas multi-parâmetros (Chowdhury e Karim, 2020). As coletas são pontuais no tempo e espaço, fornecendo apenas registros instantâneos das condições do ambiente em uma determinada época do ano e em condição de maré específica, o que dificulta a comparação entre diferentes regiões. Esse desafio é evidenciado ao comparar estudos prévios na BTS. Um exemplo disso é Hatje et al. (2017), que encontrou concentrações de OD na BTS (Figura 12) por volta de 1 mg L^{-1} a mais do que as médias calculadas neste estudo (Tabela 2), a partir de uma coleta realizada em dois dias. No entanto, a variação espacial do OD apresentou o mesmo comportamento. Então, considerando dados disponíveis na literatura, a BTS apresenta concentrações relativamente menores do que outras baías brasileiras. Um exemplo é a Baía de Paranaguá, cerca de 2x menor do que a BTS em área, que apresenta concentrações entre $5,61 \text{ mg L}^{-1}$ a $8,10 \text{ mg L}^{-1}$ (Gambagorte, 2011). Outro

exemplo é a Baía de Guanabara, altamente antropizada (Ribeiro e Kjerfve, 2002), com estrada restrita e quatro vezes menor do que a BTS, com concentrações médias entre 6,8 mg L⁻¹ a 7,9 mg L⁻¹ (Fries et al., 2019). A concentração média dentro da BTS considerando as 4 estações internas foi de 6,1 mg L⁻¹ (Tabela 2).

Em nenhuma estação houve situação de hipoxia durante o monitoramento, considerando o valor mais utilizado na literatura atualmente (2 mg L⁻¹) (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2008). No entanto, Reis-Filho et al. (2012) relata condições hipoxicas associadas a um evento de maré vermelha na região noroeste da BTS em 2007, quando houve uma mortalidade de peixes. A concentração de OD no período anterior a maré vermelha variou entre 6,7 mg L⁻¹ e 10,2 mg L⁻¹ e atingiu concentrações abaixo de 2 mg L⁻¹ durante o evento (Figura 12) (Reis-Filho et al., 2012). Em monitoramento realizado nos meses seguintes, foram observadas concentrações de até 8,2 mg L⁻¹ na região (Affe et al., 2021). Valores baixos de OD também foram relatados em associação com dragagem realizada na região da Baía de Aratu, a qual reduziu a concentração média de 7,3 mg L⁻¹ para 2,8 mg L⁻¹ (Forte Neto et al., 2021).

A maioria das estações, com exceção de ST1 (69%) e ST2s (96%), tiveram menos da metade dos dados válidos no período utilizado para os cálculos estatísticos (Tabela 1). Isto deve ter gerado algum viés nos resultados. Com quase 90% dos dados válidos em toda a sua extensão temporal, ST2s foi uma importante estação para a análise temporal do OD na BTS, bem como sua relação com outros parâmetros, como a variação da maré (Figura 13), da temperatura e da clorofila (Figura 14). Isto ressalta a importância de programas de monitoramento como o SiMCosta, responsável pela manutenção de ST2s, e o GLOSS (Global Sea Level Observing System), que fornecem dados importantes para a análise dos parâmetros oceanográficos, com uma boa extensão temporal.

6. CONCLUSÃO

A concentração de OD próximo ao fundo diminui em direção à parte interna da baía, porém aumenta na superfície. As estações de fundo apresentaram um padrão bem estabelecido de sazonalidade, onde as maiores concentrações ocorreram durante a primavera/verão, época a qual ocorre a ressurgência na plataforma.

É forte a influência das marés na variabilidade do OD, com diferenças entre os ciclos de preamar e baixamar, bem como entre as marés de sizígia e quadratura. Durante a preamar, observou-se o efeito do transporte de água oxigenada da plataforma para a parte interna da baía, resultando em concentrações médias mais altas. Nas estações de fundo, as maiores concentrações médias de OD foram registradas durante as marés de sizígia, quando a mistura vertical da coluna d'água é mais intensa. Em contrapartida, nas estações de superfície, as concentrações mais altas ocorreram durante as marés de quadratura, quando a água oxigenada tende a se acumular na superfície devido à menor capacidade de mistura.

As oscilações de baixa frequência das concentrações de OD na estação de superfície na entrada da baía apresenta correlação negativa com a temperatura, indicando um papel importante da solubilidade, não sendo possível, no entanto, afirmar a relação de causa e efeito.

A importância e necessidade de programas de monitoramento contínuos e de longo prazo, como o SiMCosta e o GLOSS ficou evidente.

Embora não tenha ocorrido situações de hipóxia, estas ocorrem local e eventualmente na baía. O comportamento anômalo da superfície em ST2, junto ao aumento médio da concentração do OD em 2023 podem instigar trabalhos futuros, bem como a investigação sobre a influência de outras variáveis no comportamento do OD, como vento e radiação solar.

7. REFERÊNCIAS

AFFE, H. M. J.; CONCEIÇÃO, L. P.; ROCHA, D. S. B.; PROENÇA, L. A. O.; NUNES, J. M. C. Phytoplankton community in a tropical estuarine gradient after an exceptional harmful bloom of *Akashiwo sanguinea* (*Dinophyceae*) in the Todos os Santos Bay. *Ocean and Coastal Research*, v. 69, e21008, 2021. DOI: [10.1590/2675-2824069.20-004hmdja](https://doi.org/10.1590/2675-2824069.20-004hmdja).

ALVES, Gilson; FLORES-MONTES, Manuel; GASPAR, Felipe; GOMES, Josiane; FEITOSA, Fernando. Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary.

Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, p. 7-12, 2013. DOI: 10.2112/SI65-002.1.

AMORIM REIS-FILHO, J.; SILVA, E. M.; NUNES, J. A. C. C.; BARROS, F. Effects of a red tide on the structure of estuarine fish assemblages in northeastern Brazil. *International Review of Hydrobiology*, v. 97, n. 5, p. 389–404, 2012. DOI: 10.1002/iroh.201101457.

BARROS, F.; BORZONE, C. A.; ROSA, L. C. C. Habitats bentônicos na Baía de Todos os Santos. *Revista Virtual de Química*, v. 4, n. 5, p. 551-565, 2012.

BORGES, A. C.; SANTOS, H. G.; RODRIGUES, L. F.; SOARES-GOMES, A. Eutrophication history of Guanabara Bay (SE Brazil) recorded by phosphorus flux to sediments from a degraded mangrove area. *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, n. 11, p. 1750-1754, 2009. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.07.025.

BREITBURG, D. L. Near-shore hypoxia in the Chesapeake Bay: patterns and relationships among physical factors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 30, p. 593-609, 1990.

BREITBURG, Denise; LEVIN, Lisa A.; OSCHLIES, Andreas; et al. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, v. 359, n. 46. DOI: 10.1126/science.aam7240

CASTELO, W. F. L.; MARTINS, M. V. A.; FERREIRA, P. A. L.; FIGUEIRA, R.; COSTA, C. F.; FONSECA, L. B.; BERGAMASHI, S.; PEREIRA, E.; TERROSO, D.; PINTO, A. F. S.; SIMON, M. B.; SOCORRO, O. A. A.; FRONTALINI, F.; SILVA, L. C.; ROCHA, F.; GUERRA, J. V. Long-term eutrophication and contamination of the central area of Sepetiba Bay (SW Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, 2021. DOI: 10.1007/s10661-021-08861-1.

CHOWDHURY, M. Z. R.; KARIM, M. A. Observation of spatial and temporal distribution of dissolved oxygen and detection of oxygen minimum zones in the Bay of Bengal. *International Journal of Oceanography & Aquaculture*, v. 4, n. 4, p. 000198, 2020. <https://doi.org/10.23880/ijoac-16000198>.

Cirano, M.; Lessa, G. C. (2007) Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos. Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, p. 363-387.

CONCEIÇÃO, Lorena Pedreira; AFFE, Helen Michelle de Jesus; SILVA, Daniela Mariano Lopes da; NUNES, José Marcos de Castro. Spatio-temporal variation of the phytoplankton community in a tropical estuarine gradient, under the influence of river

damming. *Regional Studies in Marine Science*, v. 43, p. 101642, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101642>.

DIAZ, Robert J.; ROSENBERG, Rutger. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural response of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology*, v. 33, p. 245-303, 1995.

DIAZ, Robert J.; ROSENBERG, Rutger. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, v. 321, n. 5891, p. 926–929, 2008. DOI: 10.1126/science.1156401

FONSECA, Lucas S.; LESSA, Guilherme C.; MARTA-ALMEIDA, Martinho; TEIXEIRA, Carlos Eduardo P. Coastal upwelling and estuarine gravitational circulation: a feedback system in a tropical estuary in the South Atlantic. *Estuaries and Coasts*, 2024. DOI: 10.1007/s12237-023-01312-9.

FORTE NETO, João Barroso; BERETTA, Magda; FERREIRA, Aline Nogueira; SOUZA, Christiane Sampaio de; MAFALDA JÚNIOR, Paulo de Oliveira. A variabilidade da biomassa planctônica sob influência da sazonalidade e da dragagem do porto de Aratú, Baía de Todos os Santos, Brasil. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 42, n. 2, p. 230-242, 2014.

FRIES, Alexandra S.; COIMBRA, João P.; NEMAZIE, David A.; SUMMERS, Robert M.; AZEVEDO, José Paulo S.; FILOSO, Solange; NEWTON, Marlus; GELLI, Guido; OLIVEIRA, Ricardo Castro Nunes de; PESSOA, Marco Antonio R.; DENNISON, William C. Guanabara Bay ecosystem health report card: Science, management, and governance implications. *Regional Studies in Marine Science*, v. 25, p. 100474, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.100474>.

GAMBAGORTE, C. M. Caracterização química dos agregados e sedimentos superficiais na zona de máxima turbidez no complexo estuarino de Paranaguá (CEP). *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 64-65, p. 40-47, 2011.

GARCIA, Hernan E.; GORDON, Arnold L. Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations. *Limnology and Oceanography*, v. 37, n. 6, p. 1307-1312, 1992.

GARCIA, Hernan E.; WEATHERS, Katharine W.; PAVER, Chris R.; SMOLYAR, Igor; BOYER, Timothy P.; LOCARNINI, Ricardo A.; ZWENG, Melissa M.; MISHONOV, Alexey V.; BARANOVA, Olga K.; SEIDOV, Dan; REAGAN, James R. World Ocean Atlas 2018, Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Dissolved Oxygen Saturation. Technical Editor: Alexey Mishonov. Silver Spring, MD: NOAA Atlas NESDIS 83, 2019.

GARCIA-SOTO, Carlos et al. An Overview of Ocean Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature, Ocean Heat Content, Ocean pH, Dissolved Oxygen Concentration, Arctic Sea Ice Extent, Thickness and Volume, Sea Level and Strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*, v. 8, p. 642372, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.642372>.

Hatje, V. et al., Contaminação Química. In:____; *Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos*. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 245-298.

Hatje, V. et al., Introdução. In:____; *Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos*. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 17-24.

HATJE, Vanessa; ATTISANO, Karina Kammer; SOUZA, Marcelo Friederichs Landim de; MAZZILLI, Barbara; OLIVEIRA, Joselene de; MORA, Tamires de Araújo; BURNETT, William C. Applications of radon and radium isotopes to determine submarine groundwater discharge and flushing times in Todos os Santos Bay, Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 178-179, p. 136-146, 2017.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Normais climatológicas – 1991 a 2020. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 11 dez. 2024.

KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G. T. M.; FILIPPO, A. M.; QUARESMA, V. S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(97\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(97)00028-9).

KJERFVE, Björn; DELACERDA, Luiz Drude; DIAS, Gustavo T. M. Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. In: SEELIGER, Ulrich; KJERFVE, Björn (eds.). *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Berlin: Springer-Verlag, 2001. (Ecological Studies, Vol. 144). p. 107–118.

KRAMER, Donald L. Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes*, Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, v. 18, n. 2, p. 81-92, 1987.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The Subtropical Estuarine Complex of Paranagua Bay, Brazil. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (org.). *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Berlin: Springer-Verlag, 2001. p. 129-152.

Lessa, G.C. et al., Oceanografia Física. In: Vanessa Hatje e Jailson Bittencourt de Andrade; *Baía de Todos os Santos: Aspectos oceanográficos*. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 69-120.

Lessa, G.C., M.F.L. Souza, P.O. Mafalda D.F., Jr. Gomes, C.S. Souza, C.E. P. Teixeira, J.R.L.B. Souza, and M.R. Zucchi. 2018. Variabilidade Intra-anual da oceanografia da Baía de Todos os Santos: evidências de três anos de monitoramento, in: Hatje, V., Dantas, L.M.V., Andrade, J.B. de (Eds.), Baía de Todos os Santos: avanços nos estudos de longo prazo. EdUFBA, 158–192.

LIMA GMP & LESSA GC. 2002. The freshwater discharge in Todos os Santos Bay and its significance to the general water circulation. *Revista Pesquisas*. Porto Alegre (RS), 28: 85–98.

MARTA-ALMEIDA, M.; LESSA, G. C.; AGUIAR, A. L. et al. Realistic modelling of shelf-estuary regions. *Ocean Dynamics*, v. 69, p. 1311–1331, 2019. DOI: 10.1007/s10236-019-01304-z.

OLIVEIRA, Wederson P.; LESSA, Guilherme C. Suspended macro-aggregates of a tropical estuary in Northeast Brazil: composition and settling velocities. *Geo-Marine Letters*, v. 40, p. 821–828, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00582-2>

PAERL, Hans; VALDES, Lexia M.; PEIERLS, Benjamin L.; ADOLF, Jason; HARDING Jr., Lawrence W. Anthropogenic and climate influences on the eutrophication of large estuarine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, v. 51, n. 1, p. 448-462, jan. 2006. DOI: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0448.

PEREIRA, F. B. P.; BASTOS, A. T. C. C.; ESCHRIQUE, S. A.; GONÇALVES, J. L.; BRAGA, E. S. Oxigênio dissolvido e silicato como indicadores de alterações em sistemas costeiros – caso do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP). In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, Anais. Rio Grande – RS, 2010.

RABALAIS, Nancy N.; TURNER, R. Eugene. Gulf of Mexico Hypoxia: Past, Present, and Future. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 2019.

RIBEIRO, Cesar H. A.; KJERFVE, Björn. Anthropogenic influence on the water quality in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 3, p. 13-19, 2002. DOI: 10.1007/s10113-001-0037-5.

ROTH, Florian; LESSA, Guilherme C.; WILD, Christian; KIKUCHI, Rodrigo K. P.; NAUMANN, Maximilian S. Impacts of a high-discharge submarine sewage outfall on water quality in the coastal zone of Salvador (Bahia, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, v. 106, p. 43-48, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.048>.

SANTANA, Rafael; LESSA, Guilherme C.; HASKINS, John; WASSON, Kerstin. Continuous monitoring reveals drivers of dissolved oxygen variability in a small California estuary. *Estuaries and Coasts*, v. 40, n. 4, p. 1023-1037, 2017.

SANTOS SÁ, Ana Karoline Duarte dos; CUTRIM, Marco Valério Jansen; FEITOSA, Fernando Antônio do Nascimento; FLORES-MONTES, Manuel de Jesus; CAVALCANTI, Lisana Furtado; COSTA, Denise dos Santos; CRUZ, Quedyane Silva da. Multiple stressors influencing the general eutrophication status of transitional waters of the Brazilian tropical coast: An approach utilizing the pressure, state, and response (PSR) framework. *Journal of Sea Research*, v. 189, 2022. DOI: 10.1016/j.seares.2022.102282.

SCHMIDTKO, Sunke; STRAMMA, Lothar; VISBECK, Martin. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, v. 542, n. 7641, p. 335–339, 2017. DOI: 10.1038/nature21399

SOUZA, B. R. S. Tendências de variação de longo prazo da temperatura da água na Baía de Todos os Santos. 2022. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

VAQUER-SUNYER, Raquel; DUARTE, Carlos M. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 40, p. 15452–15457, 2008. DOI: 10.1073/pnas.0803833105.

ZHENG, Q.; ZHAO, H.; SHI, Y.; DUAN, M. Distribution characteristics of dissolved oxygen in spring in the northern coastal Beibu Gulf, a typical subtropical bay. *Water*, v. 15, n. 970, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15050970>.

ZHOU, F.; LU, X.; CHEN, F.; ZHU, Q.; MENG, Y.; CHEN, C.; LAO, Q.; ZHANG, S. Spatial-monthly variations and influencing factors of dissolved oxygen in surface water of Zhanjiang Bay, China. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 8, n. 6, p. 403, 2020. <https://doi.org/10.3390/jmse8060403>.