



FLORAÇÃO DE ALGAS NOCIVAS EM ÁGUAS COSTEIRAS DE SANTA CATARINA, BRASIL: DINÂMICA TEMPORAL E ESPACIAL

Talita Montagna^{1*}, *Alexander Christian Vibrans*¹,
*Luiz Fernando de Novaes Vianna*² & *Mathias Alberto Schramm*³.

¹ Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Rua São Paulo, 3250, CEP 89030-000, Blumenau, SC, Brasil.

² Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, Brasil.

³ Instituto Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Laboratório de Algas Nocivas e Ficotoxinas, Avenida Vereador Abrahão João Francisco, 3.899, CEP 88.307-303, Itajaí, SC, Brasil.

E-mails: tmontagna@furb.br (*autor correspondente); acv@furb.br; vianna@epagri.sc.gov.br; mathias.schramm@ifsc.edu.br.

Resumo: Para desenvolver um sistema de monitoramento e previsão de florações de algas nocivas (FAN) é importante conhecer a dinâmica da clorofila-a e sua relação com o crescimento de algas, em especial das produtoras de toxinas. O objetivo deste estudo foi detectar padrões da dinâmica temporal e espacial de espécies toxigênicas de fitoplâncton entre os anos de 2007 e 2009 no litoral centro-norte de Santa Catarina, Brasil, onde ocorrem atividades de maricultura. Foram utilizados dados de densidade celular de fitoplâncton total, de *Dinophysis* spp., de *Pseudo-nitzschia* spp. e concentração de clorofila-a, todos coletados *in situ*. Os pontos de monitoramento foram agrupados conforme as condições oceanográficas em zonas costeiras expostas e baía. Constatamos que a predominância da FAN de *Pseudo-nitzschia* spp. ocorre no verão e a de *Dinophysis* spp. no inverno. As FANs de *Dinophysis* spp. foram mais intensas em zonas costeiras expostas e as de *Pseudo-nitzschia* spp. nas baías. As FANs de *Dinophysis* spp. apresentaram níveis inseguros de consumo de moluscos em baixa densidade celular. Não foi encontrada relação significativa entre concentração de clorofila-a e as demais densidades celulares de algas nocivas e fitoplâncton total. Deste modo, a concentração de clorofila-a sozinha não pode ser utilizada como indicador para a ocorrência de FANs. Sendo assim, os padrões observados na floração destas algas nocivas sugerem que as variáveis ambientais que determinam suas ocorrências sejam controladas espaço-temporalmente, e possivelmente fornecem um caminho para monitorá-las diante da baixa eficácia da clorofila-a como preditora.

Palavra-chave: Área costeira; Clorofila-a; Fitoplâncton; Maricultura; Molusco bivalve.

HARMFUL ALGAL BLOOMS IN COASTAL WATERS OF SANTA CATARINA, BRAZIL: TEMPORAL AND SPATIAL DYNAMICS: Understanding the dynamics of chlorophyll-a and its relationship with algae growth, especially toxin-producing ones, is important to develop a monitoring and prediction system for harmful algal blooms (HABs). The objective of this study was to describe temporal and spatial patterns of toxigenic phytoplankton species between 2007 and 2009 on the central-northern coast of Santa Catarina, Brazil, where mariculture activities occur. *In situ* data of total phytoplankton cell density, *Dinophysis* spp.,

Pseudo-nitzschia spp., and chlorophyll-a concentration were used. Monitoring points were grouped into open sea and bay areas based on oceanographic conditions. The study found that *Pseudo-nitzschia* spp. blooms were predominant in the summer, while *Dinophysis* spp. blooms occurred in the winter. *Dinophysis* spp. blooms were more intense in the open sea, whereas *Pseudo-nitzschia* spp. blooms were more common in the bay areas. *Dinophysis* spp. blooms reached unsafe levels for mollusk consumption at low cell densities. No significant relationship was found between chlorophyll-a concentration and the densities of other harmful algae and total phytoplankton cell density. Therefore, the patterns observed in the blooms of these harmful algae suggest that the environmental variables that determine their occurrence are controlled spatiotemporally, and possibly provide a way to monitor them given the low effectiveness of chlorophyll-a as a predictor.

Keywords: Coastal area; Chlorophyll-a; Phytoplankton; Mariculture; Bivalve mollusk.

INTRODUÇÃO

As florações de algas nocivas (FAN) são caracterizadas por um intenso crescimento populacional de microalgas em um curto período estimulado por condições favoráveis, resultando em densidades celulares elevadas (Schramm & Proença 2005). Estes grandes aumentos da biomassa de microalgas ocorrem naturalmente associados a variações ambientais, principalmente sazonais, no regime de luz solar, disponibilidade de nutrientes e condições hidrodinâmicas, que modificam a estabilidade da coluna de água e a profundidade da camada de mistura (Solé *et al.* 2005).

O termo FAN refere-se tanto às espécies de microalgas produtoras de toxinas prejudiciais à saúde humana (*e.g.*, *Alexandrium tamarense*, *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp.) quanto de espécies que não são diretamente prejudiciais (*e.g.*, *Noctiluca scintillans*, *Trichodesmium erythraeum*). As diretamente prejudiciais produzem as toxinas do grupo Saxitoxina e seus análogos, causadoras da síndrome paralisante (*Paralytic Shellfish Poisoning* – PSP); toxinas do grupo do ácido okadáico e dinophysistoxinas, causadoras da síndrome diarreica (*Diarrhetic Shellfish Poisoning* – DSP); e as toxinas do grupo do ácido domóico, causadoras da síndrome amnésica (*Amnesic Shellfish Poisoning* – ASP), podendo contaminar diferentes organismos que se alimentam do fitoplâncton, em especial filtradores, como, por exemplo, moluscos bivalves. As demais espécies podem causar desequilíbrios ecológicos pela alta concentração de biomassa fitoplanctônica, que pode diminuir a concentração de oxigênio na coluna d'água e afetar a biota local (Anderson *et al.* 2002). Além disso, estas algas podem degradar o

habitat ao promover o sombreamento do meio e prejudicar, inclusive, a balneabilidade de praias (Castro & Moser 2012).

Mudanças na abundância e composição do fitoplâncton são causadas por fatores bióticos (*e.g.*, predação e competição) e abióticos (*e.g.*, temperatura e salinidade) (Widdicombe *et al.* 2010). Em regiões costeiras, a dinâmica do fitoplâncton está intimamente associada à interação com o ambiente terrestre devido à importância da entrada de nutrientes para os processos de eutrofização e das variações hidrológicas e fluviais. Por outro lado, o fitoplâncton do oceano oligotrófico mais profundo é controlado principalmente pela quantidade de nutrientes (Moisan *et al.* 2002). Dessa forma, os ambientes aquáticos costeiros são naturalmente mais favoráveis ao crescimento do fitoplâncton, formando a base da cadeia trófica e sustentando inúmeras espécies, incluindo a produção de organismos aquáticos para fins de alimentação, como moluscos bivalves (Piola *et al.* 2004).

O fitoplâncton participa da alimentação dos moluscos bivalves. No entanto, os moluscos bivalves podem assimilar não apenas o fitoplâncton, mas também pesticidas, metais pesados, biotoxinas e microrganismos patogênicos (Garbossa *et al.* 2014). Moluscos que apresentam acúmulo desses agentes podem causar intoxicações e danos a diversos grupos de organismos que se alimentam dos moluscos, inclusive ao homem (Suplicy 2018). Por este motivo, eventos de floração de algas nocivas podem levar à interdição da comercialização das espécies cultivadas expostas aos agentes nocivos e, assim, ocasionar também impactos econômicos através da cadeia produtiva destes alimentos (Freire *et al.* 2017).

O estado de Santa Catarina é responsável por 97,3% da produção brasileira de moluscos bivalves, como ostras, mexilhões e vieiras (Souza & Santos 2021). A maioria das áreas de cultivo está localizada em baías ou próximo a elas, sendo influenciadas por águas estuarinas e rios (Rupp 2020). Em especial, estes sistemas podem receber nutrientes de fontes externas, às vezes ocasionando eventos de FAN, como de impactos antropogênicos locais (*e.g.*, sistema de esgotos) e eventos de mesoescala, classificados como sistemas que possuem extensão entre 2 e 2000 km (Orlanski, 1975) (*e.g.*, as circulações de brisa e os sistemas convectivos de mesoescala (SCMs)). Estudos mostram que a eutrofização e suas consequências podem impactar 85% dos serviços ecossistêmicos da região (Fonseca *et al.* 2021).

O Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB; Brasil 2012), executado em Santa Catarina pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC), realiza vigilância ativa em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Dentre os indicadores utilizados para o monitoramento de algas nocivas, a concentração de clorofila-a (CLA) é a mais aplicada para estimar a biomassa fitoplanctônica e a produção primária marinha (Freire *et al.* 2017). Neste contexto, é importante conhecer a dinâmica da clorofila-a e sua relação com o crescimento de algas nocivas. Uma das fontes de incerteza é que nem todos os aumentos de concentrações de clorofila-a são seguidos de uma FAN, de forma que a relação entre os dois fenômenos ainda não está suficientemente elucidada (Schmitt & Proença 2010).

O presente estudo visa: (1) descrever a dinâmica temporal e espacial da concentração de clorofila-a (mg/m^3), densidades celulares de fitoplâncton ($\text{cél}/\text{L}$) e de algas produtoras de toxinas ($\text{cél}/\text{L}$) no litoral catarinense entre 2007 e 2009; (2) avaliar a relação entre as densidades celulares de *Dinophysis* spp., *Pseudo-nitzschia* spp. e das FANs com níveis inseguros de toxinas em moluscos; e, (3) avaliar a relação entre concentração de clorofila-a (mg/m^3) com as densidades celulares de fitoplâncton (FT) ($\text{cél}/\text{L}$), de *Dinophysis* spp. (DN) ($\text{cél}/\text{L}$) e de *Pseudo-nitzschia* spp. (PN) ($\text{cél}/\text{L}$).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende a região costeira centro-norte de Santa Catarina, desde a baía da Babitonga, no litoral Norte do estado, até a Ponta do Papagaio, no município de Palhoça. Esta área é relevante principalmente pelas fazendas de moluscos bivalves localizadas em profundidades médias variando de 1,9 a 8,8 m (Souza *et al.* 2017). Nas principais áreas de maricultura desta região se encontram 30 pontos de monitoramento *in situ* do controle higiênico-sanitário de moluscos bivalves de Santa Catarina (Figura 1).

O clima da região é caracterizado como subtropical úmido (mesotérmico) e com verões quentes. As temperaturas médias do mês mais frio são de 8°C no sul do estado e 16°C no Norte. As temperaturas médias das máximas anuais variam

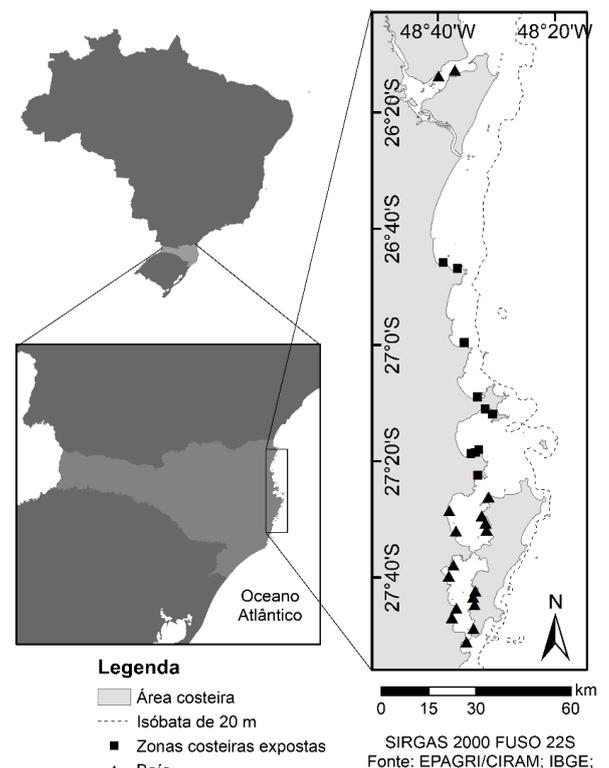


Figura 1. Pontos de monitoramento do controle higiênico-sanitário de moluscos bivalves do estado de Santa Catarina, agrupados em ambiente de zonas costeiras expostas e baía.

Figure 1. Monitoring points for the hygienic-sanitary control of bivalve molluscs in the state of Santa Catarina, grouped in exposed coastal zones and bay environments.

de 25°C a 27°C ao longo de toda faixa litorânea. A média anual de chuva é de 1300 mm no litoral sul e de 2100 mm no litoral norte (Pandolfo *et al.* 2002).

Nesta região, as correntes, marés e ondas sofrem influências da dinâmica dos ventos, que no verão são de nordeste e no inverno são de sul/sudeste (Freire *et al.* 2017). Sobre a plataforma continental catarinense predomina a corrente do Brasil, que transporta Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Freire *et al.* 2017). A AT é mais quente (20 °C) e com fluxo na direção sul-sudoeste e a ACAS apresenta água mais fria (6 °C a 18 °C), mas ambas fluem na mesma direção próximo à borda da plataforma (Mascarenhas Jr. & Ikeda 1994). As Águas Costeiras (AC) são uma mistura de águas provenientes do continente e águas do Atlântico Sul, e possuem salinidade média menor que 34 ppm.

Dados *in situ*

Os dados utilizados integram o banco de dados do Projeto Rede de Monitoramento de FAN em Santa Catarina e foram obtidos através da EPAGRI (Vianna *et al.* 2022). O programa de monitoramento conta com a coleta *in situ* de amostras de água de periodicidade quinzenal. Nestas análises são realizadas a identificação e contagem de microalgas nocivas (*Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp.) e análises de moluscos para detectar níveis de toxinas produzidas por algas (toxina amnésica – ASP, diarreica – DSP). As contagens e análises foram realizadas pelo Laboratório de Estudos sobre Algas Nocivas da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

Os dados foram selecionados através da disponibilidade espaço-temporal de dados síncronos das variáveis monitoradas (Figura S1); ou seja, dados coletados no mesmo dia para a maior parte dos locais monitorados, resultando na seleção entre 2007 e 2009. Os dados foram coletados ao longo do ano todo, e foram agrupados nas seguintes estações: verão (21/12 a 20/03), outono (21/03 a 20/06), inverno (21/06 a 22/09) e primavera (23/09 a 20/12). As variáveis selecionadas foram: concentração de clorofila-a (mg/m³), densidade celular de fitoplâncton total (cél/L), densidade celular de *Dinophysis* spp. (cél/L), densidade celular de *Pseudo-nitzschia* spp. (cél/L) e dados de concentração de toxinas *Diarrhetic Shellfish*

Poison – DSP e Amnesic Shellfish Poison – ASP em amostras de moluscos cultivados.

Os 30 pontos de monitoramento foram agrupados em dois ambientes marinhos: zonas costeiras expostas, com influência direta de fenômenos oceanográficos, incluindo 12 pontos; e baía, localizado em áreas com maior abrigo dos fenômenos oceanográficos, incluindo 18 pontos. Em zonas costeiras expostas foram coletadas 622 amostras de clorofila-a, 635 amostras de *Dinophysis* spp., 336 amostras de *Pseudo-nitzschia* spp., e 544 de fitoplâncton total (Tabela S1). Em ambiente de baía, foram coletadas 695 amostras de clorofila-a, 865 amostras de *Dinophysis* spp., 647 amostras de *Pseudo-nitzschia* spp., e 766 de fitoplâncton total (Tabela S2). Os dados de toxinas analisados em moluscos bivalves foram utilizados para determinar em quais datas ocorreram limites inseguros para coleta e comercialização dos moluscos cultivados e, conseqüentemente, a interdição das fazendas.

Foram utilizadas análises descritivas, visuais e testes de hipótese para descrever a dinâmica temporal ao longo das estações do ano na concentração de clorofila-a (mg/m³) e nas densidades celulares de fitoplâncton (cél/L) e de algas produtoras de toxinas (cél/L) (objetivo i). A partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, observou-se que os dados de concentração de clorofila-a não atenderam aos pressupostos de normalidade. Desta forma, realizou-se o teste não paramétrico Scheirer Ray Hare para avaliar os efeitos das estações do ano e dos ambientes marinhos na concentração de clorofila-a, e o teste post-hoc de comparações múltiplas com ajuste de Bonferroni.

Em seguida, os dados de densidades celulares de fitoplâncton, *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. foram analisados visualmente por meio de gráficos de dispersão separadamente para zonas costeiras expostas e baía. Os critérios e índices adotados e ações de monitoramento considerados no estudo estão indicados no Tabela 1. Os limites críticos estabelecidos foram de 1.000 células/L para *Dinophysis* spp. e de 100.000 células/L *Pseudo-nitzschia* spp., considerando-se valores observados maiores que estes determinados como indicadores de uma FAN. O nível inseguro é entendido como a detecção de toxinas nos moluscos acima do permitido pela

legislação. Quantificou-se o número de eventos de FAN, período, número de registros no período do evento de FAN e número de registros de nível inseguro de toxina nos moluscos.

Para análises visuais da variação da concentração de clorofila-a (mg/m^3), densidade celular de fitoplâncton total ($\text{cél}/\text{L}$), *Dinophysis* spp. ($\text{cél}/\text{L}$) e *Pseudo-nitzschia* spp. ($\text{cél}/\text{L}$), foram construídos gráficos de dispersão dos dois ambientes marinhos. Os dados foram padronizados para fins de observações comparativas. A dinâmica da concentração de clorofila-a no ambiente foi analisada a partir do comportamento desta variável nas seguintes condições de monitoramento em zonas costeiras expostas: FAN de *Dinophysis* spp. (MDNCR), nível regular e alerta de *Dinophysis* spp. (MDNRA), nível inseguro DSP (MDSPIN), nível seguro (MDSPSE), FAN de *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNCR), nível regular e alerta de *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNRA), nível inseguro ASP (MADPIN), nível seguro (MASPSE); e as mesmas condições de monitoramento em baía: FAN de *Dinophysis* spp. (BDNCR), nível regular e alerta de *Dinophysis* spp. (BDNRA), nível inseguro DSP (BDSPIN), nível seguro (BDSPSE), FAN de *Pseudo-nitzschia* spp.

(BPNCR), nível regular e alerta de *Pseudo-nitzschia* spp. (BPNRA), nível inseguro ASP (BADPIN), nível seguro (BASPSE). A partir do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, observou-se que os dados de concentração de clorofila-a não atenderam aos pressupostos de normalidade. Desta forma, realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e o teste post-hoc de comparações múltiplas de Dunn com ajuste de Bonferroni para testar a diferença entre os grupos.

Para avaliar a relação entre as densidades celulares de *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. e a concentração de toxinas em moluscos acima do permitido, analisou-se a composição do fitoplâncton total por densidade celular de *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. Esta análise foi embasada nos resultados de Schramm *et al.* (2010), que identificaram quantidades de Ácido Domóico acima de $20 \text{ mg}/\text{kg}$ quando a densidade celular relativa de *Pseudo-nitzschia* spp. estiver acima de 1 milhão $\text{cél}/\text{l}$ e compor pelo menos 75% do fitoplâncton total. Os dados de toxinas nos moluscos foram utilizados para indicar as datas de interdição para a coleta e comercialização dos moluscos cultivados.

Tabela 1. Critérios e índices adotados neste estudo para o monitoramento de algas e de toxinas nos moluscos cultivados. Adaptado de Mafra-Junior, Fernandes e Proença (2006)

Table 1. Criteria and indices adopted in this study for monitoring algae and toxins in cultivated molluscs. Adapted from Mafra-Junior, Fernandes and Proença (2006)

Nível de monitoramento	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	<i>Dinophysis acuminata</i>	Ações
Regular	<50.000 $\text{cél}/\text{l}$	ausência	Amostragens semanais de contagem de algas nocivas e análise de toxinas nos moluscos
Alerta	50.000 $\text{cél}/\text{l}$	presença	Intensificação da contagem de algas nocivas
Limite crítico ou floração	100.000 $\text{cél}/\text{l}$	1.000 $\text{cél}/\text{l}$	Intensificação das análises de toxinas nos moluscos
Inseguro	20 mg de ácido domóico/g de carne de molusco	2 mg ácido ocadáico/g de carne de molusco	Interdição e intensificação do monitoramento
Reabertura	3 resultados negativos consecutivos	2 resultados de ensaios negativos	Acompanhar a comercialização recente dos moluscos

Para analisar a relação da concentração de clorofila-a (mg/m^3) com as densidades celulares, as análises foram realizadas por regressão linear com os dados em quatro intervalos de tempo. O intuito da análise com estes intervalos foi detectar possível relação de clorofila-a antes da ocorrência das densidades celulares de *Dinophysis* spp. (cél/L), *Pseudo-nitzschia* spp. (cél/L) e fitoplâncton total (cél/L). Os intervalos considerados foram: concentração de clorofila-a e densidades celulares do mesmo dia, clorofila-a em relação a densidades celulares de 1 a 5 dias depois, clorofila-a em relação a densidades celulares 6 a 10 dias depois e clorofila-a em relação a densidades celulares 11 a 15 dias depois. Todas as análises foram realizadas em ambiente R (R Core Team 2020).

RESULTADOS

Dinâmica temporal da Clorofila-a e das densidades celulares

Foram observadas diferenças nas concentrações de clorofila-a entre as estações do ano ($H = 24.703$; $p < 0,001$). Em zonas costeiras expostas, as concentrações de clorofila-a do outono foram

menores que as concentrações do inverno e da primavera, variando entre $0,16 \text{ mg}/\text{m}^3$ a $39,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($3,89 \pm 3,80$). Em média, as concentrações foram maiores na estação de inverno e de primavera, com valores aproximadamente $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ maiores do que as concentrações dos outros períodos (Figura 2 e Tabela S3). No ambiente de baía, as concentrações de clorofila-a do inverno foram menores que as da primavera, variando de $0,40 \text{ mg}/\text{m}^3$ a $28,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($5,50 \pm 3,35 \text{ mg}/\text{m}^3$). As maiores médias de concentração de clorofila-a foram observadas na primavera e verão, com valores aproximadamente $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ maiores do que nas outras estações (Figura 2 e Tabela S4). Os ambientes de baía apresentaram concentrações de clorofila-a maiores na primavera, verão e outono ($H = 163,928$; $p < 0,001$) do que as zonas costeiras expostas nas mesmas estações, com valores, em média, $1,58 \text{ mg}/\text{m}^3$ maiores (Tabela S5).

Foram observados dez eventos de FAN de *Dinophysis* spp. em zonas costeiras expostas no período estudado, sendo cinco destes eventos coincidentes com a identificação de níveis inseguros de toxinas nos moluscos cultivados (Figura 3a). Desses eventos, o de maior duração ocorreu no inverno de 2007 ao longo de 12 semanas, registrado em 17 amostragens

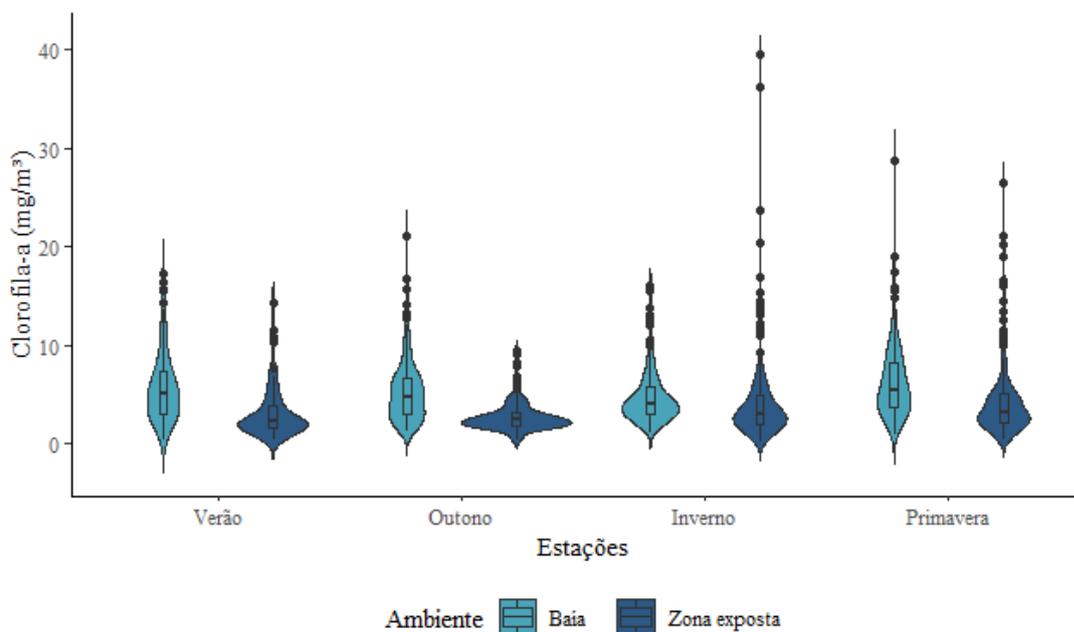


Figura 2. Dinâmica temporal de clorofila-a (mg/m^3) entre os anos de 2007 e 2009 de áreas costeiras de zonas expostas e de ambiente de baía.

Figure 2. Temporal dynamics of chlorophyll-a (mg/m^3) between the years 2007 and 2009 in coastal areas of exposed zones and bay environment.

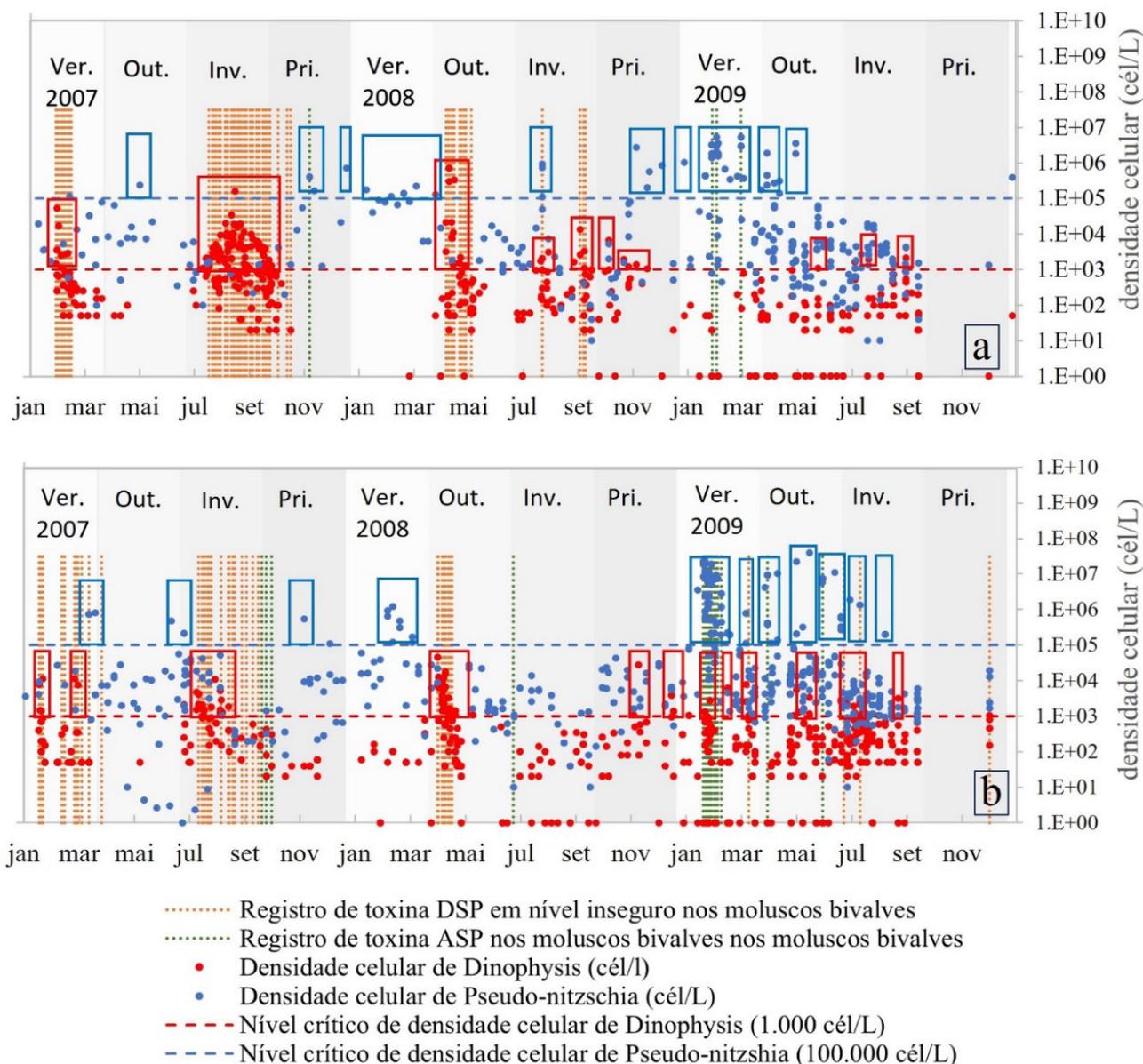


Figura 3. Densidade celular de *Dinophysis* spp. (cél/L) e *Pseudo-nitzschia* spp. (cél/L) do período de 2007 a 2009, em (a) zonas costeiras expostas e (b) baía.

Figure 3. Cell density of *Dinophysis* spp. (cells/L) and *Pseudo-nitzschia* spp. (cells/L) from the period of 2007 to 2009, in (a) exposed coastal zones and (b) bay.

independentes ao longo deste período. Neste ambiente também foram registrados níveis inseguros de toxina DSP em moluscos bivalves em períodos fora do limite crítico de *Dinophysis* spp. No total, foram 60 registros de nível inseguro de DSP sem registros de densidades elevadas de *Dinophysis* spp. Foram contabilizados dez eventos de florações de *Pseudo-nitzschia* spp., sendo quatro deles com nível inseguro de toxinas nos moluscos cultivados (Figura 3a).

De 130 amostras da FAN de *Dinophysis* spp. (Figura S2), ou seja, que se apresentaram acima

do limite crítico, 89 estavam em nível inseguro. A predominância de nível inseguro foi no inverno (72% das amostras totais). Dos 11 registros de FAN de *Dinophysis* spp. do verão, 10 deles apresentaram nível inseguro para consumo de molusco. Registraram-se 47 amostras de FAN de *Pseudo-nitzschia* spp., sendo sete delas com nível inseguro, registros na primavera e verão.

Já no ambiente de baía, foram registrados 12 eventos de FAN de *Dinophysis* (Figura 3b), ou seja, com densidade celular acima do limite crítico, sete destes eventos coincidindo com o registro de

nível inseguro em moluscos cultivados na área. Registraram-se 11 eventos de floração de *Pseudo-nitzschia* spp. (Figura 3b), sendo o mais duradouro durante 35 dias no verão de 2009. Os registros de níveis inseguros nos moluscos cultivados foram registrados seis dias após o primeiro registro da FAN de *Pseudo-nitzschia* spp. até nove dias antes do último registro da FAN de *Pseudo-nitzschia* spp.

Foram observadas 41 florações de *Dinophysis* spp. (Figura S3) e 14 destes eventos coincidiram com registros de níveis inseguros nos moluscos cultivados, principalmente no outono e inverno. Ao todo, foram 78 amostras com registros de nível

inseguro de DSP, sendo 31 delas com registro de densidade abaixo do limite crítico. Registraram-se 160 amostras de FAN de *Pseudo-nitzschia* spp., sendo 17 de nível inseguro. O verão apresentou 82% das amostras de FAN total da baía, e 94% dos registros de nível inseguro. Casos isolados de FANs foram observadas em estações do ano diferentes nos dois ambientes, e não foram detectados níveis inseguros em todas as FANs.

As maiores concentrações de clorofila-a em zonas costeiras expostas foram registradas nos invernos de 2007 e 2009. No inverno de 2007, observou-se uma FAN de *Dinophysis* spp. com

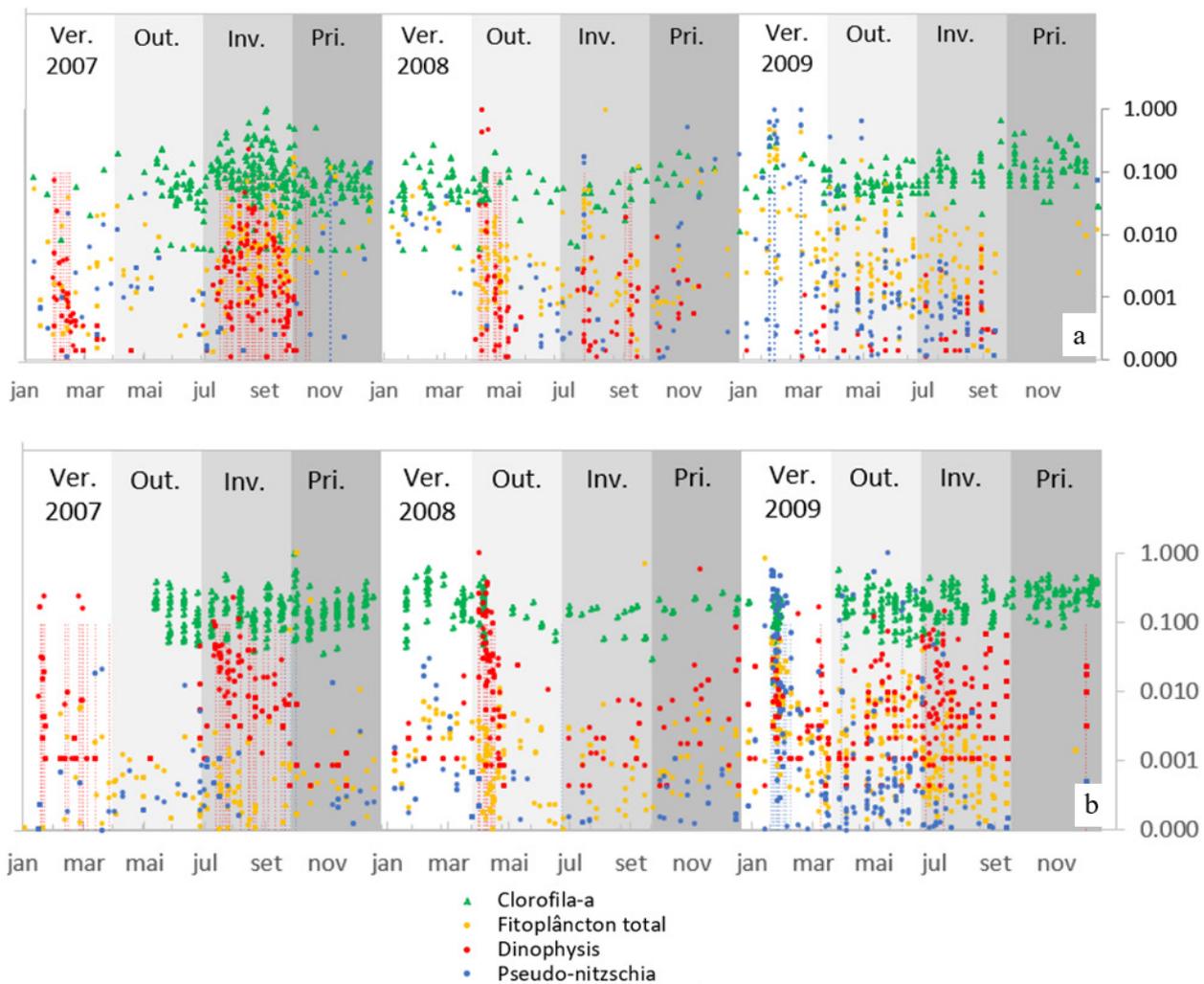


Figura 4. Dados padronizados de concentração de clorofila-a, fitoplâncton total, *Dinophysis* spp., *Pseudo-nitzschia* spp. em (a) zonas costeiras expostas e (b) baía, de 2007 a 2009, de cultivos de moluscos bivalves do estado de Santa Catarina. As linhas pontilhadas na vertical representam os registros de níveis inseguros por DSP (vermelho) e ASP (azul).

Figure 4. Standardized data of chlorophyll-a concentration, total phytoplankton, *Dinophysis* spp., *Pseudo-nitzschia* spp. in (a) exposed coastal zones and (b) bay, from 2007 to 2009, from bivalve mollusk cultures in the state of Santa Catarina. The dashed lines vertically represent records of unsafe levels for DSP (red) and ASP (blue).

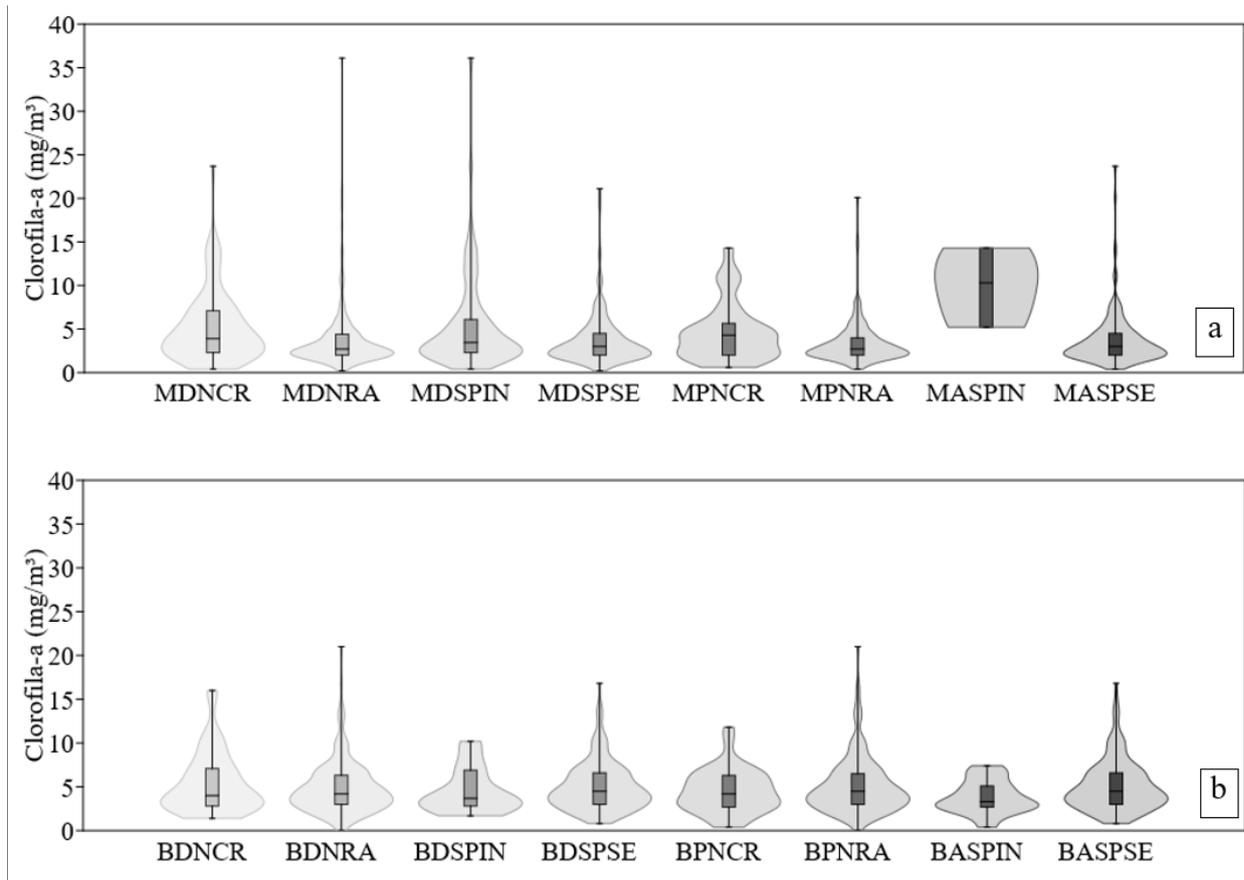


Figura 5. Densidade dos dados de concentração de clorofila-a para as condições de monitoramento em a) zonas costeiras expostas e em b) baías nas áreas de cultivo de moluscos bivalves do estado de Santa Catarina para os anos de 2007 a 2009. FAN de *Dinophysis* spp. (MDNCR), nível regular e alerta de *Dinophysis* spp. (MDNRA), nível inseguro DSP (MDSPIN), nível seguro (MDSPSE), FAN de *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNCR), nível regular e alerta de *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNRA), nível inseguro ASP (MADPIN), nível seguro (MASPSE); e as mesmas condições de monitoramento em baía: FAN de *Dinophysis* spp. (BDNCR), nível regular e alerta de *Dinophysis* spp. (BDNRA), nível inseguro DSP (BDSPIN), nível seguro (BDSPSE), FAN de *Pseudo-nitzschia* spp. (BPNCR), nível regular e alerta de *Pseudo-nitzschia* spp. (BPNRA), nível inseguro ASP (BADPIN), nível seguro (BASPSE).

Figure 5. Density of chlorophyll-a concentration data for monitoring conditions in a) exposed coastal zones and b) bays in the areas of cultivation of bivalve mollusks in the state of Santa Catarina for the years 2007 to 2009. HAB of *Dinophysis* spp. (MDNCR), regular level and alert level of *Dinophysis* spp. (MDNRA), unsafe level DSP (MDSPIN), safe level DSP (MDSPSE), HAB of *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNCR), regular level and alert level of *Pseudo-nitzschia* spp. (MPNRA), unsafe level ASP (MADPIN), safe level (MASPSE); and the same monitoring conditions in the bay: HAB of *Dinophysis* spp. (BDNCR), regular level and alert level of *Dinophysis* spp. (BDNRA), unsafe level DSP (BDSPIN), safe level (BDSPSE), HAB of *Pseudo-nitzschia* spp. (BPNCR), regular level and alert level of *Pseudo-nitzschia* spp. (BPNRA), unsafe level ASP (BADPIN), safe level (BASPSE).

níveis inseguros de DSP. No inverno de 2009, não houve registro de FAN intensa apesar do destaque de elevada concentração de clorofila-a (Figura 4a). As maiores concentrações de clorofila-a do ambiente de baía foram registrados na primavera de 2007 e verão de 2009. Na primavera de 2007 não se registraram FANs. No verão de 2009, destacou-se uma FAN de *Pseudo-nitzschia* spp., a mais intensa do período analisado (Figura 4b).

Padrões de Clorofila-a em Diferentes Condições de Monitoramento

A concentração máxima de clorofila-a ($36,11 \text{ mg/m}^3$) foi registrada em ambiente de zonas costeiras expostas com densidade celular de *Dinophysis* spp. sem alerta, no entanto, com níveis inseguros de DSP em moluscos. Neste ambiente, as concentrações de clorofila-a em eventos de FAN de

Dinophysis spp. foram maiores do que em níveis sem alerta de *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. ($p < 0,05$), apresentando concentrações, em média, $1,70 \text{ mg/m}^3$ maiores. As concentrações de clorofila-a dos níveis inseguros de DSP e ASP da área exposta não diferiram das concentrações de todos os níveis de monitoramento do mesmo ambiente e nem do ambiente de baía ($p > 0,05$; Figura 5a; Tabela S6).

Para o ambiente de baía, por sua vez, a concentração máxima de clorofila-a ($21,00 \text{ mg/m}^3$) foi registrada em condição de monitoramento de densidade celular de *Pseudo-nitzschia* spp. sem alerta, mas com registro de níveis inseguros da toxina ASP em moluscos. Neste ambiente, as concentrações

de clorofila-a não diferiram significativamente entre os níveis de monitoramento, incluindo entre amostras em níveis inseguros de DSP e ASP e amostras sem níveis inseguros das toxinas ($p > 0,05$) (Figura 5b; Tabela S6).

Relação das algas nocivas e as toxinas

No ambiente de zonas costeiras expostas, as amostras que apresentaram fitoplâncton composto de mais de 75% de *Pseudo-nitzschia* spp. não coincidiram com registros de níveis inseguros de toxinas em moluscos cultivados (Figura 6a). Ainda em zonas costeiras expostas, a maioria dos registros com composição de fitoplâncton com pelo menos 5% de *Dinophysis* spp. coincidiu

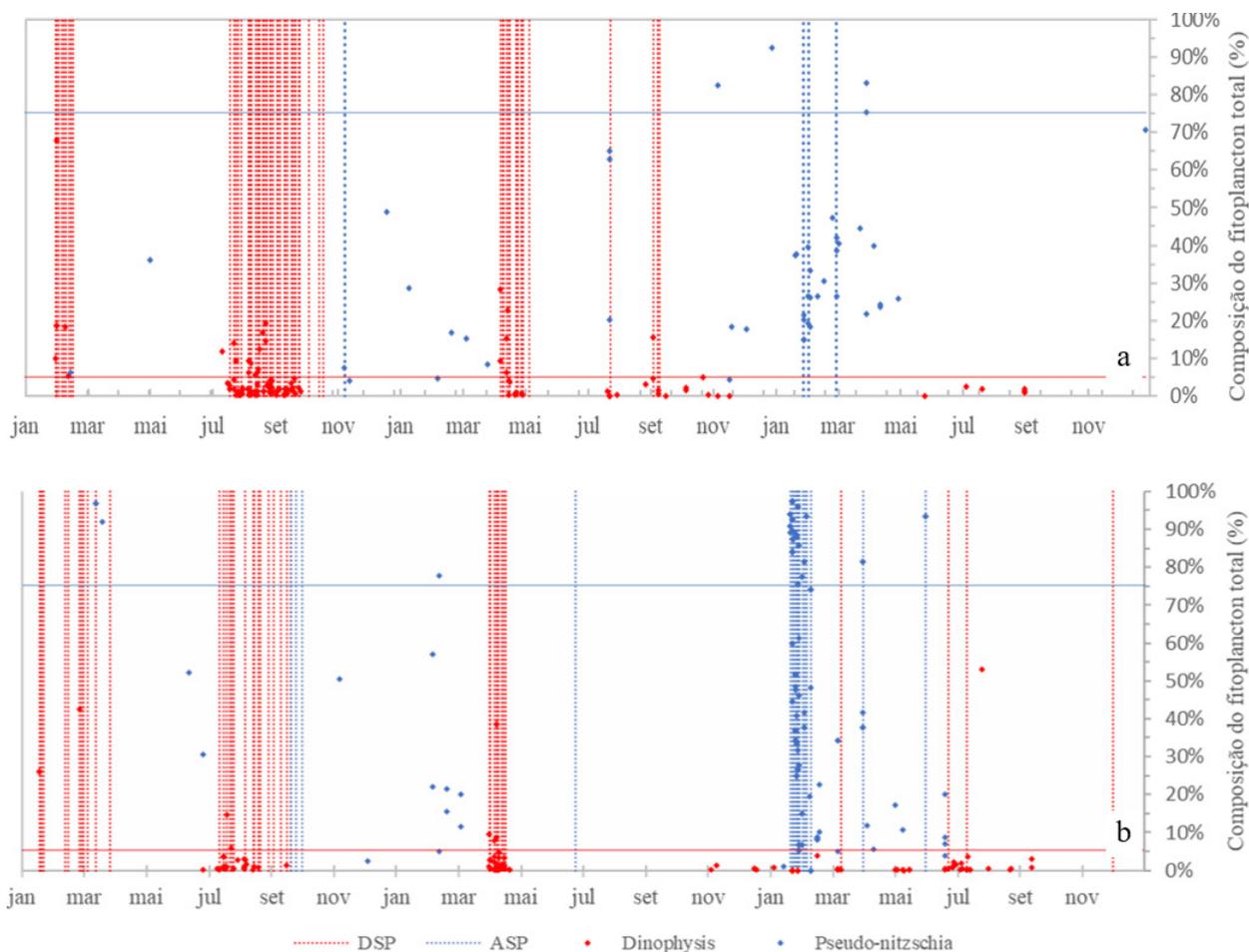


Figura 6. Composição do fitoplâncton por *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. em ambiente de (a) zonas costeiras expostas e (b) baía. As linhas pontilhadas na vertical representam registros de DSP e ASP em níveis inseguros. As linhas contínuas na horizontal representam 5% de composição de *Dinophysis* spp. (vermelho) e 75% de composição por *Pseudo-nitzschia* spp. (azul).

Figure 6. Phytoplankton composition of *Dinophysis* spp. and *Pseudo-nitzschia* spp. in the environment of (a) exposed coastal zones and (b) bay. The dotted lines vertically represent records of DSP and ASP at unsafe levels. The solid lines horizontally represent 5% composition of *Dinophysis* spp. (red) and 75% composition of *Pseudo-nitzschia* spp. (blue).

com níveis inseguros de toxinas nos moluscos amostrados. No ambiente de baía, as amostras que o fitoplâncton foi composto por mais do que 75% de *Pseudo-nitzschia* spp. coincidiram com níveis inseguros de toxinas nos moluscos. Ainda nas amostras de baía, quase todas as amostras com composição com pelo menos 5% de *Dinophysis* spp. coincidiram com níveis inseguros de toxinas nos moluscos (Figura 6b).

Relação entre Clorofila-a e as densidades celulares

Em geral, a concentração de clorofila-a apresentou uma relação fraca com as densidades de *Dinophysis* spp., *Pseudo-nitzschia* spp. e fitoplâncton total ($R^2 < 0,1$; Tabela S7; Figura S4). Apesar da densidade celular de *Dinophysis* spp. estar relacionada positivamente com as concentrações de clorofila-a do mesmo dia ($p = 0.002$; Figura 7a), de 1 a 5

dias antecedentes ($p = 0,001$; Figura 7b) e de 6 a 10 dias antecedentes ($p < 0.001$; Figura 7c), o baixo coeficiente de determinação indica baixa capacidade de uma variável ser utilizada para prever a outra ($R^2 < 0.07$). O mesmo acontece para a densidade celular de *Pseudo-nitzschia* spp., que mostrou relação significativa ($p < 0.001$) com as concentrações de clorofila-a de 1 a 5 dias de antecedência (Figura 7d). Neste caso, as altas concentrações de clorofila-a são associadas à baixa densidade celular de *Pseudo-nitzschia* spp, mas também com fraca relação ($R^2 = 0.11$).

As densidades de fitoplâncton total apresentaram relação significativa com os dados de concentração de clorofila-a 1 a 5 dias e com os dados de concentração de clorofila-a de 6 a 10 dias de antecedência ($p < 0.05$), mas não existe um padrão consistente ou uma tendência evidente nas relações entre as variáveis.

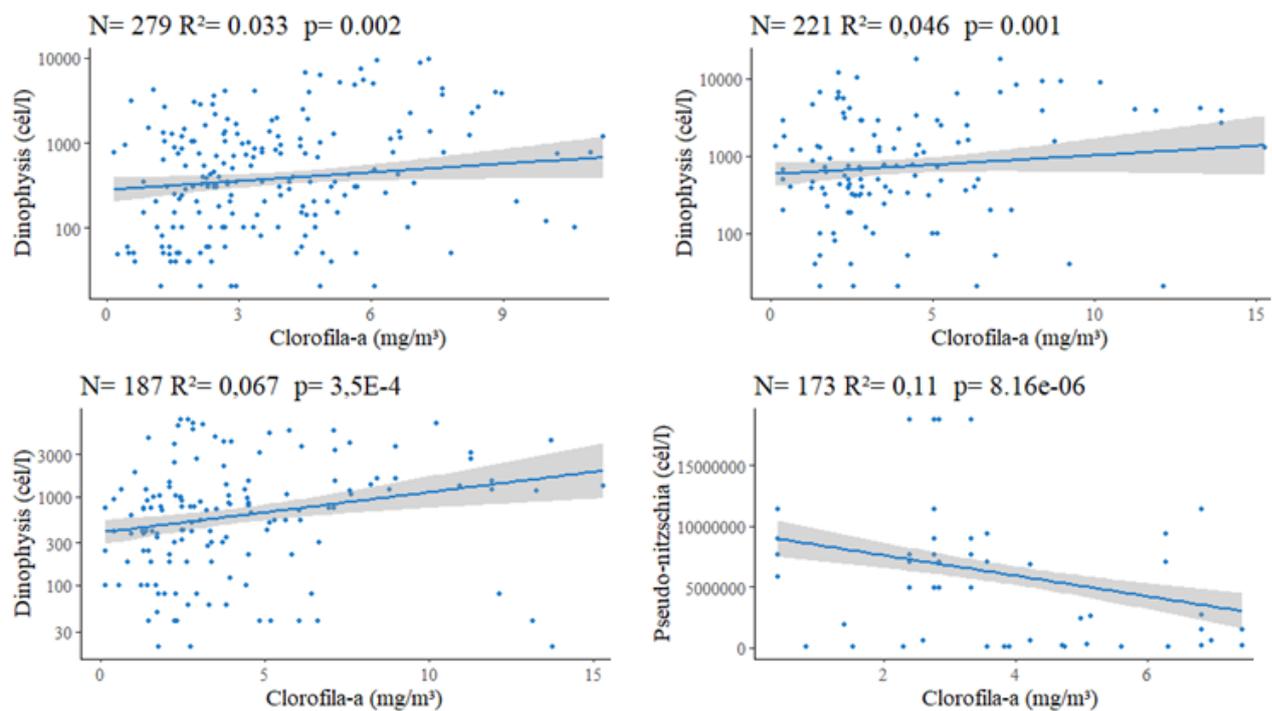


Figura 7. Regressão linear entre os pares de dados de clorofila-a, *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp.; a) clorofila-a e *Dinophysis* spp. de todos os pontos observados no mesmo dia; b) de clorofila-a e *Dinophysis* spp. de todos os pontos observados com atraso da clorofila-a de 1 a 5 dias; c) de clorofila-a e *Dinophysis* spp. de todos os pontos observados com atraso da clorofila-a de 6 a 10 dias; e d) de clorofila-a e *Pseudo-nitzschia* spp. de todos os pontos observados com atraso da clorofila-a de 1 a 5 dias.

Figure 7. Linear regression between pairs of data for chlorophyll-a, *Dinophysis* spp., and *Pseudo-nitzschia* spp.; a) chlorophyll-a and *Dinophysis* spp. for all points observed on the same day; b) chlorophyll-a and *Dinophysis* spp. for all points observed with a chlorophyll-a delay of 1 to 5 days; c) chlorophyll-a and *Dinophysis* spp. for all points observed with a chlorophyll-a delay of 6 to 10 days; and d) chlorophyll-a and *Pseudo-nitzschia* spp. for all points observed with a chlorophyll-a delay of 1 to 5 days.

DISCUSSÃO

Os ambientes de zona costeira exposta e baía apresentaram concentrações diferentes de clorofila-a, com maiores concentrações em ambientes de baía. Essa diferença pode ser associada às características dos ambientes que determinam a dinâmica do fitoplâncton, em especial características relacionadas a nutrientes e transporte destes organismos (Tang *et al.* 2003). O ambiente de baía da Ilha de Santa Catarina situa-se na região central e mais populosa do estado (Cabral *et al.* 2020), podendo receber alta contribuição de nutrientes de fontes antrópicas. Além disso, essas duas baías recebem água doce de diversos rios que compreendem uma área total de contribuição de 1875 km². Na baía, também ocorre maior tempo de residência da água (Brandini *et al.* 2006), o que pode aumentar os níveis de eutrofização. Em áreas sujeitas a ressurgência costeira associada ao transporte de Ekman forçado pelos ventos do Norte, como a área de estudo, pode ocorrer a intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na zona costeira, rica em nutrientes, principalmente no final da primavera e no verão. Outra ocorrência de aporte de nutrientes nas baías da costa catarinense é a Água da Pluma do Prata, influenciada pelas Águas da Plataforma Subantártica, que atinge a costa de SC durante o inverno forçado pelos ventos do Sul (Bordin *et al.* 2019). Portanto, o conjunto destes fatores promove condições favoráveis para a produtividade primária e, desta forma, altas concentrações de clorofila-a no ambiente de baía.

A concentração de clorofila-a como indicadora da biomassa fitoplanctônica não mostrou correlação com as densidades de *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de no fitoplâncton ocorrerem diversos pigmentos além da clorofila-a, que variam entre verde, amarelo, vermelho e marrom de acordo com as espécies presentes (Kirk 1994). Os dois táxons analisados neste trabalho não foram relacionados com a concentração de clorofila-a, fato também registrado por outros autores (Schmitt & Proença 2010), e, portanto, suas densidades elevadas podem ter diminuído a relação do fitoplâncton total com a concentração de clorofila-a. Por esta razão, a concentração de clorofila-a não deve ser utilizada como o único indicador para a ocorrência de FAN.

Destaca-se a importância de reconhecer a fraqueza das relações, bem como as nuances na interação entre a clorofila-a e as populações de fitoplâncton, o que é fundamental para o entendimento dos ecossistemas aquáticos. Também houve um descompasso entre o fitoplâncton total e a ocorrência de FANs de *Dinophysis* spp. ou *Pseudo-nitzschia* spp. Isso se deve ao fato do fitoplâncton ter sido composto por diversas espécies e muitas vezes *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. estiveram em baixas abundâncias relativas.

Em termos gerais, as florações de *Dinophysis* spp. ocorreram predominantemente no outono e inverno e as de *Pseudo-nitzschia* spp. ocorreram predominantemente na primavera e verão. Um dos fatores possivelmente responsáveis por esta condição é a afinidade de *Dinophysis* spp. por temperaturas mais frias, típicas no outono e inverno, enquanto *Pseudo-nitzschia* spp. apresenta maior afinidade por temperaturas mais quentes, comuns na primavera e verão. Também podemos destacar as condições de disponibilidade de nutrientes na água que variam sazonalmente (WANG *et al.*, 2021), que podem favorecer uma das espécies em relação à outra. Outro fator que pode estar relacionado é a intensidade da luz solar, fator que varia sazonalmente, e diferentes espécies de fitoplâncton têm estratégias diferentes de crescimento de acordo com as condições de luz (Masó & Garcés 2006).

Observou-se que os eventos de *Dinophysis* spp. foram mais intensos que os de *Pseudo-nitzschia* spp., sendo que o mais longo persistiu por 12 semanas. Algumas das razões possíveis podem ser relacionadas com as preferências alimentares e nichos ecológicos dos táxons estudados aqui. Esses nichos podem ser caracterizados por diferentes fontes de nutrientes, estratégias de competição, condições de luz, entre outros fatores (PROENÇA; MAFRA JR., 2005). O ciclo de vida e estratégias reprodutivas de cada espécie também favorece seu desenvolvimento. Algumas espécies de *Dinophysis* spp. são conhecidas por formar cistos de resistência, que podem permitir que sobrevivam em condições adversas e floresçam mais rapidamente quando as condições são favoráveis (Masó & Garcés 2006). Os fatores ambientais, tais como temperatura da água, disponibilidade de nutrientes, luz solar e fatores físicos, podem variar em diferentes momentos e locais. *Dinophysis*

spp. pode ser favorecida em certas condições ambientais, resultando em florações mais intensas em comparação com *Pseudo-nitzschia* (Haraguchi & Odebrecht 2010).

A floração de *Dinophysis* spp. do inverno de 2007 em zonas costeiras expostas foi um dos eventos mais intensos entre os observados, com duração de aproximadamente 63 dias. As FANs de *Dinophysis* spp. podem iniciar de duas maneiras: 1) população de *Dinophysis* spp. é transportada por correntes marítimas; ou 2) população de *Dinophysis* spp. existentes em uma baía pode persistir ano após ano devido ao estágio de hibernação em seu ciclo de vida (Reguera *et al.* 2012). Devido ao fato de as zonas costeiras expostas sofrerem fortes influências do deslocamento de massas de água, estes ambientes podem sofrer maiores influências do transporte de células de *Dinophysis* spp. para a região.

Para as florações de *Dinophysis* spp., os níveis inseguros nos moluscos cultivados foram observados quando o fitoplâncton total da floração foi composto por baixa densidade celular de *Dinophysis* spp. < 5%. Embora a relação entre a densidade celular de *Dinophysis* spp. e as toxinas diarreicas nos moluscos não seja simples e possa variar consideravelmente entre populações, as florações de *Dinophysis* spp. mostraram alta toxicidade mesmo em baixas concentrações celulares em outras pesquisas (Basti *et al.* 2015). Outros autores também observaram florações de *Dinophysis* spp. em nível inseguro associados a densidades celulares de *Dinophysis* spp. tão baixos quanto 30 cél/L (Alves *et al.* 2020), < 1 x 10³ cél/L (Reguera *et al.* 2014) e \cong 1.2 x 10³ cél/L (Alves *et al.* 2018). Reguera *et al.* (2012) destacaram que o tempo exato para a contaminação dos moluscos pela DSP não é conhecida com precisão, mas os dados dos programas de monitoramento mostram que a contaminação acima dos níveis regulamentares geralmente ocorrem em até sete dias após a observação de florações de *Dinophysis* spp., já que, rotineiramente, as amostras são coletadas semanalmente. Assim como o tempo de depuração das toxinas nos moluscos pode ser um fator relevante nas considerações de toxinas nos moluscos em baixas densidades celulares de *Dinophysis* spp. Nilsen *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da exposição de mexilhões a altas densidades de *Dinophysis* spp. Observou-se que os mexilhões pararam de se alimentar após as

primeiras 4 horas de exposição e exibiu uma taxa de depuração reduzida em comparação com ambiente saudável.

Observou-se no ambiente de baía que as florações com composição de pelo menos 75% do fitoplâncton total por células de *Pseudo-nitzschia* spp. foram concomitantes a níveis inseguros de toxinas nos moluscos bivalves. Em zonas costeiras expostas não ficou evidente esta relação. Algumas das FANs de *Pseudo-nitzschia* spp. apresentaram níveis inseguros apenas em ambiente de baía. Uma explicação pode ser considerada pelas interações entre *Pseudo-nitzschia* spp., moluscos bivalves e outros organismos que variam entre os ambientes. A presença de predadores ou competidores naturais de *Pseudo-nitzschia* spp. pode regular as florações e o risco de contaminação (Masó & Garcés 2006). Diversos registros de florações de *Pseudo-nitzschia* spp. e nível inseguro de ASP neste estudo foram observados com concentração de clorofila-a em baixa concentração em ambiente de baía, também observado em outros estudos (*e.g.*, Trainer *et al.* 2012). Este fenômeno pode ser explicado pelo pigmento principal da espécie não ser clorofila-a.

No ambiente de baía, foram detectados níveis inseguros de DSP e ASP com concentrações de clorofila-a menores do que as concentrações de clorofila-a dos níveis de monitoramento considerados seguros. Ou seja, com baixas concentrações de clorofila-a foram observados moluscos com toxinas DSP e ASP. Este ambiente destaca-se pelo maior tempo de residência da água (Brandini *et al.* 2006). Assim, os moluscos bivalves desta região podem se alimentar de algas produtoras de toxinas por mais tempo do que em regiões de maior dinamismo e, assim, levar mais tempo para realizar o processo de desintoxicação, mantendo níveis inseguros de toxinas mesmo em baixa concentração de clorofila-a.

Considerando as destacadas ocorrências das florações de *Dinophysis* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. em zona costeira exposta e baía, foi importante separar os ambientes para as análises devido às particularidades destes locais. Contudo, para as florações de *Pseudo-nitzschia* spp., do ambiente de baía, apresentaram níveis inseguros de toxinas nos moluscos com a predominância do fitoplâncton total em 75%. Estas florações também não foram relacionadas diretamente

com a concentração de clorofila-a e com os níveis inseguros de DSP e ASP para a área de estudo. Por esta razão, a clorofila-a não pode ser utilizada como o único indicador para a ocorrência de FAN. O monitoramento atual, baseado nas variáveis consideradas neste estudo, permitirá gerenciar a interdição dos cultivos somente a partir da identificação de toxinas nos moluscos, o que torna o controle vulnerável. Portanto, a partir dos padrões identificados na floração dessas algas prejudiciais, sugere-se que as variáveis ambientais que influenciam sua ocorrência sejam controladas espaço-temporalmente, o que potencialmente oferece uma abordagem para monitorá-las, especialmente considerando a limitada eficácia da clorofila-a como preditora. A busca por um modelo de previsão de florações de algas nocivas com níveis inseguros no litoral de Santa Catarina requer a inclusão de novas variáveis, como a radiação solar, a temperatura da água e o aporte de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina UNIEDU/Pós-Graduação pela concessão da bolsa de estudo; aos responsáveis pela compilação do conjunto de dados utilizados, os pesquisadores da Epagri Robson Ventura de Souza e Luis Hamilton Pospissil Garbossa e ao pesquisador do IFSC Thiago Pereira Alves; à FURB pela bolsa gratuidade. O segundo autor é apoiado por bolsa de pesquisa (PQ) do CNPq 305199/2022-6.

REFERÊNCIAS

Alves, TP., Schramm, MA., Proença, LAO., Pinto, TO. & Mafra, LL. 2018. Interannual variability in *Dinophysis* spp. abundance and toxin accumulation in farmed mussels (*Perna perna*) in a subtropical estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(329). 1-15. DOI: 10.1007/s10661-018-6699-y.

Alves, TP., Pinto, TO. & Mafra, LL. 2020. Frequent accumulation of diarrhetic shellfish toxins by different bivalve species in a shallow subtropical estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 40(1). 101501. DOI: 10.1016/j.rsma.2020.101501.

Anderson, DM., Glibert, PM. & Burkholder, JM. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25, 704–726. DOI: 10.1007/BF02804901.

Basti, L., Uchida, H., Matsushima, R., Watanabe, R., Suzuki, T., Yamatogi, T. & Nagai, S. 2015. Influence of Temperature on Growth and Production of Pectenotoxin-2 by a Monoclonal Culture of *Dinophysis caudata*. *Marine Drugs*, 13(12). 7124-7137. DOI: 10.3390/md13127061.

Brandini, FP., Alquini, F., Pereira, RB. & Leite, RL. 2006. Abundância e estrutura populacional da comunidade planctônica na baía da Babitonga: Subsídios para avaliação de impactos ambientais. In: Cremer, M. J., Morales, P. R. D. & Oliveira, T. M. N. de (Eds.), *Diagnóstico Ambiental da baía da Babitonga*. pp. 112-134. Joinville: Editora da Univille.

Brasil. 2012. Instrução Normativa Interministerial MPA/MAPA n. 07, de 08 de maio de 2012. Institui o Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB), estabelece os procedimentos para a sua execução e dá outras providências. pp. 01-26. Brasília.

Bordin, LH., Machado, EC., Carvalho, M., Freire, AS., & Fonseca, A. 2019. Nutrient and carbon dynamics under the water mass seasonality on the continental shelf at the South Brazil Bight. *Journal Of Marine Systems*, 189(1). 22-35. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2018.09.006.

Cabral, A., Bonetti, CHC., Garbossa, LHP., Pereira-Filho, J., Besen, K; & Fonseca, AL. 2020. Water masses seasonality and meteorological patterns drive the biogeochemical processes of a subtropical and urbanized watershed-bay-shelf continuum. *Science of the Total Environment*, 749(1). 141553. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141553.

Castro, NO., & Moser, GAO. 2012. Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais. *Oecologia Australis*, 16(2). 235-264. DOI:10.4257/oeco.2012.1602.05.

Fonseca, AL., Newton, A., & Cabral, A. 2021. Local and meso-scale pressures in the eutrophication process of a coastal subtropical system: challenges for effective management. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, 250(1), 107109.

- Freire, AS., Varela, ARD., Fonseca, AL., Menezes, BS., Fest, CB., Obata, CS., Gorri, C., Franco, D., Machado, EC., Barros, G., Molesani, LS., Madureira, LAS., Coelho, MP., Carvalho, M., & Pereira, TL. 2017. O Ambiente Oceanográfico. In: Segal, B., Freire, AS., Lindner, A., Krajevski, JP., Soldateli, M. (Eds.), Monitoramento da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. pp. 159–200. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Garbossa, LHP., Souza, RV., Vianna, LFN., Vanz, A., & Rupp, GS. 2014. Moluscos bivalves: metodologia utilizada no Inquérito Sanitário das baías da Grande Florianópolis. pp. 44. Florianópolis: Epagri.
- Haraguchi, L.; Odebrecht, C. 2010. Dinophysiales (Dinophyceae) no extremo Sul do Brasil (inverno de 2005, verão de 2007). *Biota Neotropica*, 10(3), 101–114.
- Kirk, JTO. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge. DOI: 10.1017/CBO9780511623370
- Mafra-Junior L. L.; Fernandes L. F. & Proença L. A. O. 2006. Harmful algae and toxins in paranaguá bay, Brazil: bases for monitoring. *Brazilian Journal of Oceanography*. 54:107–21.
- Mascarenhas Jr, AS., & Ikeda, Y. 1994. Massas de Água. In: Castro, F. B. M. de, Campos, E. J. D., Mascarenhas Jr, AS., Ikeda, Y., Melo, FE., Lorenzetti JA., Garcia, CAE., Moller Jr, OO., Weber, RR., Knoppers, BA., Fillmann, G. Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. pp.363. Oceanografia Física.
- Masó, M. & Garcés, E. 2006. Harmful microalgae blooms (HAB): problematic and conditions that induce them. *Marine Pollution Bulletin*, v. 53, p. 620–630.
- Moisan, JR., Moisan, TA; & Abbott, MR. 2002. Modelling the effect of temperature on the maximum growth rates of phytoplankton populations. *Ecological Modelling*, 153(1), 197–215.
- Orlanski, I. 1975. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(5), 527–530.
- Pandolfo, C., Braga, HJ., Silva Júnior, VP., Massignan, AM., Pereira, ES., Thomé, VMR., & Valci, FV. 2002. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. pp. 1-13. Florianópolis: Epagri.
- Piola, AR., Möller, OO., & Palma, ED. 2004. El impacto del Plata sobre el océano Atlántico. *Science Today*, 14(82). 28-37.
- Proença, L. A. O. & Mafra Jr, L. L. 2005. Ocorrência de ficotoxinas na costa brasileira. In: Reunião Brasileira de Ficologia, X. Anais. (Série Livros do Museu Nacional, 10). Rio de Janeiro: Museu Nacional, p. 57-77.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.
- Reguera, B., Velo-Suárez, L., Raine, R., & Park, MG. 2012. Harmful Dinophysis species: a review. *Harmful Algae*, 14(1), 87-106. DOI: 10.1016/j.hal.2011.10.016.
- Reguera, B., Riobó, P., Rodríguez, F., Díaz, P., Pizarro, G., Paz, B., Franco, J., & Blanco, J. 2014. Dinophysis Toxins: Causative Organisms, Distribution and Fate in Shellfish. *Marine Drugs*, 12(1), 394-461. DOI: 10.3390/md12010394.
- Rupp, GS. 2020. Cultivo de vieiras em Santa Catarina: tecnologias utilizadas e influência de fatores ambientais. *Revista Agropecuária Catarinense*, 33(3), 14-17.
- Schmitt, F., & Proença, LA. 2010. Ocorrência de dinoflagelados do gênero dinophysis (enrenberg, 1839) na enseada de cabeçudas (verão e outono de 1999). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 4(1), 49. DOI: 10.14210/bjast.v4n1.p49-59.
- Schramm, MA., & Proença, LAO. 2005. Florações de Algas Nocivas e o Risco das Ficotoxinas em Moluscos. *Panorama da Aquicultura*, 15(89), 25-27.
- Schramm, MA., Alves, TP., Fonseca, RS., Pinto, TO., & Proença, LAO. 2010. Ácido domóico em moluscos de cultivo de Santa Catarina em 2009.
- Solé, J., García-Ladona, E., Ruardij, P. & Estrada, M. 2005. Modelling allelopathy among marine algae. *Ecological Modelling*, 183: 373-384, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.08.021.
- Souza, RV., Novaes, ALT., Garbossa, LHP. & Rupp, G.S., 2017. Variações de salinidade nas Baías norte e sul da ilha de Santa Catarina: implicações para o cultivo de moluscos

- bivalves. *Agropecuária Catarinense* 29 (3), 45–48. DOI: 10.52945/rac.v29i3.147.
- Souza, RV., & Santos, AA. 2021. *Síntese Anual Da Agricultura De Santa Catarina*. pp. 141- 143. Florianópolis: Epagri/Cepa.
- Suplicy, FM. 2018. *Plano Estratégico para Desenvolvimento Sustentável da Maricultura Catarinense*. Florianópolis: Epagri.
- Tang, D., Kawamura, H., Lee, M., & Van Dien, T. 2003. Seasonal and spatial distribution of chlorophyll-a concentrations and water conditions in the Gulf of Tonkin, South China Sea. *Remote Sensing of Environment*, 85(4), 475-483. DOI:10.1016/s0034-4257(03)00049-x.
- Trainer, VL., Bates, SS., Lundholm, N., Thessen, AE., Cochlan, WP., Adams, NG., & Trick, CG. 2012. Pseudo-nitzschia physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. *Harmful Algae*, 14(1), 271-300. DOI: 10.1016/j.hal.2011.10.025.
- Vianna, LFN., Santos, RV., Alves, TP., Schramm, MA., & Garbossa, LHP. 2022. Harmfull algae bloom monitoring program dataset; ERDDAP, ERA5 and ONI datasets; and R script for multicriteria analisys in Santa Catarina coastal zone, Brazil. (1.0) [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.7348726.
- Wang, Y., Liu, D., Xiao, W., Zhou, P., Tian, C., Zhang, C. & Wang, B. 2021. Coastal eutrophication in China: Trend, sources, and ecological effects. *Harmful Algae*, v. 7. p. 102058. Doi: 10.1016/j.hal.2021.102058.
- Widdicombe, CE., Eloire, D., Harbour, D., Harris, RP., & Somerfield, PJ. 2010. Long-term phytoplankton community dynamics in the Western English Channel. *Journal of Plankton Research*, 32(5), 643-655. DOI: 10.1093/plankt/fbp127

Submitted: 10 March 2023

Accepted: 14 November 2023

Published online: 16 February 2024

Associate Editor: Bruno Eleres Soares