

DIREITO ECOLÓGICO & GEODIREITO

Estudos científicos interdisciplinares e
sistêmicos da Lagoa da Conceição e
da emergência climática

Organizadores:

Melissa Ely Melo | José Rubens Morato Leite
Letícia Albuquerque | Kleber Isaac Silva Souza



4. Gestão eficiente de recursos naturais: o SIG é uma ferramenta valiosa para a gestão sustentável de recursos naturais, como água e solo. Com a capacidade de monitorar o uso desses recursos, o Direito pode aplicar regulamentações que garantam uma exploração responsável e equilibrada, evitando a sobrecarga dos ecossistemas.

5. Fomento à participação cidadã: a visualização de dados por meio de SIG pode facilitar a participação ativa da comunidade em processos decisórios. Essa capacidade é fundamental para assegurar que a legislação ambiental reflita as preocupações e necessidades da população local, promovendo um diálogo mais aberto entre os cidadãos e as autoridades.

6. Resposta coordenada a desastres: durante emergências, como desastres naturais intensificados pelas mudanças climáticas, a utilização de SIG se torna essencial para a coordenação das respostas e para a implementação de legislações que regulamentem a recuperação e a reconstrução das áreas afetadas. Isso garante uma abordagem mais organizada e eficaz.

7. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA): o uso de SIG pode enriquecer o processo de avaliação de impacto ambiental, permitindo uma análise mais detalhada dos efeitos potenciais de projetos e atividades sobre o meio ambiente. Essa ferramenta é imprescindível para a concessão de licenças e autorizações, garantindo que os projetos sejam sustentáveis.

8. Educação e conscientização ambiental: a visualização de dados geográficos também pode ser utilizada em iniciativas de educação ambiental, contribuindo para aumentar a conscientização sobre questões ecológicas e a importância do cumprimento das normas legais. Isso ajuda a promover uma cultura de responsabilidade ambiental entre os cidadãos.

Assim sendo, a integração de Sistemas de Informação pode fomentar a cultura de responsabilidade ambiental entre os cidadãos.

O problema que nos une cientificamente nesta obra é o seguinte: Como o direito pode se beneficiar do Sistema de Informação Geográfica (SIG), para fazer um controle mais efetivo e sistêmico de governança de proteção do meio ambiente, visando proteger-se face às mudanças climáticas, considerando a crise ecológica da época do Antropoceno?

A hipótese é positiva, levando em conta que o Direito pode obter vantagens consideráveis com a implementação do SIG na governança e na proteção do meio ambiente, especialmente diante das mudanças climáticas e da crise ecológica características do Antropoceno. Abaixo, apresentamos algumas maneiras pelas quais essa intersecção pode se manifestar:

1. Mapeamento e vigilância ambiental: o SIG oferece uma capacidade avançada de mapeamento de áreas ecológicas, como florestas, cursos d'água e zonas costeiras, permitindo um monitoramento sistemático e contínuo das transformações que ocorrem nesses ecossistemas. Esse recurso é fundamental para a aplicação efetiva das legislações ambientais e para a identificação de regiões que requerem proteção legal mais rigorosa.

2. Análise avançada de dados espaciais: a integração de dados legais com informações geográficas possibilita a identificação de áreas vulneráveis, como aquelas sujeitas a desastres naturais ou à degradação ambiental. Dessa forma, o campo do Direito pode utilizar essas análises para desenvolver normas e políticas públicas que busquem a mitigação desses riscos, promovendo um ambiente mais seguro.

3. Planejamento territorial sustentável: a aplicação de SIG, no planejamento urbano e rural, facilita a consideração das legislações ambientais durante o desenvolvimento de projetos de infraestrutura. Isso assegura que iniciativas de desenvolvimento não comprometam áreas ecologicamente sensíveis, promovendo um equilíbrio entre crescimento e preservação.

DIREITO ECOLÓGICO & GEODIREITO

Estudos científicos interdisciplinares e
sistêmicos da Lagoa da Conceição e
da emergência climática

Organizadores

Melissa Ely Melo | José Rubens Morato Leite
Letícia Albuquerque | Kleber Isaac Silva Souza



2025

Direito Ecológico e Geodireito: estudos científicos interdisciplinares e sistêmicos da Lagoa da Conceição e da emergência climática.

Organizadores:

Melissa Ely Melo

José Rubens Morato Leite

Letícia Albuquerque

Kleber Isaac Silva de Souza

Capa e Diagramação: AmoLer Diagramações

Autores:

Alejandro Donnangelo
Alessandra Larissa Fonseca
Alexandre Alberto Kleine
Alice Ferreira
Carolina Medeiros Bahia
Caio Floriano dos Santos
Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto
Davide Franco
Enzo Hideki Nakawatase
Filipe Bellincanta de Souza
Gabrielle Tabares Fagundes
Iasna Chaves Viana
Isabel Pinheiro de Paula Couto
Jessica Kindlein Angioletti
José Irivaldo Alves O. Silva
José Rubens Morato Leite
Kamila Pope

Karine Sanches
Kleber Isaac Silva de Souza
Laura Melo Vilhena
Laura Müller
Luiz Fernando Rossetti Borges
Luiz Ugeda
Marcela de Avellar Mascarello
Melissa Ely Melo
Paulo Antonio Locatelli
Paulo Horta
Paulo Pagliosa
Piero Rosa Menegazzi
Tadeu Maia Portela Nogueira
Tito Almeida Roberta Parissi
Tônia Andrea Horbatiuk Dutra
Victor Eduardo Cury Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Tuxped Serviços Editoriais (São Paulo, SP)

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Pedro Anizio Gomes - CRB-8 8846

M528d **Melo**, Melissa Ely; **Leite**, José Rubens Morato; **Albuquerque**, Letícia; **Souza**, Kleber Isaac Silva de (org.).

Direito Ecológico e Geodireito: estudos científicos interdisciplinares e sistêmicos da Lagoa da Conceição e da emergência climática / Organizadores: Melissa Ely Melo, José Rubens Morato Leite e Letícia Albuquerque, Kleber Isaac Silva de Souza. – 1. ed. – Blumenau, SC : AmoLer Editora, 2025.
493 p.; tabs.; gráfs.; fotografias; 16 x 23 cm.
E-BOOK: 6Mb; PDF.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7172-197-5

1. Balneabilidade. 2. Direito. 3. Geodireito. 4. Irresponsabilidade Organizadora. 5. Justiça Ecológica. I. Título. II. Assunto. III. Organizadores.

CDD 341.347

CDU 349.6

ÍNDICE PARA CATÁLOGO SISTEMÁTICO

1. Direito Ambiental.

2. Temas de Direito Ambiental.

DIREITO ECOLÓGICO E GEODIREITO: ESTUDOS CIENTÍFICOS INTERDISCIPLINARES E SISTÊMICOS DA LAGOA DA CONCEIÇÃO E DA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

MELO , Melissa Ely; LEITE , José Rubens Morato; ALBUQUERQUE , Letícia; Souza , Kleber Isaac Silva de (org.). Direito Ecológico e Geodireito: estudos científicos interdisciplinares e sistêmicos da Lagoa da Conceição e da emergência climática . 1. ed. Blumenau, SC: AmoLer Editora, 2025. E-book (PDF; 6Mb). ISBN 978-85-7172-197-5.



SUMÁRIO

Parte I - Direito Ecológico e Geodireito15

Instrumentos de Geodireito para gestão preventiva e controle da emergência climática, bens ecológicos e recursos naturais
Luiz Ugeda e Karine Sanches16

O geodireito como instrumento de prevenção nas cidades: uma abordagem a partir da justiça territorial e socioecológica
Paulo Antonio Locatelli e Jessica Kindlein Angioletti48

Geodireito e cartografia: abordagem da gestão da água e sanitária da Lagoa da Conceição
José Irivaldo Alves O. Silva.....67

Governança sistêmica e preservação ambiental: desafios na gestão da balneabilidade na Lagoa da Conceição
José Rubens Morato Leite, Enzo Hideki Nakawatase e Laura Müller.....92

Um mapa interativo para auxílio na gestão ambiental da Lagoa da Conceição a partir de informações espaciais multidisciplinares
Kleber Isaac Silva de Souza e Isabel Pinheiro de Paula Couto.....129

Ecossistemas costeiros associados à orla da Lagoa da Conceição: gênese e proteção jurídica <i>Tadeu Maia Portela Nogueira, Kleber Isaac Silva de Souza e Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto</i>	161
--	-----

A definição de limites de qualidade da água de uma laguna sensível à eutrofização: a Lagoa da Conceição SC, Brasil <i>Alessandra Larissa Fonseca, Alice Ferreira, Paulo Horta, Paulo Pagliosa, Roberta Parissi e Tito Almeida</i>	192
--	-----

Desafios da Lagoa da Conceição: limites e soluções – modelagem da dinâmica populacional e da qualidade da água, e estratégias de restauração baseadas em dados geográficos para uma laguna sujeita de direitos <i>Victor Eduardo Cury Silva, Laura Melo Vilhena, Alejandro Donnangelo e Davide Franco</i>	214
--	-----

Parte II – Direito Ecológico e a Ação Civil Pública Estrutural da Lagoa da Conceição251

Descolonizar o direito e a geografia: por um geodireito promotor de justiça ambiental e ecológica <i>Marcela de Avellar Mascarello, Gabrielle Tabares Fagundez e Caio Floriano dos Santos</i>	252
--	-----

Processo estrutural e enfrentamento ao dano ambiental: possibilidades de contribuição do geodireito no estado de direito ecológico <i>Piero Rosa Menegazzi</i>	277
---	-----

O geodireito e a ação civil pública estrutural da Lagoa da Conceição: aspectos processuais <i>Iasna Chaves Viana</i>	302
---	-----

Governança socioecológica dos sistemas ambientais e o papel da Câmara Judicial de Proteção da Lagoa da Conceição (CJ-PLC) <i>Melissa Ely Melo, Kamila Pope e Carolina Medeiros Bahia</i>	330
---	-----

A governança socioecológica no cenário do desastre ambiental da ETE na Lagoa da Conceição em Florianópolis/SC	
<i>Filipe Bellincanta de Souza</i>	359
Avaliação da gravidade, urgência e tendência para definição de áreas prioritárias para governança preventiva e precaucional na Lagoa da Conceição em Florianópolis/SC	
<i>Filipe Bellincanta de Souza</i>	385
Danos socioambientais e poder econômico: a influência das elites nas decisões judiciais em Florianópolis	
<i>Luiz Fernando Rossetti Borges</i>	402
Justiça ecológica para Melembipe: a prática democrática como processo	
<i>Tônia Andrea Horbatiuk Dutra</i>	436
A Polícia Militar Ambiental e a Lagoa da Conceição: o Geodireito a serviço da proteção ambiental	
<i>Alexandre Alberto Kleine</i>	460



A definição de limites de qualidade da água de uma laguna sensível à eutrofização: a Lagoa da Conceição SC, Brasil

*Alessandra Larissa Fonseca*²¹

*Alice Ferreira*²²

*Paulo Horta*²³

*Paulo Pagliosa*²⁴

*Roberta Parissi*²⁵

*Tito Almeida*²⁶

Introdução

O uso de fertilizantes na agricultura e a falta de tratamento adequado dos efluentes domésticos e industriais, incluindo a produção animal, são as principais fontes de nutrientes para a zona costeira (Alone; Newton, 2020). Ao atingir as águas costeiras, os nutrientes, que são os sintomas primários da eutrofização, promovem o incremento da produção primária e,

²¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. alessandra.larissa@ufsc.br

²² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. alicebsdf@gmail.com

²³ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. paulo.horta@ufsc.br

²⁴ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. paulo.pagliosa@ufsc.br

²⁵ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. valleparissiroberta@gmail.com

²⁶ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail. titoalmeida2008@gmail.com

consequentemente, o aumento da matéria orgânica. O acúmulo da matéria orgânica produzida localmente (autóctone) somado à matéria orgânica, proveniente da bacia hidrográfica e do mar adjacente (alóctone), consome o oxigênio da água ao se decompor. Esse processo de eutrofização pode ser agravado em lagoas costeiras, baías, enseadas e área de mares calmos com baixa capacidade de renovação das águas, pela formação de zonas mortas (Diaz; Rosenberg, 2008).

As zonas mortas em corpos hídricos, como as lagoas, são caracterizadas por apresentarem águas com concentração de oxigênio dissolvido inferior a 2 mg.L^{-1} , condição que impede a respiração de organismos aeróbios, como peixes, crustáceos e moluscos (Ferreira, *et al.*, 2011). As zonas mortas estão aumentando a cada ano devido às atividades antrópicas nas bacias hidrográficas costeiras, associadas à falta de gestão adequada dos usos de fertilizantes e dos efluentes, e ao aumento da temperatura global (Diaz; Rosenberg, 2008). Como um gás, a solubilidade do oxigênio na água diminui com a temperatura, potencializando o efeito da contaminação por nutrientes e matéria orgânica no cenário de mudança climática (Brauko *et al.*, 2020).

A Lagoa da Conceição é um local onde a formação de zona morta na água de fundo da região central, ou lagoa do meio, tem sido registrada desde o início da década de 1980 (Odebrecht; Caruso, 1987). A abertura e manutenção do canal artificial que conecta a laguna ao mar promoveu a salinização da água de fundo, gerando uma estratificação física da coluna da água, que se mantém devido à condição da hidrodinâmica local. Essa região, de menor hidrodinâmica, recebe uma grande carga de matéria orgânica, tanto autóctone como alóctone, que sedimenta e se acumula no fundo. O processo de decomposição dessa matéria orgânica consome oxigênio, formando a zona morta. A dinâmica desta zona morta está associada ao acúmulo da matéria orgânica, a forte estratificação da coluna da água, que impede a oxigenação da água de fundo, e a incidência de luz, que controla a produção primária e de oxigênio dissolvido na água de fundo (Fontes *et al.*, 2011).

Os primeiros estudos sobre a qualidade da água da Lagoa da Conceição mostram que a lagoa, assim como outras lagunas costeiras, é originalmente um sistema oligo-mesotrófico, ou seja, caracteristicamente com baixas concentrações de nutrientes (Silva *et al.*, 2017). Com o crescente aumento da urbanização na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição (de 8.000 para 45.000 habitantes em 40 anos) e a implantação de um sistema de tratamento de esgoto aquém da demanda, o índice trófico da laguna passou a ser eutrófico a partir de 2007 (Silva *et al.*, 2017). Devido a isso, o aumento da turbidez da coluna da água tem promovido a manutenção da zona morta ao longo do ano, principalmente na região mais interna e profunda da região central da Lagoa da Conceição (Barros *et al.*, 2017). Pela ausência de oxigênio e devido às águas salinas, a respiração anaeróbica, pela redução do sulfato, ocorre na água de fundo, gerando gases tóxicos de enxofre, que acidifica a água e impacta negativamente ainda mais a saúde do ecossistema e os serviços ecossistêmicos, como a pesca (Newton *et al.*, 2014).

Em 2021, o rompimento da Lagoa de Evapoinfiltração da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (LEI-CASAN) levou toneladas de N e P para a Lagoa da Conceição, promovendo a hipereutrofização, que gerou uma crise distrófica nunca antes registrada, com a zona morta se expandindo para todo o sistema, levando a mortandade de organismos aeróbicos da laguna (PES, 2021). A análise histórica do índice trófico da Lagoa da Conceição indica que o sistema tem vivenciado uma maior frequência de momentos eutróficos (Silva *et al.*, 2017), condição que está levando a perda da saúde do ecossistema e, conseqüentemente, dos serviços ecossistêmicos, como a pesca e o lazer (Rios; Fonseca; Cure, 2022). Assim, é urgente buscar estratégias políticas e legais para reverter o cenário de degradação e promover a restauração do ecossistema lagunar.

A Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), é o instrumento legal utilizado para a avaliação da qualidade da água dos todos os corpos aquáticos do

país e “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”. A norma classifica os corpos de água em água doce, salobro (salinidade entre 0,5 e 30) e salino (salinidade >30), segundo “a qualidade requerida para os seus usos preponderantes”, e indica as condições esperadas de qualidade ambiental para atender às necessidades da comunidade. A resolução ainda afirma que “a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas”. Assim, é fundamental avaliar se os critérios estabelecidos pela referida resolução atendem ao seu objetivo para os sistemas costeiros, como a Lagoa da Conceição, e, caso necessário, propor novos critérios para garantir a saúde do ecossistema e os respectivos serviços ecossistêmicos. Nesse estudo, temos como hipótese que os valores limites das variáveis utilizadas para a classificação da qualidade das águas estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 não são adequados para avaliar a qualidade das águas da Lagoa da Conceição, tendo como base os registros históricos do sistema. Assim, nossos objetivos são: i. Avaliar o estado trófico da laguna ao longo das últimas décadas; ii. Evidenciar que os limites de qualidade da água estabelecidos pela legislação ambiental — CONAMA 357/2005 — não cumprem sua função de promover a saúde ecológica da Lagoa da Conceição e; iii. Propor novos valores para os indicadores de qualidade da água que efetivamente detectem as mudanças no ecossistema, de modo a cumprirem o objetivo legal e instrumentos social de controlar o processo de poluição/eutrofização no sistema.

Área de estudo

A Lagoa da Conceição é um sistema lagunar subtropical semifechado e 80% dos nutrientes que entram na laguna via rios, água subterrânea e escoamento superficial ficam retidos no sistema. O tempo de residência da água é, em média, de 30 dias para as regiões central (lagoa do meio) e norte (lagoa

de cima); na região sul (lagoa de baixo), devido ao maior isolamento promovido pelo aterro das pontes das rendeiras, o tempo de residência é de 60 dias (Cabral; Bercovich; Fonseca, 2019).

O aumento da urbanização na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição (BH-LC) tem relação direta com o aumento da concentração de nutrientes e de colimetria na água da laguna, assim como, com a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido (Cabral; Bercovich; Fonseca, 2019). A urbanização ocupa uma área de mata ciliar dos rios e da laguna e áreas de banhados na BH-LC, as quais são importantes filtros naturais no sistema, perdendo a capacidade de reter contaminantes e favorecendo a contaminação da laguna pelo escoamento superficial e subterrâneo (Häder; Helbling; Villa-fañe, 2021; Netto *et al.*, 2018). O sistema de coleta e transporte do efluente até a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) não é eficiente, pois os rios que drenam a área urbanizada sob tratamento da ETE possuem a mesma condição de poluição do que os rios que drenam áreas urbanizadas com tratamento individual de fossas sépticas, por outro lado, os rios controles (sem influência da urbanização) apresentam boa qualidade de água (Cabral; Bercovich; Fonseca, 2019).

Metodologia: avaliação histórica do estado Trófico da Laguna

Para a análise histórica do estado trófico da Lagoa da Conceição aplicou-se o índice trófico TRIX (*Trophic Index*), que é amplamente utilizado em estudos de sistemas costeiros (Vollenweider *et al.*, 1998). O TRIX é multimétrico, uma combinação linear do logaritmo de quatro variáveis que caracterizam a eutrofização (**N** Nitrogênio, **P** fósforo, **Clor** Clorofila-a e **UAO** Oxigênio). Segundo esses autores, essas variáveis representam os diferentes sintomas da eutrofização: o enriquecimento de nutrientes, pela concentração de N e P ($\mu\text{g.L}^{-1}$); o crescimento de produtores primários, pela concentração do

pigmento fotossintético clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e; a respiração do sistema, pelo Uso Aparente de Oxigênio (UAO, %).

Os dados históricos, de 2001 a 2023, da água superficial da Lagoa da Conceição (N=402) foram aplicados ao TRIX, seguindo a seguinte equação:

$$\text{TRIX} = (\text{Log}_{10}[\text{Clor.a} * \text{UAO} * \text{NID} * \text{PID}] - k) / (m) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: *Clor.a* é a concentração de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) da amostra; *UAO* refere-se ao uso aparente do oxigênio (%), estimado pela diferença entre o 100% de saturação esperado e a saturação de oxigênio da amostra (%); *NID* é a concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$), a soma das concentrações do nitrato, nitrito e N-amoniacal e; *PID* é a concentração de fósforo inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na forma de ortofosfato. O termo “k” é o somatório do limite mínimo do Log_{10} de todas as variáveis, sendo de - 6,52 para a série de dados da Lagoa da Conceição (N=402). O termo “m” é o fator escalar derivado da padronização das variáveis (* 0,1), da diferença entre o somatório dos Log_{10} máximos e dos mínimos, sendo de 1,79 nesse estudo. O resultado do TRIX varia de 0 a 10, classificado por: ultraoligotrófico (0-2), oligotrófico (2,1-4), mesotrófico (4,1-6), eutrófico (6,1-8) e hipertrófico (8,1-10).

Todos os dados do TRIX utilizados no presente estudo estão disponíveis no Mapa Interativo de Dados da Pesquisa de Geodireito na Lagoa da Conceição.²⁷

Relação entre a Resolução CONAMA 357/2005 e o estado trófico do ecossistema

A fim de verificar se a classificação da qualidade de água estabelecida na Resolução CONAMA 357/2005 cumpre com seu objetivo, os valores limites das variáveis constantes na resolução foram aplicados ao índice TRIX e realizadas simulações para verificar a sua capacidade de mudança de qualidade

²⁷ Projeto GeoDireito. Disponível em: <https://geodireitolagoa.ufsc.br/>. Acesso em: 02 out. 2024.

da água. A água da Lagoa da Conceição, com exceção da água de fundo da região central (lagoa do meio), apresenta característica salobra, de acordo com a CONAMA 357/2005. Segundo a resolução, a laguna pode ser classificada como de Classe Especial, já que parte das suas águas fazem parte do Parque Estadual do Rio Vermelho (SC), uma unidade de conservação de proteção integral (CONAMA, 2005). Destaca-se também que a laguna é importante para a segurança alimentar de comunidades tradicionais, como a comunidade de pesca da Costa da Lagoa e a comunidade quilombola Vidal Martins, além de espaço de lazer para a recreação de contato primário e para a atividade de pesca, o que a caracteriza como sistema de água Classe 1 (CONAMA, 2005). Considerando essas classificações, a resolução CONAMA 357/2005 define como condições de qualidade da água: i. Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) não inferior a 5 mg.L^{-1} ; ii. Nitrato de $0,40 \text{ mg.L}^{-1}$; iii. Nitrito de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$; iv. Nitrogênio Amoniacal Total de $0,40 \text{ mg.L}^{-1}$ e; v. Fósforo Total de $0,124 \text{ mg.L}^{-1}$. Para águas salobras, a resolução não define valores limites para a concentração de clorofila-a, essa variável só aparece para água doce, que em classe 1 deve ter o valor máximo de $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$.

Para aplicar os valores do CONAMA ao TRIX da Lagoa da Conceição, definiu-se a concentração de NID como o somatório dos limites das diferentes frações de N estabelecidas para a fração inorgânica (nitrato+nitrito+N-amoniacal), de $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ (ou $870 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$). A resolução não indica a variável de fósforo inorgânico dissolvido (PID), apenas a de fósforo total (PT), assim, considerou-se a relação de PID e PT de 0,5 (Lourdes; Smith; Nicolas, 2000), ou seja, a concentração de $0,062 \text{ mg.L}^{-1}$ (ou $62 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$).

Como não há um valor definido para a concentração de clorofila-a em águas salobras, definiu-se por estimar o TRIX a partir de diversos valores de clorofila-a. Assim, o valor definidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe 1, de $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e os valores mínimos (quartil 1, que delimita os 25% menores valores), médio, mediana, máximos (quartil 3, que delimita os 25% maiores valores) e o máximo registra-

do na série histórica (N=402) foram utilizados. Considerando que a saturação de oxigênio (%) varia de acordo com a temperatura e a salinidade da água, o UAO foi estimado a partir da saturação de oxigênio correspondente a concentração de 5 mg.L⁻¹, indicada pela resolução, considerando a temperatura e a salinidade de cada amostra na laguna (N=402). Os valores do UAO (%) correspondentes à média, mediana, aos quartis (1 e 3) e ao máximo, estimado a partir da série histórica da laguna (N=402), foram aplicados a cada uma das 06 concentrações de clorofila-a indicadas acima, totalizando 30 valores de TRIX.

Definição dos parâmetros de qualidade da água para a Lagoa da Conceição

A partir dos dados históricos da qualidade da água e do estado trófico da Lagoa da Conceição, avaliou-se o estado trófico natural (o de maior frequência histórica) e o estado trófico alterado (um nível trófico acima do natural). Os parâmetros mínimos (quartil 1), médio, mediano, máximos (quartil 3) e o máximo serviram de referência para simular a concentração de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), de clorofila-a (µg.L⁻¹) e de PID (µg.L⁻¹) que promovem o TRIX de natural e alterado na laguna.

A concentração de NID (µM) foi estimada a partir da concentração de PID (µM), considerando: i. a razão molar NP de 16:1, a qual é a ideal para o desenvolvimento do fitoplâncton marinho, o principal produtor primário da Lagoa da Conceição (Fonseca; Braga, 2006) e; ii. a razão NP de 35:1, que é a média atual da laguna (N=402). As concentrações de PID e NID foram convertidas em µg.L⁻¹, considerando a massa correspondente ao µmol de cada elemento, sendo de 31 µg para P e de 14 µg para N. A concentração de NID foi convertida em nitrato+nitrito (µg.L⁻¹) e em amônio (µg.L⁻¹) considerando a proporção média histórica destes compostos na laguna em relação ao NID, que é de 25% para o nitrato+nitrito e de 75% para o amônio (N=402). Os valores em µg.L⁻¹ foram con-

vertidos em mg.L^{-1} para compor a unidade estabelecida pela resolução.

Resultados: Avaliação histórica do índice de estado trófico

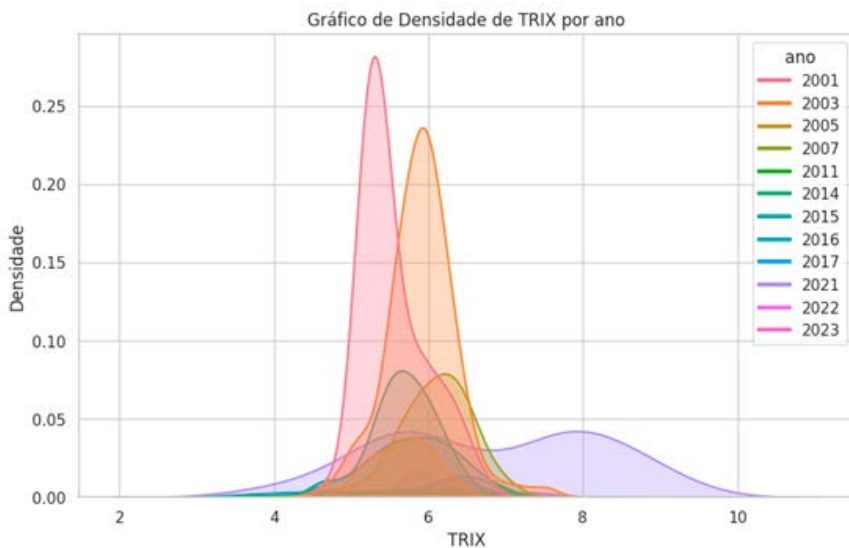
A Lagoa da Conceição apresenta naturalmente estado mesotrófico (Tab. 1). Ao longo das décadas de 2000 e de 2010 os valores médios ($\pm$ desvio padrão) de TRIX foram de 5,7 ($\pm 0,5$) e de 5,7 ($\pm 0,6$), respectivamente. Na atual década, o TRIX caracterizou as águas superficiais como eutrofizadas, com média de 6,7 ($\pm 0,7$). Em janeiro e fevereiro de 2021, no período do rompimento da LEI-CASAN, o TRIX apresentou a média de 7,8 ($\pm 0,8$), limite eutrófico alto, apresentando valores hipereutrófico em 18 das 39 amostras coletadas (Figura 33 e Tabela 6).

Tabela 6 – Valores médios e desvio padrão (Dp) do índice de estado trófico (TRIX) por década (N) na Lagoa da Conceição (SC)

Década Amostragem	TRIX	Dp	N amostral
2000	5,7	0,5	195
2010	5,7	0,6	71
2020	6,7	0,7	77
2021 (jan. e fev.)	7,8	0,8	39

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Figura 33 – Densidade da distribuição dos dados do índice de estado trófico (TRIX) da Lagoa da Conceição por ano de amostragem



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Relação entre a Resolução CONAMA 357/2005 e o estado trófico do ecossistema

O UAO (%) estimado a partir da concentração de 5 mg.L^{-1} e das temperaturas e salinidade medidas na laguna variou de 9% a 55%, com mediana de 33%. Considerando a variação do UAO e de clorofila-a, os limites de qualidade da água proposto pelo CONAMA promove a eutrofização na Lagoa da Conceição (Tabela 7). Essa condição pode chegar à hipereutrófica, se for considerada a concentração de clorofila-a de $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e de $38 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ em todos os UAO, ou as concentrações de clorofila-a acima de $4,5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ (a média da laguna) quando o UAO for maior do que 37%, valor equivalente a 63% de saturação de oxigênio na água. Observa-se que em 80% das simulações, quando variando as concentrações de clorofila-a e de UAO, os valores do TRIX estimados estiveram acima dos valores médios registrados historicamente na laguna.

Tabela 7 – Valores médios e desvio padrão do Índice de Estado Trófico (TRIX) para a Lagoa da Conceição (SC)

Referência	Clor.a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	TRIX	Dp	Estado Trófico (TRIX)
Mínimos (Quartil 1)	2,0	7,3	0,06	eutrófico
Mediana	2,8	7,4	0,06	eutrófico
Média	4,5	7,5	0,06	eutrófico
Máximos (Quartil 3)	4,9	7,6	0,06	eutrófico
CONAMA	10	7,7	0,06	eutrófico
Máximo registrado	38,2	8,1	0,06	hipereutrófico

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Nota: Ao aplicar os valores do CONAMA 357/2005, considerando os diferentes valores de concentração de clorofila-a (Clor.a, $\mu\text{g.L}^{-1}$) e de Uso Aparente de Oxigênio, estimados a partir da concentração de 5 mg.L^{-1} , para cada temperatura e salinidade medida no sistema, de (N=402), de 32% (média), 33% (mediana), 28% (Q1), 36% (Q3) e 55% (máximo).

Definição dos parâmetros de qualidade da água para a Lagoa da Conceição

Duzentas e vinte amostras da série histórica (N=402) apresentaram valores que compõem o estado mesotrófico da laguna, com valores de TRIX em torno de 6, enquanto vinte e cinco amostras tiveram valores de TRIX em torno de 7, caracterizando o sistema eutrófico médio do sistema (Tabela 8). Os parâmetros média e mediana de NID observados nas amostras de TRIX igual a 6, de 74,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e de 51,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, estiveram abaixo do valor de referência do CONAMA 357/2005 (de 870 $\mu\text{g.L}^{-1}$), o mesmo valor foi observado para esses parâmetros das amostras de TRIX 7 (Tabela 8). A média e mediana das concentrações de PID das amostras de TRIX 6 foram pelo menos 6 vezes menores do que a concentração limite do CONAMA, de 62 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Para as amostras de TRIX 7, a média encontrada de PID foi superior ao valor indicado pelo CONAMA, enquanto a mediana foi inferior. O

UAO máximo de 89% para o TRIX 7 caracteriza água de zona morta (UAO > de 70%).

Tabela 8 – Valores médios, mediana, mínimo e máximo dos dados históricos (de 2001 a 2023) da Lagoa da Conceição que caracterizam o estado trófico *mesotrófico* (N=220) e *eutrófico* (N=25)

	%	$\mu\text{g.L}^{-1}$					
Mesotrófico	UAO	$\text{NH}_{3,4}$	NO_3	NID	PID	Clor.a	TRIX
Mínimo	6,2	16,7	4,5	31,4	3,7	2,1	6
Mediana	14,7	40,0	9,4	51,1	6,1	2,9	6
Média	18,6	50,4	23,9	74,3	9,5	4,4	6
Máximo	26,2	487,1	468,3	514,5	167,7	34,9	6
Eutrófico							
Mínimo	14,4	62,0	6,1	108,3	16,4	3,5	7
Mediana	21,8	114,4	17,5	194,6	25,7	5,7	7
Média	29,5	317,0	66,1	383,2	151,6	9,3	7
Máximo	89,4	1529,5	500,1	1764,8	1190,0	38,2	7

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A variação no valor de UAO estimados a partir das concentrações absolutas de OD de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e de $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e das temperaturas e salinidades medidos na laguna foi de 13,9% a 50,6% e de 6,7% a 46,4%, respectivamente (Tabelas 9 e 10).

Ao aplicar a concentração de PID de $6,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, valor da mediana do TRIX de 6 da laguna (Tabela 8), ao TRIX com os diferentes UAO para a simulação do estado trófico, verificou-se que em 61% das estimativas gerou condição eutrófica (TRIX ~7). Assim, o valor de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$, média histórica da laguna (N=402), compôs as simulações, o que se mostrou mais adequado ao objetivo (Tabela 9). As concentrações de NID gerados a partir da concentração de PID, de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$, para as simulações de TRIX ~ 6 foi de $36 \mu\text{g.L}^{-1}$ e de $80 \mu\text{g.L}^{-1}$, considerando a razão molar de NP ideal do fitoplâncton (de 16N:1P) e atual da laguna (de 35N:1P), respectivamente. Ao aplicar a concentração de clorofila de $3 \mu\text{g.L}^{-1}$ verificou-se a condição eutrófica ao estimar o TRIX com o maior UAO, optando-se pela concentração mínima deste pigmento, de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Tabela 9 – Simulação de valores limites para o estado trófico mesotrófico, estado natural da Lagoa da Conceição, considerando diferentes valores de oxigênio dissolvido na água

Unidade	%	$\mu\text{g.L}^{-1}$					
	UAO	NH	NOX	NID	PID	Clor.a	TRIX
OD 6,0 mg.L^{-1}							~ 6
Mínimo	13,9	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,1
Mediano	19,5	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,1
Máximo	50,6	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,4
TRIX médio							6,2
Mínimo	13,9	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,3
Mediano	19,5	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,4
Máximo	50,6	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,6
TRIX médio							6,4
OD 6,5 mg.L^{-1}							
Mínimo	6,7	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,0
Mediano	12,7	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,0
Máximo	46,4	27,1	9,0	36,1	5,0	2,0	6,4
TRIX médio							6,1
Mínimo	6,7	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,1
Mediano	12,7	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,2
Máximo	46,4	60,0	20,0	80,0	5,0	2,0	6,6
					TRIX médio		6,3

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Mesmo com as definições nas concentrações de PID e de clorofila-a abaixo das concentrações médias e medianas que caracterizam o sistema mesotrófico da laguna (ver Tabela 8), observou-se que nos valores máximos do UAO e de maior concentração de NID, estimada pela razão de NP atual da laguna, gerou um TRIX que caracteriza eutrofização (de 6,6). Apesar disso, as médias finais de cada categoria (Tabela 9), TRIX de 6,4 e de 6,3, indicam a prevalência do estado mesotrófico.

A mediana da concentração de PID nas amostras de TRIX ~ 7 foi de 25 $\mu\text{g.L}^{-1}$, a qual, na simulação, gerou TRIX próximo de 7 (Tabela 10), como o esperado, mas caso considerasse a concentração de clorofila-a igual a 3 $\mu\text{g.L}^{-1}$, que representa a mediana histórica da laguna (N=402). Assim, optou-se

por essa concentração de clorofila-a. A partir da concentração de PID, a concentração de NID estimada pela razão molar do fitoplâncton (de 16N:1P) foi de 180,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e para a razão molar da laguna (de 35N:1P) foi de 400 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Tabela 10 – Simulação de valores limites para o estado trófico eutrófico, estado atual da Lagoa da Conceição, considerando diferentes *valores de oxigênio dissolvido na água*

Unidade	%	$\mu\text{g.L}^{-1}$					
	UAO	NH	NOX	NID	PID	Clor.a	TRIX
OD 6,0 mg.L^{-1}							~7
Mínimo	13,9	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	7,0
Mediano	19,5	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	7,1
Máximo	50,6	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	7,4
TRIX médio							7,2
Mínimo	13,9	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,3
Mediano	19,5	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,3
Máximo	50,6	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,6
TRIX médio							7,4
OD 6,5 mg.L^{-1}							
Mínimo	6,7	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	6,8
Mediano	12,7	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	7,0
Máximo	46,4	135,5	45,2	180,6	25,0	3,0	7,4
TRIX médio							7,1
Mínimo	6,7	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,1
Mediano	12,7	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,2
Máximo	46,4	300,0	100,0	400,0	25,0	3,0	7,6
					TRIX médio		7,3

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Assim, como na simulação do TRIX ~ 6, o UAO estimados para a concentração de OD igual a 6,5 mg.L^{-1} , que corresponde a média e mediana histórica da laguna (N=402), gerou valores de TRIX médios mais próximo de 7 (Tabela 10), reforçando essa concentração absoluta de oxigênio, como valor a ser considerado no estudo.

Discussão

A prevenção e remediação da poluição por nutrientes em ecossistemas costeiros-marinhos faz parte da meta 14.1 indicada pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 14.1) a ser atingida até 2025, sendo o índice de eutrofização costeira o indicador para avaliar a referida meta, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.²⁸ No caso da Lagoa da Conceição (LC), um importante ecossistema costeiro do Município de Florianópolis, essa meta não está sendo atingida. A referida laguna é naturalmente de estado mesotrófico e vem apresentando estado eutrófico com maior frequência desde 2007 (Silva *et al.*, 2017), chegando à condição hipereutrófica a partir de 2021, com o rompimento da LEI e outros eventos agudos que se seguiram. Esse cenário atual está associado ao aumento da urbanização, à gestão ineficiente dos efluentes e escoamento urbano (Cabral; Bercovich; Fonseca, 2019) e ao planejamento irresponsável de uso da bacia hidrográfica. O cenário atual do nível trófico da LC está afetando a saúde do ecossistema e, conseqüentemente, os benefícios que a laguna oferece para a sociedade (PES, 2021). Vale salientar que na situação de hipereutrofização, de 2021, a laguna desenvolveu floração de microalgas e zona morta nas águas superficiais, gerando mortandade de organismos marinhos, além da proibição da pesca e o fechamento de atividades de turismo e lazer, impactando também a cultura e a economia local (PES, 2021).

A legislação ambiental brasileira indica as diretrizes ambientais de qualidade da água para a “proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida” (CONAMA, 2005). No entanto, esse instrumento se mostrou inadequado para a Lagoa da Conceição (SC), conforme demonstrado aqui, por três motivos interconectados: i. os valores limites das variáveis que indicam a qualidade da água são muito elevados quando compa-

²⁸ ODS 14 - Vida na Água - Ipea - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods14.html>. Acesso em: 25 out. 2024.

rados com os valores naturalmente registrados para o ecossistema, chegando a ser 10-20 vezes superiores; ii. os valores limites não são capazes de indicar minimamente as alterações na qualidade da água, uma vez que não detectaram quaisquer das alterações que ocorreram ao longo das últimas décadas, conforme mostrado a partir dos dados históricos; iii. os valores limites só têm capacidade de detectar mudanças na qualidade de água quando a situação passar de ruim (eutrófica) para péssima (hipertrófica).

A legislação ambiental considera apenas a salinidade como critério básico para o enquadramento das massas de água. Os ecossistemas costeiros da interface terra-mar, como os estuários, baías e lagunas, tendem a apresentar águas salobras, com salinidade variando de 0 a 30. Contudo, esses ecossistemas diferem, significativamente, em relação ao tempo de residência da água, e, conseqüentemente, a sua suscetibilidade à poluição, como a eutrofização (Ferreira *et al.*, 2011). A Lagoa da Conceição renova suas águas na escala de meses e, por isso, 80% dos nutrientes que entram na laguna ficam retidos no sistema (Cabral; Bercovich; Fonseca, 2019). Ou seja, a LC é mais suscetível à eutrofização do que outros sistemas salobros que renovam suas águas com maior frequência, como os estuários (Ferreira *et al.*, 2011), mas se enquadra nos mesmos critérios de qualidade de acordo com a legislação ambiental brasileira. Assim, é urgente, que os municípios e estados adêquem os limites de qualidade da água caso a caso, para cada ecossistema ou grupo de ecossistema costeiro, promovendo uma gestão ambiental mais assertiva que considere a dinâmica física e biogeoquímica nesta definição. Vale destacar que diversos países já adotam estratégias de gestão dos ecossistemas aquáticos que não se limitam aos indicadores de qualidade da água, considerando também os indicadores de qualidade físico-química, hidromorfológica e biológica para garantir a saúde e a sustentabilidade ecossistêmica, como a Diretiva Europeia *Quadro da Água* (Silva *et al.*, 2018).

O índice de eutrofização TRIX é amplamente utilizado para sistemas marinhos costeiros e considera as variáveis as-

sociadas aos diferentes sintomas da eutrofização, como o enriquecimento de nutrientes, o desenvolvimento da biomassa fitoplanctônica e a respiração do sistema (Giovanardi; Vollenweider, 2004). Para o presente estudo, o TRIX permitiu balizar a limitação da legislação ambiental em promover a saúde da Lagoa da Conceição, além de indicar os potenciais valores limites das variáveis para promover um sistema eutrófico médio (em torno de 7) e um sistema mesotrófico (em torno de 6), condições a serem alcançadas para o ecossistema, de acordo com o Grupo Técnico da Câmara Judicial de Proteção da Lagoa da Conceição (GTCJ-LC), vinculada à ACP 5012843-56.2021.4.04.7200/SC. Além de considerar as possíveis combinações das concentrações das variáveis da eutrofização, a definição dos parâmetros também ocorreu pelo diálogo entre os diferentes técnicos que compõem o GTCJ-LC, formado por representantes dos órgãos ambientais municipal e estadual, representantes da sociedade civil organizada, instituição de pesquisa entre outros. Na definição das concentrações limites (Tabela 11), vale destacar que se buscou privilegiar os parâmetros média e mediana das variáveis em análise, para que estivessem dentro do observado com maior frequência no sistema, principalmente para a concentração do oxigênio dissolvido (em mg.L^{-1}), da clorofila-a (em $\mu\text{g.L}^{-1}$) e do ortofosfato (em $\mu\text{g.L}^{-1}$), que é o nutriente limitante do sistema (Barros *et al.*, 2017; Fonseca; Braga, 2006). O GTCJ-LC elaborou a normativa que dispõe sobre as *Diretrizes ambientais para o enquadramento progressivo da qualidade da água da Lagoa da Conceição e dá outras providências*, sendo a meta 1, intermediária, para se atingir o TRIX 7 até 2027, e a meta 2, final, para o TRIX 6 até 2030. Essa normativa foi enviada para a apreciação do Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMDEMA/SC) e foi aprovada sob a Resolução COMDEMA 01/2025 (de 10/02/2025).

Tabela 11 – Condições e padrões de qualidade da água para a Lagoa da Conceição, estabelecidos pelo GTCJ-LC com base no TRIX 7 (meta 1, intermediária) e TRIX 6 (meta 2, final)

Variáveis	CONAMA 357/2005	Meta 1 (intermediária)	Meta 2 (final)
Variáveis OD (mg/L)	≥ 5,0	> 6,5	> 6,5
Nitrato + Nitrito (mgN/L)	0,47	0,10	0,02
Amônia (mgN/L)	0,40	0,30	0,06
Fósforo inorgânico dissolvido (mgP/L)	0,062 ¹	0,025	0,005
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	- ²	3,0	2,0

Fonte: Elaborada pelo GTCJ-LC (2024).

Nota:¹ valor estimado a partir da concentração de fósforo total (mg/L), ver metodologia.

Nota:² não há valor definido de clorofila-*a* para água salobra.

Verificou-se que, ao estimar as concentrações das variáveis para promover um sistema mesotrófico (ver Tabela 9) e eutrófico (ver Tabela 10), as simulações feitas com o maior UAO e a maior concentração de NID produziram resultados próximos ao nível de estado trófico mais elevado. Essa constatação indica que há uma possibilidade de os limites ora estabelecidos não serem adequados frente ao cenário de mudança climática, exigindo reavaliação periódica, pois os eventos extremos de chuva e temperatura devem aumentar os valores médios das variáveis aqui estudadas. Por exemplo, as ondas de calor aumentam a temperatura das águas superficiais, diminuindo a concentração de solubilidade do gás e favorecendo a respiração do sistema e o UAO (Brauko *et al.*, 2020). Já os eventos extremos de chuva carregam matéria orgânica e nutrientes para o sistema, produzindo maior turbidez na água e também respiração do sistema (Han *et al.*, 2023). Para essa avaliação, é fundamental e urgente estabelecer um monitoramento sistemático da qualidade da água e das demais características do ecossistema (domínio físico, hidrodinâmico e biológico). Além disso, a restauração das áreas úmidas, banhados e áreas marginais da laguna e dos rios da bacia de drenagem,

que são áreas de preservação permanente (Brasil, 2012), devem ser priorizadas para ampliar a resiliência do ecossistema frente a esse cenário (Häder; Helbling; Villafañe, 2021).

Conclusões

A Lagoa da Conceição é um ecossistema suscetível à eutrofização, e a Resolução CONAMA 357/2005 não garante a sua preservação e manutenção do estado natural mesotrófico. Uma nova normativa, com diretrizes ambientais para o enquadramento da qualidade da água que promova saúde do ecossistema, deve ser implementada o quanto antes. Assim como, a promoção de um sistema de monitoramento e de gestão de base ecossistêmica para avaliar a efetividade dos novos limites frente ao cenário de mudança climática.

Referências

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

BRAUKO, K. M. *et al.* Marine Heatwaves, Sewage and Eutrophication Combine to Trigger Deoxygenation and Biodiversity Loss: A SW Atlantic Case Study. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, 15 dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.590258>.

CABRAL, A.; BERCOVICH, M. V.; FONSECA, A. Implications of poor-regulated wastewater treatment systems in the water quality and nutrient fluxes of a subtropical coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, v. 29, p.

100672, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100672>.

DIAZ, R. J.; ROSENBERG, R. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, v. 321, n. 5891, p. 926–929, 15 ago. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1156401>.

FERREIRA, J. G. *et al.* Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 93, n. 2, p. 117–131, jun. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.03.014>

FONSECA, A.; BRAGA, E. S. Temporal Dynamic of the Dissolved Nutrients and the Eutrophization Processes in a Southern Brazilian Coastal Lagoon, Conceição Lagoon. *Journal of Coastal Research*, n. 39, p. 1229–1233, 2006. Disponível em: http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/256_fonseca.pdf.

FONTES, M. L. *et al.* Primary Production in a Subtropical Stratified Coastal Lagoon – Contribution of Anoxygenic Phototrophic Bacteria. *Microbial Ecology*, v. 61, n. 1, p. 223–237, jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9739-x>.

GEORGIA DE BARROS *et al.* Nutrient distribution in a shallow subtropical lagoon, south Brazil, subjected to seasonal hypoxic and anoxic events. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 65, n. 2, p. 116–127, 1 jun. 2017.

GIOVANARDI, F.; VOLLENWEIDER, R. A. Trophic conditions of marine coastal waters: Experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*, v. 63, n. 2, p. 199–218, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2004.199>

HÄDER, DONAT-P.; HELBLING, E. W.; VILLAFANE, V. E. (EDS.). Anthropogenic Pollution of Aquatic Ecosystems. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 157-181. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-75602-4>.

HAN, H. *et al.* Influence of a heavy rainfall event on nutrients and phytoplankton dynamics in a well-mixed semi-enclosed bay. *Journal of Hydrology*, v. 617, p. 128932, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128932>.

LOURDES, M.; SMITH, S. V.; NICOLAS, V. F. Stoichiometric Interpretations of C:N:P Ratios in Organic Waste Materials. *Marine Pollution Bulletin*, v. 40, n. 4, p. 325–330, 1 abr. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00222-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00222-2).

MALONE, T. C.; NEWTON, A. The Globalization of Cultural Eutrophication in the Coastal Ocean: Causes and Consequences. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00670>

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PROJETO ECOANDO SUSTENTABILIDADE (PES) NOTA TÉCNICA N. 04/PES/2021. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://noticias.paginas.ufsc.br/files/2021/03/PES4_2021_Descolora%C3%A7%C3%A3o-e-Manchas-na-%C3%81gua-revisada-final.pdf.

NETTO, S. A. *et al.* Estuarine Assemblages from the Southern Brazilian Marine Ecoregion. In: LANA, P. da C.; BERNARDINO, A. F. Brazilian Estuaries: a benthic perspective. [s.l.] *Springer International Publishing*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5>

NEWTON, A. *et al.* An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 140, p. 95–122, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.023>

ODEBRECHT, C.; CARUSO, G. JR. Hidrografia e matéria particulada em suspensão na Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Atlântica*, v. 9, n. 1, p. 83-104, 1987.

ODS 14 - Vida na Água - Ipea - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods14.html>. Acesso em: 25 out. 2024.

A integração de Sistemas de Informação Geográfica no âmbito do Direito Ecológico pode resultar em um controle mais eficaz e sistemático da governança socioecológica.

Essa abordagem não apenas promove a proteção do meio ambiente em face das mudanças climáticas, mas também enfrenta a crise ecológica do Antropoceno. Para que essa integração seja frutífera, é necessário a formação de profissionais capacitados para utilizar essas ferramentas de maneira ética e responsável, além de um marco legal que suporte e incentive essa colaboração. O livro mostra a importância de abordagem interdisciplinar e fundada em critérios cientificamente alicerçados e abertos a uma visão crítica e plural.