

A ZONA COSTEIRA E MARINHA DE SANTA CATARINA DIANTE DOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PRIORIDADES PARA A GERAÇÃO DE SUBSÍDIOS CIENTÍFICOS

Perez, J. A. A.^{a*}, Andrade, M. M.^a, Barreto, A. S.^a, Cionek, V. M.^a, Lima, A. O. S.^a, Marenzi, R. C.^a, Mussi, C.^a, Pereira Filho, J.^a, Polette, M.^a, Resgalla Júnior, C.^a, Silva, M. A. C.^a & Tricarico, L. T.^a

^aPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Brasil.

*angel.perez@univali.br (Corresponding author).

Cite as: Perez, J. A. A., Andrade, M. M., Barreto, A. S., Cionek, V. M., Lima, A. O. S., Marenzi, R. C., Mussi, C., Pereira Filho, J., Polette, M., Resgalla Júnior, C., Silva, M. A. C. & Tricarico, L. C. (2023). Marine and coastal zone of Santa Catarina State, Brazil under scenarios of climate change: priorities for science-based assessments. *Braz. J. Aquatic. Sci. Technol.* 27(2):13-29. ISSN 1983-9057. DOI: 10.14210/bjast.v27n2.19818

Received: 28/08/23. **Revised:** 21/05/24. **Accepted:** 21/05/24. **Published:** 28/06/24.

Document type: Review article.

Funding: The authors received no specific funding for this work.

Competing interest: The authors declare no competing interest.

Copyright: This document is under the Creative Commons Attribution Licence (CC BY 3.0 DEED).

1 Introdução

A compreensão das mudanças ambientais decorrentes do processo de aquecimento do planeta e o dimensionamento de suas consequências para a humanidade representam, atualmente, os principais desafios das ciências ambientais. Isso porque, de maneira especial, tal conhecimento tem se tornado instrumental para subsidiar a adaptação das sociedades ao ambiente em transformação, através dos mecanismos de gestão ambiental.

Nesse processo, atmosfera e oceano interagem com consequências indissociáveis para os ambientes continentais e marinhos. Alterações do clima derivadas do aquecimento planetário tendem a reorganizar o regime de chuvas no tempo e no espaço, com efeitos sobre o funcionamento dos ecossistemas terrestres. Também alteram o regime de ventos sobre os oceanos e a densidade das massas de água, elementos governantes dos processos de circulação marinha em diversas escalas espaciais e temporais, e que redistribuem o calor na atmosfera, novamente afetando o clima (Rodrigues, 2015). O funcionamento dos ecossistemas marinhos está condicionado à dinâmica desses elementos físicos, já que podem controlar os processos biogeoquímicos que promovem a fotossíntese e o fluxo de energia através dos níveis tróficos em ambientes oceânicos e costeiros. Esses ambientes são igualmente influenciados pela descarga dos rios, conectando seu funcionamento com as bacias hidrográficas e o regime de chuvas, também afetado regionalmente pelo clima em transformação.

No topo do intrincado processo de mudança ambiental estão as populações humanas que, se por um lado contribuíram historicamente para a produção de gases de efeito estufa e o aumento da temperatura planetária, por outro, estabeleceram relações de interdependência com o clima e estão sujeitas a pressões decorrentes de suas alterações. Essas pressões implicam em ameaças às condições de habitabilidade, e.g., mudança do nível do mar e dos eventos extremos

ABSTRACT

The Southwest Atlantic (SW) encompasses an important ocean warming hotspot, driven by global climatic changes. Coastal and oceanic ecosystems in this region are potentially changing at an exceptionally fast rate, exerting detectable pressures on associated socioecological systems. Santa Catarina State, located in the south of Brazil, has an extensive coastline bathed by SW Atlantic waters and critically exposed to such pressures. Throughout nearly three centuries, human activities (e.g., fisheries, aquaculture, tourism, navigation, and harbors) and increasing land use have interacted with coastal and marine ecosystems distributed along the coastal zone and adjacent neritic environments, including (a) coastal streams, bays, estuaries and coastal lagoons bordered by mangrove forests, salt marshes and rain forests, (b) sand beaches interrupted by rocky shores and promontories, (c) coastal islands and (d) an extensive continental shelf influenced by the dynamics of coastal and oceanic water masses of the SW Atlantic. Such a complex landscape with multiple demands for both ecosystem preservation and human development enhances associated risks but also opportunities for action. To address these issues, we assess the potential exposure and sensibility of socioecological systems to global climate change-driven modifications, reviewing the role of environmental sciences in providing a better understanding on the ongoing natural processes and subsidize society for adaptation through regional management action.

Keywords: Global Warming. Marine Ecosystems. Socioecological Systems. Southwest Atlantic.

como furacões, secas e inundações (Soukiazes, 2009), e aos sistemas de produção e extração de alimento, e.g., agricultura, pecuária, pesca e outros (Beyruth, 2008). Tais relações podem ser conceitualizadas como sistemas socioecológicos, cujo equilíbrio tende a se alterar em decorrência das mudanças do clima planetário. Impõe-se, nesse contexto, a proposição e implementação de soluções locais, regionais e globais que possam adaptar populações humanas aos novos cenários ambientais. As ciências ambientais transdisciplinares têm um papel crítico na formulação dessas soluções (Friedman et al., 2020).

O Brasil pode ser considerado como um dos países "epicentrais" da crise ambiental, em parte, por comportar extensos biomas naturais com potencial para neutralizar gases de efeito estufa, cujo excedente produzido por atividades antrópicas têm provocado o rápido aquecimento do planeta. Em parte, pela acentuada vulnerabilidade que pressupõe as dimensões continentais de seu território, o qual inclui extensa linha de costa (~ 8.500 km) e Zona Econômica Exclusiva (ZEE) adjacente (~ 3,6 milhões de km², conforme IBGE, 2011). Nesse sentido, tem-se necessidade primordial de avaliações científicas compreensivas e planos de ação que remetam à adaptação da sociedade brasileira às transformações do ambiente.

Assim como em diferentes regiões do planeta, parte significativa dos 203 milhões de habitantes da população brasileira (IBGE, 2023) vivem em regiões costeiras, onde se concentram em grandes cidades e estabelecem inúmeros sistemas socioecológicos (Polette & Asmus, 2015; Horta et al., 2020). Esses sistemas distribuem-se em 17 dos 26 estados brasileiros que têm linha de costa e cujos impactos regionais da crise do clima têm a devida relevância, mas podem adquirir contornos próprios. Localizado na região sul do país, Santa Catarina é um desses estados voltados para o mar, que tem parte de sua linha de costa componente das escarpas cristalinas da costa sudeste brasileira, e parte componente da vasta planície arenosa da costa sul brasileira.

Seja por estar localizada em uma área transicional Neotropical, seja pelos seus povos originais, e ainda pela imigração açoriana a qual se fixou em lugares estratégicos e abrigados do território costeiro, Santa Catarina adquiriu historicamente uma forte relação com a zona costeira, com reflexos na organização do espaço, nos modos com que a sociedade produziu cultura, e na sua economia. Nesse sentido, a rápida transformação do espaço costeiro tem colocado o Estado cada vez mais exposto aos processos de mudanças decorrentes do aquecimento do planeta, e demandado avaliações com base científica de aspectos essenciais ao planejamento eficaz de políticas adaptativas regionais. Este é um artigo de revisão que tem como objetivos: (a) conceituar e contextualizar o conhecimento atualizado sobre as mudanças do clima, e dos riscos e impactos aos sistemas socioecológicos costeiros e marinhos, (b) avaliar, qualitativamente e a partir do conhecimento socioambiental pré-existente, os potenciais impactos da mudança do clima sobre a região costeira de Santa Catarina, (c) contribuir para uma análise crítica dos potenciais níveis de exposição e sensibilidade dos ambientes costeiros e marinhos, e da sociedade catarinense a essa mudança, e (d) identificar prioridades para a pesquisa científica, com ênfase no papel dos Programas de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

2 As Mudanças do Clima e Suas Consequências no Ambiente Costeiro e Marinho

Gases de efeito estufa (GEEs) presentes na atmosfera do planeta, incluindo vapor de água, dióxido de Carbono (CO₂), metano e óxido nítrico, absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra (aquecida pela radiação solar), e convertem essa radiação em calor aquecendo a atmosfera. Sem a presença desses gases, o planeta seria dezenas de graus mais frio e, possivelmente, desprovido de vida. Entretanto, desde o início da revolução industrial no século XIX, atividades antrópicas têm promovido um aumento progressivo da concentração atmosférica global dos GEEs, o que tem provocado o rápido sobreaquecimento da atmosfera, oceanos e continentes (IPCC, 2023). Considerado o GEE de maior influência nesse processo, o CO₂ teve suas concentrações acrescidas em mais de 40% nesse período, principalmente em decorrência da queima de combustíveis fósseis, desflorestamento e outros usos do solo. Como resultado, evidências apontam para um aquecimento global aproximado de 1,1 °C, desde períodos pré-industriais (dentro de um intervalo provável de 0,8 °C – 1,3 °C), aumentando em 0,1 °C a cada década (IPCC, 2023). Cenários otimistas e pessimistas projetados para os próximos 60 – 80 anos apontam para incrementos de 1,4 °C e 4,4 °C, em média, respectivamente (IPCC, 2023).

A atmosfera, progressivamente mais quente e saturada de CO₂, tem provocado também transformações nos ambientes marinhos. Cobrindo 71% da superfície do planeta, os oceanos têm absorvido mais de 90% do aumento de calor do sistema climático levando, desde o período pré-industrial (1850 – 1900) até a década de 1990, a um aumento da temperatura média das águas superficiais de 0,6 °C (IPCC, 2019). Durante o século XXI, mesmo que a emissão antrópica de GEEs se interrompa, este aumento deve continuar atingindo entre 0,6 °C e 0,9 °C até 2031-2050, e entre 0,7 °C e 2,8 °C até 2081 – 2100 (IPCC, 2019). Na medida em que aquece, o oceano sofre alterações físicas e biogeoquímicas expressivas, com destaque para:

- Aumento da frequência de tempestades: a superfície aquecida do oceano tem intensificado, sobretudo em regiões tropicais, a transferência de calor latente para a atmosfera, a taxa de precipitação e a formação de eventos meteorológicos extremos como tempestades e furacões (Trenberth et al., 2018).
- Desoxigenação: temperaturas crescentes têm diminuído a dissolução de oxigênio na água e aumentado o consumo desse gás pela respiração de organismos pelágicos, expandindo as áreas hipóxicas e anóxicas. Nos últimos 50 anos, a concentração global de oxigênio dissolvido diminuiu em mais de 2%, com grandes variações em diferentes profundidades e bacias oceânicas (Schmidtke et al., 2017). Projeções apontam para decréscimos globais de 0,9 – 1,4% até 2031 – 2050 e 0,6 – 3,9% até 2081 – 2100 (IPCC, 2019).
- Ampliação de áreas com elevada estratificação da coluna de água e redução da produtividade primária: colunas de água estáveis e

estratificadas resultam do aquecimento das camadas superficiais e caracterizam os oceanos tropicais do planeta. Essa estratificação provoca a formação de fortes gradientes de densidade que limitam a mistura de nutrientes inorgânicos, acumulados nas zonas profundas, para a zona fótica (iluminada), diminuindo o excedente de produção primária necessário para sustentar cadeias tróficas marinhas. O aumento da temperatura superficial tem levado a uma expansão de áreas bem estratificadas para latitudes maiores (“tropicalização”), ocasionando a consequente redução da atividade fotossintética em uma parcela crescente das regiões oceânicas do planeta. Desde a década de 1990, estima-se uma redução entre 2% e 16% na produção primária líquida global (Fu et al., 2016).

- Desaceleração da circulação termohalina: massas de água com elevada densidade são formadas nas regiões polares do planeta e se deslocam para latitudes menores junto ao fundo oceânico, a mais de 1500 metros de profundidade. Esse movimento “empurra” a massa oceânica em um movimento circulatório único, associado à circulação superficial, provocada pelo regime de ventos, ao redor de todo o planeta (Célula de Revolvimento Meridional – MOC). Esse movimento é responsável pela transferência de calor dos trópicos para as altas latitudes e tem profunda influência na regulação do clima em larga escala (Rodrigues, 2015). O aumento do calor atmosférico tende a gerar o aumento do degelo das calotas polares e a diminuição da salinidade. Esse processo reduz a densidade das águas polares desacelerando a MOC, levando a desoxigenação de águas profundas e potenciais alterações no clima do planeta (Hansen et al., 2004; Gregory et al., 2005; Ditlevsen & Ditlevsen, 2023).

Adicionalmente, os oceanos têm sido responsáveis pela absorção de aproximadamente 1/3 do CO₂ adicionado à atmosfera por atividades antrópicas (CO₂ antrópico), desde a revolução industrial (IPCC, 2019). Nesse sentido, têm prestado mais um “serviço ecossistêmico” regulador, sem o qual o aquecimento do planeta e as mudanças climáticas associadas teriam efeitos ainda mais graves do que os observados (Doney et al., 2009). Porém, essa absorção tem provocado uma mudança negativa na química dos oceanos. O CO₂ assimilado na interface oceano-atmosfera reage com a água do mar conduzindo a várias formas de equilíbrio do carbonato (H₂CO₃) e bicarbonato (HCO₃²⁻), liberando íons hidrônios livres (H⁺) (Niencheski, 2015). Em condições de equilíbrio (pH ~8,0), a maior parte dos carbonatos fica disponível para a associação com íons de Cálcio (Ca²⁺) favorecendo a precipitação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃), utilizado para a construção de esqueletos de inúmeras formas de vida marinhas, pelágicas e bentônicas. O aumento da concentração do CO₂ na água do mar, como consequência da absorção do excesso de CO₂ atmosférico antrópico, tende a desequilibrar esse processo intensificando a liberação de H⁺ e tornando o ambiente mais ácido (diminuição do pH). O H⁺ compete com o Ca²⁺ pelos carbonatos que se tornam menos disponíveis para a precipitação do CaCO₃, limitando o desenvolvimento de organismos marinhos (Doney et al., 2009). Desde o início da era industrial, o pH médio do oceano diminuiu em 0,1 aumentando sua acidez em 26%. Até 2031 – 2050 estima-se uma redução adicional do pH entre 0,07 e 0,10 e até 2081 – 2100, entre 0,06 e 0,31 (IPCC, 2019).

O CO₂ também é utilizado por organismos que realizam fotossíntese na presença de luz, liberando O₂ como subproduto. Em camadas mais profundas, progressivamente menos expostas à luz solar, esse processo diminui com o predomínio de organismos que “respiram”, ou seja, utilizam O₂ e liberam CO₂ ao sistema. Temperaturas crescentes do oceano (até mais de 1000 metros de profundidade) intensificam a respiração e adicionam mais CO₂ ao ambiente (Mostofa et al., 2016), exacerbando o desequilíbrio no sistema Carbonato e diminuindo a capacidade do oceano de absorver CO₂ atmosférico, ou seja, de realizar esse “serviço ecossistêmico” para o planeta. O aporte de matéria orgânica de origem continental, transportada pelo desague dos rios e intensificada pelo aumento da precipitação que deve decorrer das mudanças climáticas em muitas regiões, incrementa a decomposição e constitui um aporte adicional de CO₂ nos ambientes costeiros (Mostofa et al., 2016).

Como corolário, tem-se que, até 2100, toda a superfície do oceano, incluindo todos os habitats marinhos, será impactada, em diferentes níveis, pelo efeito acumulado do aquecimento, desoxigenação,

acidificação e declínios em produtividade primária (Halpern et al., 2008; Mora et al., 2013). Esses impactos e seus efeitos sinérgicos tendem a alterar o funcionamento dos ecossistemas marinhos e a geração dos serviços ecossistêmicos, afetando cerca de 1,4 bilhões de pessoas que habitam as áreas costeiras, mais expostas às referidas mudanças, metade das quais depende desses serviços para sua sobrevivência e bem-estar (Mora et al., 2013). Um estudo do World Bank (2015) prevê prejuízos econômicos na ordem de bilhões de dólares, devido a efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras, apenas na América Latina.

2.1 Alterações no funcionamento de ecossistemas costeiros e marinhos

Ecossistemas costeiros, incluindo estuários, riachos costeiros, praias arenosas, costões rochosos, marismas, manguezais, pradarias submersas, recifes de corais, e bancos de rodolitos encontram-se ameaçados, em diferentes níveis, pelo aumento do nível do mar, aquecimento da água, acidificação, desoxigenação e eventos climáticos extremos (Kerr et al., 2016; Horta et al., 2020). Além disso, como esses ecossistemas estão associados a áreas de elevada densidade populacional, essas mudanças interagem e podem ser amplificadas por perturbações antrópicas locais como eutrofização (Glibert, 2020), modificações da linha de costa (Muehe, 2010), modificações hidrogeológicas, perturbação da vegetação ripária (Entrekin et al., 2018), poluição, sobrepesca e outras.

Praias arenosas devem ter sua área reduzida (por erosão costeira) e mudar sua topografia, devido ao aumento do nível do mar e o aumento da frequência de eventos climáticos erosivos, derivados das mudanças climáticas globais. Essas alterações tendem a diminuir a densidade da cobertura da vegetação de dunas e comunidades associadas, bem como interferem no ciclo de vida de espécies da megafauna, como aves e tartarugas marinhas. Essa tendência deve se agravar em função do desenvolvimento urbano costeiro, que diminui a capacidade de amortização dos impactos e de recuperação dos ecossistemas de praias arenosas decorrentes do aumento do nível do mar, reduzindo sua resiliência às mudanças climáticas. De igual intensidade, a eutrofização e a proliferação de algas em praias de enseadas, favorecida pelas alterações climáticas, têm chamado atenção em diversas partes do mundo e atribuída tanto ao uso do solo como a questões de saneamento, turismo e outras atividades econômicas (Smetacek & Zingone, 2013; Wang et al., 2019; IPCC, 2022).

Estuários e riachos costeiros têm sofrido modificações devido ao aumento do nível do mar, da magnitude e frequência dos índices pluviométricos (cheias e secas), do aporte de sedimentos (Leuven et al., 2019) e de ações antrópicas diretas, como as alterações morfológicas causadas por obras de engenharia em suas margens e região costeira (Bellotto et al., 2009). Essas modificações, combinadas, causam intensificação de processos de intrusão de água do mar, promovendo um maior grau de salinização em estuários e riachos. Além disso, a elevada concentração de atividades humanas no entorno desses ambientes intensifica o aporte e acúmulo de matéria orgânica de origem antrópica, que interage com o aumento da temperatura, provocando aumento da degradação bacteriana, eutrofização, alteração de funcionamento ecossistêmico e a formação de zonas hipóxicas costeiras. Combinados, esses efeitos intensificam a ocorrência de florações de algas nocivas, de bactérias patogênicas e mortalidade de peixes e invertebrados, através do desequilíbrio osmótico, redução das condições adequadas de sobrevivência e da redução de áreas de berçário para espécies diádromas.

Comunidades vegetais costeiras, como marismas e manguezais, têm sido historicamente modificadas pelas atividades antrópicas que independem do clima. Porém, mudanças climáticas têm adicionado importantes interações sinérgicas como incrementos na salinização, aumento do nível do mar e da frequência de tempestades (Gilman et al., 2008). Associados a áreas estuarinas com elevada descarga de sedimentos, marismas e manguezais tendem a concentrar a deposição desses sedimentos, elevar sua posição em resposta ao crescente nível do mar, e expandir sua distribuição para o interior, devido à salinização. Esses são mecanismos de resiliência que, contudo, podem ser ineficazes, se o aumento do nível do mar for muito acelerado ou se o desenvolvimento

urbano circundante bloquear a expansão para a área continental. Por outro lado, as espécies de mangue, mais bem adaptadas a maiores temperaturas, tendem a expandir sua distribuição espacial para latitudes maiores e, com isso, contrair a distribuição das marismas ou mesmo substituí-las (Soares et al., 2012). Erosão e perda de habitats são impactos adicionais das comunidades vegetais costeiras, que resultam da intensificação regional das tempestades. Estima-se, globalmente, que entre 20% e 90% das áreas costeiras alagadas podem desaparecer até 2100 (IPCC, 2019).

Costões rochosos incluem ecossistemas intermareais e sublitorais habitados por macroalgas e uma elevada diversidade de invertebrados sésseis adaptados a suportar fortes gradientes ambientais. Sabe-se, no entanto, que esses organismos são sensíveis a oscilações extremas de temperatura e à acidificação (*i.e.*, já que muitos depositam CaCO_3 em seu esqueleto) que podem determinar mudanças em sua distribuição e abundância. Costões submetidos a essas mudanças ambientais devem sustentar comunidades com menor biodiversidade, dominadas por macroalgas e com menos organismos calcários. No litoral das regiões Sudeste e Sul do Brasil, estima-se que mudanças na temperatura podem levar à expansão do limite meridional de espécies comumente encontradas nos costões rochosos da costa de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Coutinho et al., 2016).

Recifes de coral e bancos de algas calcárias que se distribuem em águas rasas de regiões tropicais são negativamente afetados pelo processo de acidificação (devido à menor deposição do CaCO_3 e sua maior taxa de dissolução), aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos e “ondas de calor” (causador do processo de “branqueamento”) (Horta et al., 2016; Hoegh-Guldberg et al., 2017). Recifes de corais vêm sofrendo importantes impactos antrópicos e podem estar sujeitos a reduções de 70 – 90% mesmo nos cenários mais otimistas de aquecimento global (~ 1,5 °C) (Hoegh-Guldberg et al., 2017). Recifes de coral em águas profundas, embora sujeitos a variações térmicas mais graduais, devem ter seus habitats reduzidos em até 70%, devido à diminuição da profundidade de saturação do CaCO_3 (Guinotte et al., 2006).

Ecossistemas sublitorais marinhos, diante das alterações térmicas, desoxigenação, acidificação e redução da produtividade primária, têm demonstrado mudanças associadas às alterações na distribuição geográfica de organismos, desde o fitoplâncton até mamíferos marinhos. Essas mudanças tendem a alterar a estrutura das comunidades, a composição das cadeias tróficas, os níveis metabólicos e as taxas de consumo dos níveis tróficos (Poloczanska et al., 2013). Em geral, observa-se uma expansão de espécies tropicais e subtropicais para latitudes maiores (uma “tropicalização da fauna”), com os referidos efeitos observados em recifes de coral, costões rochosos, pradarias marinhas e ecossistemas pelágicos. Nesses ambientes, diminuições na produtividade primária, decorrente da expansão de áreas bem estratificadas, também têm diminuído a biomassa e a produtividade de populações animais, com consequências para a produção pesqueira (Blanchard et al., 2012). Mudanças significativas nesse sentido já têm sido descritas no Sudoeste Atlântico, com potenciais efeitos sobre as comunidades marinhas e a atividade pesqueira (Gianelli et al., 2019; Franco et al., 2020; Perez & Sant’Ana, 2022).

Ecossistemas pelagiais e bentônicos profundos dependem do fluxo da matéria orgânica produzida em excedente na superfície do oceano e sua transferência para maiores profundidades (*i.e.*, “bomba biológica”) (Thurber et al., 2014). Nesse sentido, os cenários futuros de redução do excedente de produção primária devem levar ao empobrecimento desses ecossistemas, já limitados energeticamente, afetando sua biodiversidade e seu funcionamento (Sweetman et al., 2017). Esses ambientes são responsáveis por serviços ecossistêmicos em grande escala, que incluem o sequestro do carbono em carbonatos e a remineralização de nutrientes, os quais podem estar ameaçados pelas mudanças ambientais oceânicas (Levin & LeBris, 2015).

As tendências observadas e projeções futuras das diferentes alterações ambientais e seus efeitos sobre os ecossistemas marinhos têm sido interpretadas à luz do conhecimento atual sobre as condições preferenciais de organismos, das estruturas conhecidas das comunidades e das cadeias tróficas. No entanto, se sabe menos sobre os níveis de resiliência de organismos a essas mudanças, através, por exemplo, de aclimação ou mesmo adaptação por meio do processo evolutivo. A

compreensão desses processos é fundamental para o aperfeiçoamento das previsões sobre as transformações nos ecossistemas marinhos.

3 Riscos e Impactos aos Sistemas Ecológicos Costeiros e Marinhos

Os sistemas socioecológicos são formados a partir da interação entre “sistemas naturais” e “sistemas humanos”. Sistemas naturais envolvem componentes bióticos e abióticos do ambiente, independentes da intervenção humana, mas potencialmente afetados por elas. Sistemas humanos incluem os elementos fisiológicos e de saúde humana, relações socioculturais, crenças, tecnologias, economia, alimentação, política e sistemas legais, entre outros (Olstrom, 2009).

Sistemas socioecológicos estabelecidos em regiões costeiras ou associados aos oceanos têm existido no planeta por milênios. Sistemas humanos ainda dependem dos sistemas naturais marinhos e dos serviços que eles proveem, porém, numa maior escala espacial e diante de maiores impactos ambientais, quando comparados aos tempos pré-industriais (Inniss & Simcock, 2017). O aquecimento global em curso tem implicado em progressivas transformações dos sistemas naturais costeiros e oceânicos e ameaças ao seu funcionamento (ver acima). Conseqüentemente, tem se tornado também uma ameaça à sustentação dos sistemas socioecológicos costeiros e marinhos. As perspectivas de prejuízos a tal sustentação (ou “riscos”) dependem da “vulnerabilidade” dos sistemas socioecológicos às mudanças identificadas no ambiente marinho que, fundamentalmente, se decompõe em três elementos-chave (IPCC, 2001):

- A “exposição” do sistema aos efeitos físicos e biogeoquímicos da mudança climática, incluindo as potenciais transformações dos ecossistemas costeiros e oceânicos, bem como os potenciais efeitos sobre o sistema humano (e.g., modificação das fontes de alimento, habitação, trabalho e renda).
- A “sensibilidade” dos sistemas ecológico e humano a esses efeitos envolvendo o dimensionamento das conseqüências (positivas, neutras ou negativas) da exposição dos ecossistemas marinhos às mudanças ambientais, em termos de integridade (e.g., perda de biodiversidade), funcionamento (e.g., diminuição da produtividade biológica) e provisão de serviços ecossistêmicos (e.g., diminuição na produtividade pesqueira), bem como para a manutenção das relações de dependência das atividades dos elementos do sistema humano (e.g., desemprego, desalojamento, desnutrição, etc.).
- A “capacidade de adaptação” do sistema socioecológico à mudança climática, que se refere à habilidade do sistema de se ajustar a prejuízos moderados decorrentes dos efeitos dessas mudanças, de tirar proveito das oportunidades que venham a surgir, ou conviver com suas conseqüências.

A dimensão e reversibilidade dos impactos sociais e perdas econômicas nos ambientes costeiros refletem a sensibilidade desses sistemas às referidas mudanças, por exemplo, devido ao nível de dependência socioeconômica de atividades, como a construção civil, turismo, atividades portuárias, abastecimento público proveniente de bacias hidrográficas costeiras, navegação, pesca e maricultura. Comunidades vegetais costeiras (e.g., manguezais e marismas) têm mecanismos naturais para absorver tais impactos quando ocorrem associados a estuários, sendo resilientes dentro de determinados limites de intensidade e velocidade das alterações físicas. Ultrapassados esses limites, no entanto, essas comunidades podem ser descaracterizadas com importantes impactos nas populações de peixes, crustáceos, aves e outros organismos, bem como em populações humanas tradicionais dependentes da pesca e outras atividades.

A capacidade adaptativa aos referidos impactos está associada ao avanço de soluções técnicas no campo das ciências ambientais, biotecnológicas, engenharias, ciências sociais e econômicas, mas também na efetividade das estruturas de governança, necessárias à promoção do debate participativo, tomada de decisão, planejamento estratégico e gestão. Por exemplo, a adaptação de cidades litorâneas ao efeito do avanço do nível do mar pode se beneficiar de soluções técnicas como a remodelagem do desenho urbano, modificação da estrutura

de vias públicas e edifícios, engordamento de praias e construção de estruturas de contenção, por meio de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) (Atanasova et al., 2021). A efetividade das possíveis soluções técnicas, no entanto, depende também da capacidade de gestão do ambiente urbano, traduzida em políticas públicas de curto, médio e longo prazos, como planos diretores, Projetos “Orla”, Planos Municipais de Gerenciamento Costeiro, Planos Municipais de Mudanças do Clima entre outros instrumentos das políticas públicas de natureza ambiental, urbana e inclusive setoriais. No contexto das adaptações às mudanças dos ambientes costeiros e marinhos também se deve considerar oportunidades de uso que venham a surgir como conseqüência dessas mudanças. Por exemplo, manguezais poderão avançar para regiões costeiras em latitudes maiores, diferentes espécies marinhas poderão ter seu potencial de cultivo aumentado, entre outras.

A pesca e a aquicultura marinhas são importantes exemplos de sistemas socioecológicos vulneráveis aos efeitos das mudanças globais do clima. Em 2019, esses sistemas supriam 7% da demanda proteica global, uma taxa igual ou superior à suprida por aves, porcos ou gado bovino (FAO, 2022). Em alguns países pobres, peixes podem atender entre 20% e 50% da demanda per capita de proteína animal. Estima-se que três bilhões de pessoas estejam nessa condição nutricional, o que coloca a pesca como um importante vetor de “segurança alimentar” (HLPE, 2014). A população humana deverá superar os nove bilhões de habitantes até 2050 e, se mantidas as proporções atuais de consumo global de pescado, deverá demandar um aumento aproximado de 50% na produção de pescado nas próximas cinco décadas (Rice & Garcia, 2011). Em relação à pesca marinha, essas perspectivas já eram desafiadoras, devido à condição de sobrepesca de recursos pesqueiros frequentemente diagnosticada em muitas regiões do planeta (Costello et al., 2016; Hilborn et al., 2020). A exposição desse serviço às mudanças dos ecossistemas costeiros e marinhos, descritas acima, apontam para limitações ainda maiores (Perez et al., 2020).

A diminuição da produtividade primária dos oceanos, devido à expansão de regiões bem estratificadas, causou reduções médias em torno de 4% no potencial máximo de captura em 235 estoques de peixe entre 1930 e 2010, com algumas regiões apresentando quedas de até 35% (Free et al., 2019). A expansão das áreas sob a influência de temperaturas mais elevadas e seus efeitos nas mudanças da distribuição espacial de espécies marinhas, bem como nas etapas dos seus ciclos de vida (Burrows et al., 2011; Hu et al., 2022), têm provocado alterações na composição de espécies capturadas com a predominância gradual de espécies de áreas tropicais (Cheung et al., 2013). Cenários otimistas (RCP 2.6) apontam para diminuições no potencial máximo de captura no século XXI, de 2,8% a 9,1%. Em cenários pessimistas (RCP 8.5), essas reduções atingem entre 16,2% e 25,5% (IPCC, 2019). Em relação à maricultura, estima-se que as áreas para o cultivo de peixes podem se expandir para maiores latitudes (~8% em 20 anos). No caso de moluscos bivalves, essas áreas de cultivo devem retrair em um milhão de km² (incluindo o desaparecimento total em alguns países) devido ao aumento da temperatura, redução da produção primária e redução da saturação do CaCO₃, na forma cristalina de Aragonita, utilizada para a construção de conchas (Froehlich et al., 2018).

Sumaila et al. (2019) analisaram, durante uma década (2001 – 2010), a sensibilidade global dos estoques de peixes, do desempenho econômico das pescarias e do consumo do pescado, considerando cenários onde a temperatura do planeta aumentaria em 1,5 °C e 3,5 °C em relação a períodos pré-industriais. O primeiro cenário, resultante da implementação de medidas globais de redução de emissão de GEEs (Acordo de Paris), levaria a incrementos globais de 6,5% na biomassa de peixes, 7,4% nas receitas da pesca, e uma economia de 3,2% para consumidores de pescado, em relação ao cenário de maior aquecimento (resultante da não implementação do Acordo de Paris). A pesca, em 75% dos países costeiros, se beneficiaria com o menor aquecimento global e 90% das capturas adicionais ocorreriam dentro das Zonas Econômicas Exclusivas de países em desenvolvimento.

A capacidade de adaptar os sistemas pesqueiros às mudanças, em nível regional, passa pela implementação de ações no âmbito (a) das instituições, incluindo políticas públicas, marcos legais e institucionais, manejo e planejamento; (b) dos meios de subsistência, incluindo ações dentro do setor pesqueiro (e.g., diversificação de pescarias e estoques-alvo)

e entre setores (e.g., diversificação de atividades e meios para sair da pesca); (c) da redução de riscos e manejo voltado a aumentar a resiliência (Poulain et al., 2018). No primeiro caso, destaca-se a importância de aprimorar o manejo costeiro integrado e da implementação de áreas protegidas, incorporando previsões de mudança na distribuição das comunidades biológicas, na abundância e nas fases do ciclo de vida, de forma a prover refúgios para espécies com distribuição em processo de mudança (Álvarez-Romero et al., 2018).

4 Exposição E Sensibilidade dos Sistemas Socioecológicos Costeiros e Marinhos de Santa Catarina às Mudanças do Clima

O estado de Santa Catarina tem uma estreita relação com a zona costeira. A colonização dessa zona por europeus remonta à fundação, no século XVI, da Capitania Hereditária de Santana, que se estendia entre a baía de Paranaguá e Laguna (Bueno, 1999). Até 1798, três vilas foram instaladas na região: São Francisco do Sul, Desterro (atual Florianópolis) e Laguna. Ao longo dos séculos XIX, XX e XXI, os municípios foram se desmembrando, de acordo com relações sociopolíticas e econômicas, bem como por meio de características particulares dos sistemas ecológicos ali presentes, seja um estuário, uma bacia hidrográfica ou um rio. Esses núcleos litorâneos, tinham ampla parcela de sua população ocupada na economia de subsistência com produção local, artesanal e atividades diversificadas. A partir de 1930, regiões produtivamente especializadas do estado se formaram, ligadas, principalmente, à industrialização (Miotto, 2011). Entretanto, as principais transformações urbanas ocorreram a partir da década de 1960, quando a construção da rodovia BR-101 impulsionou uma nova dinâmica de organização territorial. Associado à integração física proporcionada pela rodovia, ocorreu um forte e rápido crescimento urbano e industrial, principalmente em direção à zona costeira.

A costa catarinense (Figura 1) possui uma biodiversidade estreitamente relacionada às suas condições climáticas, geológicas e geomorfológicas, sendo uma das regiões geográficas da costa sul-brasileira com maior diversidade de ecossistemas. A região litorânea catarinense está subdividida em três “macrocompartimentos” (Muehe, 1998), a saber: Macrocompartimento Litoral das Planícies Costeiras e Estuários; Macrocompartimento Litoral das Escarpas Cristalinas Sul e Macrocompartimento das Planícies Litorâneas de Santa Catarina. Ao

longo desses macrocompartimentos, localizam-se cinco setores costeiros (Norte, Centro-Norte, Central, Centro-Sul e Sul), onde estão distribuídos 31 municípios (IBGE, 2023). Ao longo de 531 km de costa, os setores costeiros incluem importante diversidade de ambientes, e.g., baías que se emendam em estuários e ilhas fluviomarinhas, enseadas e praias entrecortadas entre feéricos promontórios e costões, manguezais, marismas e pequenos riachos costeiros (Figura 2). Associadas aos ecossistemas costeiros, destacam-se diversas atividades econômicas focadas no turismo, transporte (e.g., regiões portuárias), extração de óleo e gás, construção naval, pesca artesanal e industrial, maricultura e construção civil.

O turismo foi impulsionado a partir da década de 1990, fortalecendo o comércio e os serviços terciários na zona costeira. Entretanto, o rápido crescimento urbano no litoral, associado à escassez de diretrizes consolidadas de ordenamento territorial, resultou em um processo de fragmentação de ambientes naturais costeiros, pelo “espraiamento do tecido urbano” (Ewing, 1997). Nesse processo, o crescimento de aglomerados de baixas densidades residenciais, dispersos no território, com acessibilidade restrita, poucas centralidades e redes viárias com conectividade limitada, tendem a gerar transformações sociais, ecológicas e climáticas (Ewing, 2008; Roychowdhury et al., 2011; Zolnik, 2012). Cidades dispersas tendem a apresentar serviços e equipamentos urbanos localizados em centros únicos, proporcionando um aumento dos deslocamentos realizados pela população para realização das atividades diárias (McDonald & Rudel, 2005). Isso intensifica não somente as questões de mobilidade urbana, mas também as problemáticas relacionadas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa (Glaeser & Kahn, 2010; Wu et al., 2022).

Ao longo do desenvolvimento do Estado e de sua economia, o turismo e as demais atividades acentuaram os conflitos de uso e ocupação do solo e do mar adjacente, tornando complexos os processos de gestão e governança, especialmente nos grandes adensamentos urbanos. Esses processos têm se confrontado com obstáculos adicionais associados às mudanças climáticas e as decorrentes transformações vistas nos ambientes marinhos e costeiros, demandando análises e projeções, baseadas em ciência, capazes de guiar o processo de adaptação da sociedade catarinense. Abaixo, são apresentados cenários baseados em conhecimento científico disponível sobre diferentes sistemas ecológicos, bem como lacunas de conhecimento que deveriam nortear os esforços das ciências ambientais na região.

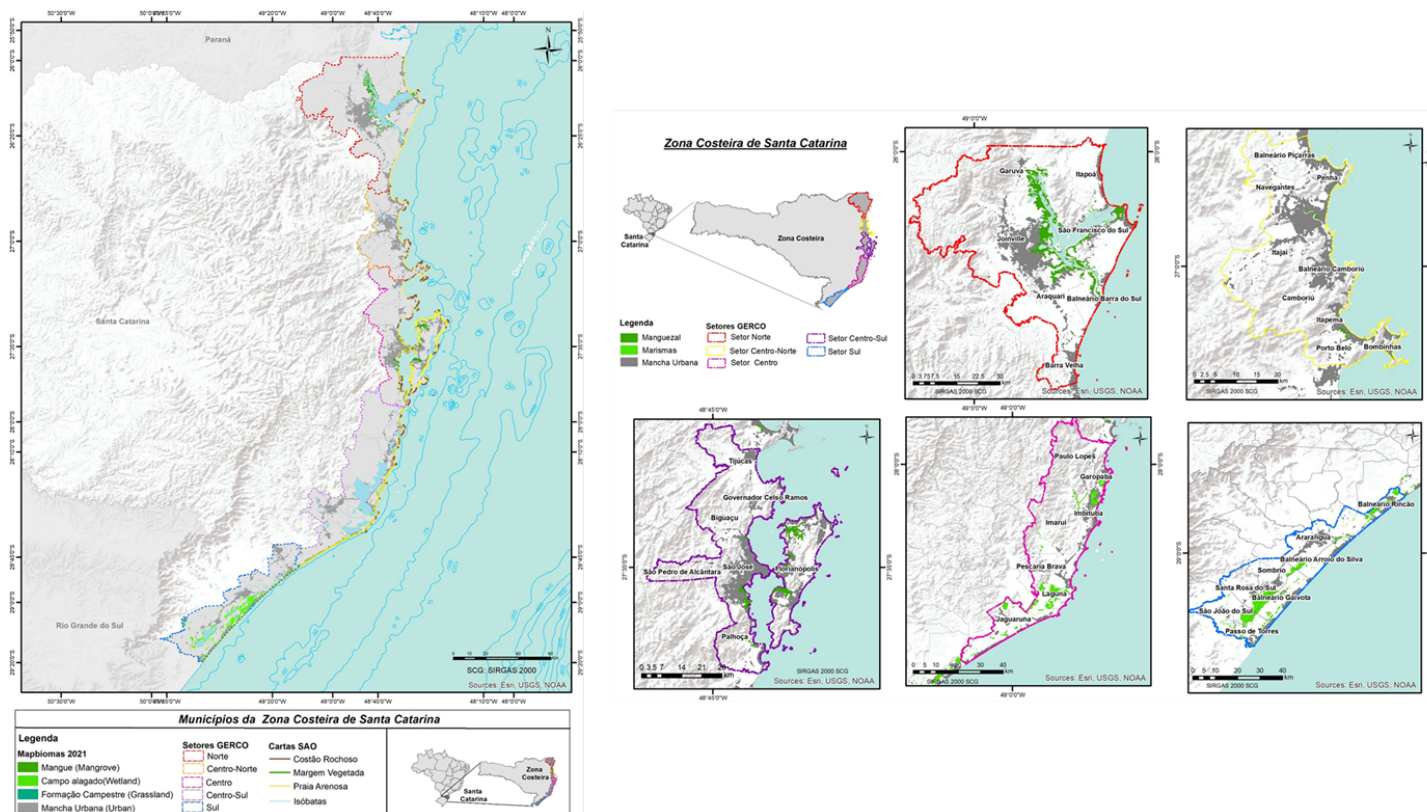


Figura 1. Zona Costeira de Santa Catarina incluindo mapa geral e detalhes dos setores GERCO. São indicadas as áreas ocupadas por ecossistemas costeiros e a mancha urbana.

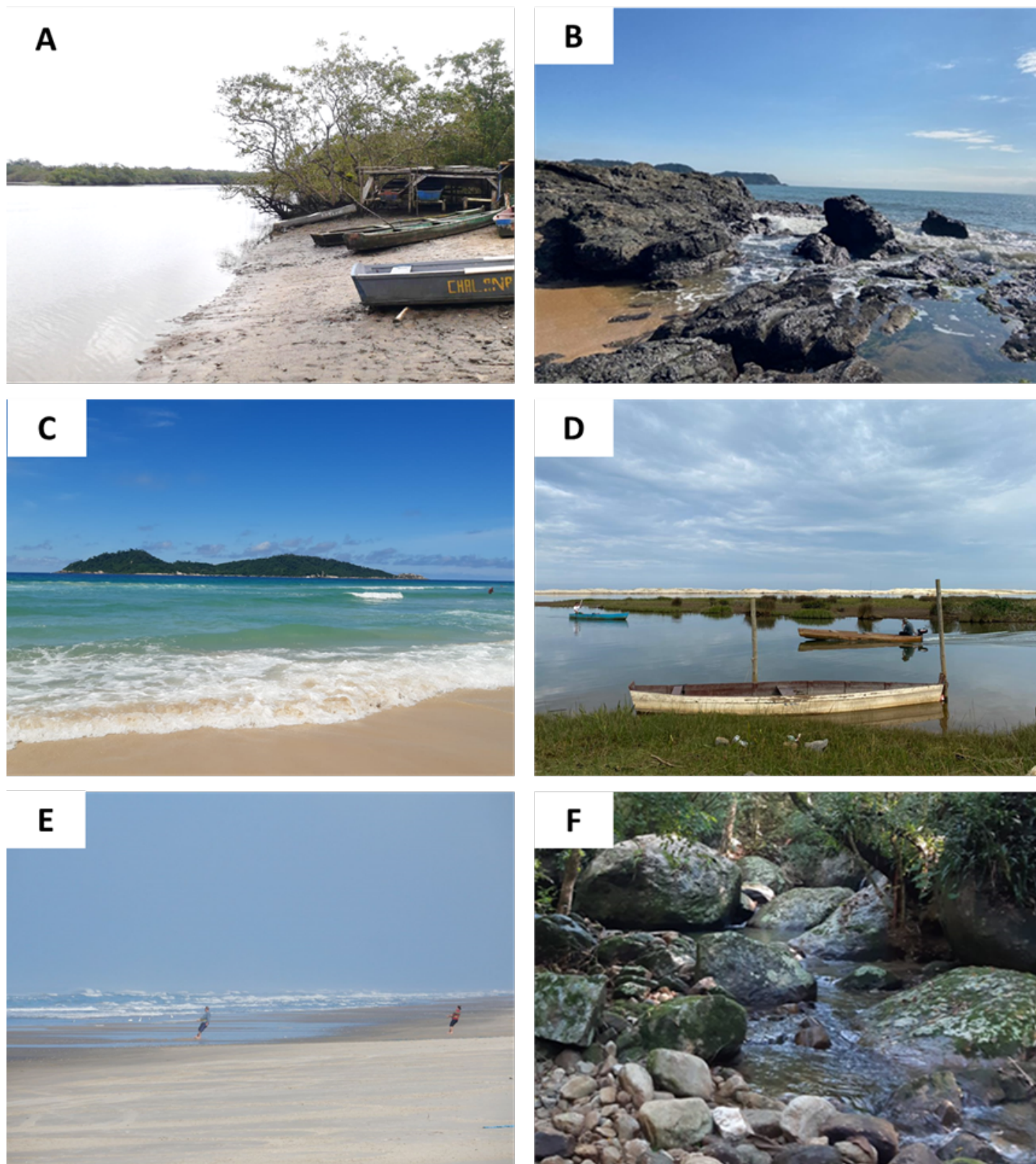


Figura 2. Ambientes naturais da zona costeira de Santa Catarina. A, manguezal – Araquari (Foto: Gustavo Castro); B, costão rochoso – Praia do Poá, Penha (Foto: Rosemeri Carvalho Marenzi); C, Ilha do Campeche – Florianópolis (Foto: Ana Luiza de Oliveira Rezende), D, Marisma – Araranguá (Foto: Marina Campello); E, praia arenosa – Passo das Torres (Foto: Vinicius Yuri); F, Riacho São Paulinho – Itapema (Foto: Nicole Filipini).

4.1 Ocupação da Zona Costeira

A ocupação da zona costeira de Santa Catarina reflete um mosaico de atividades rurais, periurbanas e urbanas estabelecidas ao longo das suas paisagens, as quais variam entre os principais setores costeiros do estado (Cohenca et al., 2017) (Figura 1) e estão expostas ao conjunto de potenciais efeitos das mudanças climáticas. A análise desses efeitos requer estratégias que possam avaliar o território nas escalas regional e local, com foco no dimensionamento dos riscos e vulnerabilidades

existentes em cada um desses setores (em relação ao clima, à fragilidade urbana, aos fenômenos de adensamento populacional, entre outros), por meio de ações integradas entre sociedade, governos, iniciativa privada e universidades.

Os riscos de ocorrência de desastres naturais associados à precipitação, como enchentes, alagamentos e desmoronamentos, são particularmente relevantes em Santa Catarina. Isso decorre da expectativa de aumento nas taxas de precipitação e dos eventos

de precipitação extrema em toda a região Sudeste-Sul do Brasil nas próximas décadas (Leal et al., 2021). Estima-se, entretanto, que esses riscos devem variar, conforme características naturais das regiões costeiras e a taxa de ocupação urbana. A erosão costeira, associada a áreas passíveis de inundação, tende a impor efeitos sinérgicos às áreas urbanas no estado, uma vez que podem apresentar limitações de drenagem, impermeabilização do solo e influência direta dos regimes de marés (Marengo & Scarano, 2016).

Atualmente, quatro Regiões Metropolitanas costeiras estão circunscritas no território catarinense: Norte/Nordeste Catarinense, Foz do Rio Itajaí, Florianópolis e Tubarão (Figura 1). Municípios que já apresentam seus perímetros urbanos totalmente consolidados, por exemplo, Balneário Camboriú e Itapema, iniciaram um processo de verticalização, devido ao impulso do mercado imobiliário, ultrapassando os limites de qualidade ambiental, afetando, assim, o fornecimento de água, o volume de tratamento dos resíduos e a capacidade de mobilidade urbana. Tais problemas e conflitos são acentuados durante os meses de verão em uma das regiões mais visitadas do sul do Brasil, acarretando a alteração sistemática dos serviços prestados pelos ecossistemas costeiros.

Destaca-se, ainda, a falta de adoção e implementação dos Planos Diretores municipais, assim como planos de gestão regionais e outras políticas públicas relacionadas ao ordenamento territorial costeiro e marinho, as quais tendem a expor, cada vez mais, a população mais vulnerável e que deverá ser a mais afetada pelos efeitos ambientais decorrentes dos extremos climáticos.

Nesse sentido, cabe destacar que os municípios costeiros catarinenses, apesar de fortemente conurbados entre si (nas regiões metropolitanas de Joinville, da Foz do rio Itajaí-Açu e Grande Florianópolis), possuem características muito próprias no seu processo de desenvolvimento e expansão urbana – o que ocorreu de forma rápida, espontânea e com deficiências no processo de planejamento, especialmente pelo processo tardio de imposição legal dos Planos Diretores.

Com o advento do Estatuto das Cidades, em 2001, grande parte dos municípios iniciou o seu processo de planejamento urbano somente em 2006, sendo parte desses pressionados por interesses da iniciativa privada em uma expansão imobiliária que legou fortes assimetrias territoriais na década seguinte, tais como a complexidade dos problemas, da desigualdade, da violência, dos conflitos e da falta de resiliência ambiental em inúmeras inundações enfrentadas entre os anos de 2008 e 2013.

A obrigatoriedade da revisão dos Planos Diretores, em 2016, não foi suficiente para que os municípios costeiros que passaram por fortes inundações e enxurradas estabelecessem uma nova cultura de planejamento urbano e, em especial, com a integração de instrumentos de políticas públicas, tais como o Plano Nacional de Adaptação (PNA), o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, ou o Projeto Orla, por exemplo, políticas essas as quais poderiam incrementar a resiliência ambiental e urbana em escala local e regional, frente aos extremos climáticos cada vez mais frequentes e intensos na região.

A região central da costa catarinense, onde há maior ocupação urbana adensada (e.g., a Ilha de Santa Catarina), tende a ser a mais suscetível aos efeitos das mudanças climáticas (Figura 1), com risco aumentado de ocorrência de desastres naturais, devido à chuva excessiva (Tessler, 2008). O litoral centro-norte é naturalmente suscetível a cheias, uma vez que, além da ocupação urbana, abriga a interface entre os ambientes fluviais e de baixa hidrodinâmica formados por sistemas estuarinos (Vieira & Horn Filho, 2012). De fato, a região tem um histórico de ocorrência de inundações, tais como as registradas no estuário do rio Itajaí-Açu (Roseghini & Fontão, 2023). No litoral sul (Figura 1), os riscos de desastres naturais associados à precipitação são reduzidos, devido à baixa taxa de ocupação urbana e à predominância de restingas, dunas e lagoas costeiras (Figura 2), que são áreas amplas, com barreiras arenosas, regime de micromarés (< 1 m) e altura de ondas inferiores a 1,5 m (Tessler, 2008).

Assim, cabe destacar que alguns setores da zona costeira catarinense abrigam um relevante mosaico de unidades de conservação marinhas e costeiras, os quais são integrados ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, a saber: no setor central e centro-sul – a

APA da Baleia Franca e Serra do Tabuleiro, no setor norte, na Baía da Babitonga, o Refúgio de Vida Silvestre Nascentes do Saí que contribuem para o menor adensamento demográfico e conseqüente menor taxa de urbanização e impermeabilização do solo, sendo também consideradas como áreas estratégicas para um desenvolvimento territorial sustentável.

O regime de drenagem das bacias hidrográficas que sustentam as populações litorâneas catarinenses pode também amplificar os riscos associados ao aumento da precipitação. Muitas dessas bacias são de pequeno porte e alimentadas majoritariamente por riachos (Figura 2) que drenam por áreas rurais (e.g., Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú – 199 km²) ou com nascentes em áreas montanhosas (e.g., Bacia Hidrográfica do rio Perequê – 93 km²) (SIRHESC, 2023). Nas localidades com ocorrência de morros e maiores declividades é possível encontrar uma grande quantidade de nascentes vertendo por áreas protegidas (Detzel, 2021), mesmo que em processo de regeneração secundária, mas que estão associadas a maior susceptibilidade a processos gravitacionais de deslocamento de solo e ocorrência natural de cicatrizes de movimentos de massas (Vieira & Horn Filho, 2012). Nas localidades com maior adensamento urbano ou rural existem processos avançados de retificação de canais, soterramento, canalização, desvio para produção agrícola e poluição aguda e pontual em corpos hídricos de menor porte (Brandalero et al., 2017; Lopes et al., 2020), com reflexos diretos sobre o potencial de fornecimento de água para as populações e sobre a qualidade da água doce e marinha rasa.

A gestão ambiental, diante dos efeitos dos eventos climáticos extremos e suas conseqüências, principalmente em municípios costeiros, tem se demonstrado particularmente desafiadora, uma vez que existem perdas econômicas e sociais, e se fazem necessárias medidas voltadas à redução dos riscos de desastres (RRD). Ao longo da última década, eventos meteorológicos extremos (e.g., ciclones extratropicais) têm se tornado mais frequentes como reflexo das mudanças climáticas, deixando milhares de desabrigados e significativos prejuízos financeiros e materiais na região. Esses eventos se somam às enchentes ocorridas em 2008 e 2011, que resultaram de precipitações intensas e sincronismo com os padrões de maré da região estuarina acarretando danos a uma vasta região do baixo vale do Itajaí. Os danos e as perdas materiais resultantes dessas inundações contribuíram para tornar a população afetada pelas inundações mais resiliente e mais consciente da importância de ações da Defesa Civil e da necessidade de obras de infraestrutura urbanas (e.g., de drenagem pluvial), da aplicação e fiscalização de políticas públicas, e de educação ambiental (Moraes et al., 2015). Mais recentemente, também se verifica o aumento da receptividade a soluções adaptativas “baseadas na natureza”, que incluem jardins de chuva, parques lineares, restauração de encostas e matas ciliares e agricultura urbana (IPCC, 2022; Evers et al., 2022).

Por fim, os efeitos das mudanças climáticas sobre a região costeira catarinense e suas interfaces com o processo de ocupação humana deve repercutir também nos ambientes marinhos adjacentes, com grande potencial de alteração das águas costeiras. Estudos têm revelado a influência de aportes dos rios sobre a concentração de nutrientes e a conseqüente eutrofização da região costeira, principalmente em períodos de maior pluviosidade ou em função da maré (Pereira Filho et al., 2001; 2010; 2016). Em associação com o aumento populacional, sobretudo durante o período de verão, a eutrofização coloca em risco a balneabilidade das praias, além de promover a ocorrência de florações de organismos fitoplanctônicos, alguns potencialmente tóxicos (maré vermelha). Tais eventos têm provocado interdições na coleta e comércio de moluscos cultivados na região (Mafrá Jr. et al., 2015) e o aumento da incidência de grandes biomassas de organismos marinhos (algas, briozoários) mortos sobre a praia (arribadas), como verificado na praia central de Balneário Camboriú (Rörig et al., 2017; Tocci et al., 2022). Embora importantes lacunas de conhecimento existam, os processos e mecanismos que geram essas conseqüências são conhecidos, e permitem prever que todos esses fenômenos podem ser amplificados ou potencializados pelo aquecimento da água, aumento da pluviosidade, intensificação de tempestades e outros efeitos atribuídos às mudanças climáticas globais. No início de 2020 foram observados os primeiros sinais de hipoxia na região costeira, próximo à foz do Rio Itajaí (Pereira Filho,

dados não publicados). Embora se desconheça a extensão desses focos no espaço e no tempo, sabe-se que suas consequências podem ser dramáticas no contexto ecológico e econômico.

4.2 Atividades Portuárias e de Navegação

A relação porto-cidade se estabelece por meio de processos econômicos e está fortemente ligada com as diversas escalas do território costeiro e marinho por meio de uma relação de dependência com elementos urbanos e estruturantes da rede logística entre a hinterlândia, a costa e o oceano. A região costeira de Santa Catarina é marcada pela presença de portos e infraestrutura portuária, principalmente em estuários e regiões abrigadas, sendo vital para a economia catarinense.

Como principais portos do estado, podem ser citados o Porto de Imbituba, no setor sul, o complexo portuário de Itajaí-Navegantes no setor centro-norte e os portos de São Francisco do Sul e Itapoá, no setor norte costeiro (Figura 1). Situados na zona de transição entre o continente e a linha de costa, esses portos podem sofrer efeito direto do aumento de eventos extremos, seja pelo aumento do nível do mar por um lado, com o aumento da frequência de marés altas e ressacas, seja pelo efeito de eventos de grandes precipitações no lado continental, o que resulta no aumento da probabilidade de enchentes, no represamento de água pelas frentes frias que eventualmente ocorrem durante as enchentes e ainda pelo assoreamento dos canais de navegação. O aumento da probabilidade de ocorrência de eventos que afetam os portos, como extremos de chuvas, ventos, enchentes e, por consequência, as correntes, impõe aumento do risco de avaria às estruturas portuárias e interrupções na movimentação de cargas. No Porto de Itajaí, por exemplo, enchentes foram consideradas a principal ameaça ao acesso aquaviário, armazéns, pátios e berços (Jardewski, 2020).

Nesse contexto, entende-se que o levantamento e análise científica dos eventos climáticos de maior probabilidade de ocorrência e de geração de riscos estruturais e operacionais dos portos deve ser o foco de programas de cooperação institucional no estado. Além disso, para cada risco climático, os municípios desse setor costeiro devem ser capazes de identificar e implementar medidas de adaptação às infraestruturas portuárias, resultantes dessa análise científica, capazes de torná-las mais resilientes às alterações climáticas.

4.3 Pesca

A atividade pesqueira costeira e marinha é desenvolvida em dois territórios: o espaço aquático, onde vivem os organismos-alvo da atividade, e o espaço terrestre onde se localizam as comunidades pesqueiras, os locais de descarga, beneficiamento e comércio de pescado, os locais de construção, reparo e manutenção das embarcações (Perez et al., 2020). Ambos os territórios estão expostos e são sensíveis às alterações ambientais do oceano, decorrentes das mudanças climáticas globais. Dessa forma, o dimensionamento dos níveis de exposição, sensibilidade e adaptações da pesca catarinense às consequências das mudanças climáticas requerem uma abordagem científica ampla e multidisciplinar. Os ambientes aquáticos ocupados pela pesca catarinense incluem significativamente ambientes transitórios, como estuários e lagunas costeiras, ambientes marinhos costeiros e oceânicos do Atlântico Sudoeste. Como visto anteriormente, todos esses ambientes e os ecossistemas associados estão expostos a efeitos físicos e biofísicos derivados das mudanças do clima, cuja relevância atual e futura requer abordagens científicas integradas.

A pesca estuarina é particularmente importante no norte do estado, onde se localiza o complexo estuarino da Baía da Babitonga e que abriga uma significativa área de manguezal (Figuras 1 e 2). Comunidades pesqueiras situadas nos municípios de Itapoá, Garuva, Joinville, São Francisco do Sul e Araquari utilizam recursos associados ao ecossistema manguezal como o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) e os bivalves sururu (*Mytella charruana*) e bacucu (*Mytella guyanensis*), além de peixes como o baiacu (*Lagocephalus laevigatus*) (Pezzuto et al., 2019). O aumento do nível do mar e da

incidência de eventos extremos têm potencial para erodir zonas marginais e os habitats desses e outros recursos pesqueiros, já que podem abrigar as fases iniciais do ciclo de vida de espécies estuarinas e marinhas. Também pode-se especular o efeito de importantes oscilações nos regimes hidrográficos nos diferentes setores do complexo estuarino derivadas de uma potencial salinização, pela maior intrusão de água marinha, ou mesmo aportes importantes de água doce decorrentes da intensificação do regime de chuvas, previstos para essa região do país. Essa dinâmica pode modificar os padrões de ocorrência espaço-temporal das espécies marinhas e estuarinas de interesse comercial e, consequentemente, a disponibilidade de recursos para pesca artesanal como um todo. Como visto anteriormente, dependendo da disponibilidade de sedimentos, os manguezais têm potencial para compensar a elevação do nível do mar e, devido à salinização do estuário, expandir sua cobertura rio a dentro, ampliando a área de atuação de algumas atividades pesqueiras. No entanto, esse potencial é limitado e depende da intensidade de eventos climáticos extremos e velocidade de subida do nível do mar. Tais modificações na margem dos estuários afetam também os “espaços terrestres” utilizados pelos pescadores que têm nesses espaços suas estruturas de embarque e desembarque, de processamento e comércio de pescado, bem como de construção e reparos de embarcações e equipamentos de pesca. A modelagem de habitats adequados dos manguezais e de diferentes espécies comerciais tomando como fatores preditivos a evolução e projeção dos processos físico-químicos envolvidos poderia contribuir para uma avaliação dos níveis de exposição, sensibilidade e adaptação da pesca estuarina em manguezais dessa região. Projeções realistas das modificações (expansões e retrações) das margens das regiões estuarinas seriam importantes para compreender perdas e ganhos dos espaços terrestres ocupados pelos pescadores estuarinos em Santa Catarina.

A pesca em lagunas costeiras é realizada por inúmeras comunidades pertencentes aos municípios das regiões centro-sul e sul do estado (Figura 1), incluindo Garopaba, Imbituba, Imaruí, Laguna, Pescaria Brava e Jaguaruna (Pezzuto et al., 2019). As margens das principais lagunas costeiras ocupadas pela pesca artesanal (e.g., Lagoa de Santo Antônio, Lagoa do Imaruí, Lagoa Mirim) abrigam marismas e manguezais (Figura 2), mas estes últimos tendem a se expandir na região, inclusive ao sul de Laguna, como resultado das mudanças climáticas em curso (Soares et al., 2012). Esse processo deve criar oportunidades para a expansão da pesca associada a manguezais, por exemplo, de caranguejos como o caranguejo-uçá, típica do norte do estado. Por outro lado, a atividade pesqueira lagunar tem sido historicamente sustentada pela pesca de camarão-rosa (*Penaeus* spp.), o siri azul (*Callinectes* spp.) e a tainha (*Mugil lisa*), três recursos que utilizam essas lagunas durante parte de sua história de vida e são suscetíveis a mudanças nos regimes de vento e padrões hidrográficos que permitem o transporte (para dentro e para fora da região lagunar) e a subsistência de larvas, pós larvas e/ou juvenis (Herbst & Hanazaki, 2014; Noleto-Filho et al., 2017; Rodrigues et al., 2019). Nesse sentido, processos de salinização e anoxia, já apontados como potenciais componentes das mudanças climáticas nesses ambientes, têm potencial para alterar a disponibilidade e produtividade desses e outros recursos. No caso do camarão-rosa e da tainha, indivíduos adultos são capturados nos ambientes neríticos pela pesca artesanal e industrial e, assim, interagem os efeitos de mudanças ambientais em zonas estuarinas e marinhas na sustentação de pescarias sobre esses recursos.

A pesca nas praias ocorre em quase todo o estado sobre cardumes migratórios de tainha, anualmente, entre maio e junho. É uma atividade de grande importância econômica e cultural, mas depende da ocorrência de frentes frias que contribuem com a aproximação dos cardumes a baías e enseadas, onde se tornam suscetíveis à pesca de praia. Além disso, como visto, também está associada ao sucesso das fases da vida que habitam regiões estuarinas de Santa Catarina, Rio Grande do Sul (e.g., sistema Lagoa dos Patos) e notadamente o Rio de La Plata (Herbst & Hanazaki, 2014). Na região sul do estado (municípios de Baln. Rincão, Baln. Arroio do Silva, Baln. Gaivota e Passo de Torres) (Figura 1) as extensas linhas de praia abrigam outras atividades de extração de recursos de praia, como peixes da zona de arrebatção (betaras *Menticirrhus* spp. e outros) e invertebrados

intermareais, como: a minhoca-da-praia (*Polychaeta*, Eunicida), o marisco branco (*Amarilladesma mactroides*), o moçambique (*Donax hanleyanus*), o búzio-da-praia (*Olivancillaria auricularia*) e o corrupto (*Callinectes major*) (Pezzuto et al., 2019). Praias são ambientes dinâmicos (Figura 2) altamente sensíveis às alterações de linha de costa provocadas pela subida do nível do mar e a intensificação dos eventos climáticos extremos (e.g., ciclones extratropicais). Também abrigam estruturas de apoio como os “ranchos de pesca” e são pontos de permanência de pequenas embarcações. A compreensão da dinâmica das praias e a projeção de suas alterações diante dos cenários de mudanças climáticas devem permitir a construção de cenários futuros de sustentação das atividades pesqueiras nesses ambientes. As praias são também elementos estruturantes da indústria do turismo no estado e têm sido submetidas a obras de engenharia (e.g., “engordamento”) como forma de adaptação dessa indústria às consequências dessas mudanças. Nesse sentido, os estudos propostos ganham em profundidade, se realizados de uma forma integrada com essa atividade.

A pesca costeira e sobre a plataforma continental reúne uma parte da pesca artesanal e toda a pesca industrial, fortemente estabelecida no estado e que é responsável pela maior parte da produção desembarcada anualmente (Pezzuto et al., 2019). Os principais recursos pelágicos (e.g., sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*, sardinha-lage *Opisthonema oglinum*, palombeta *Chloroscombrus chrysurus* e outros) e demersais (camarão sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri*, camarão-rosa, corvina *Micropogonias furnieri*, pescadas e outros) têm sua principal área de concentração sobre a plataforma continental e são sustentados por processos oceanográficos dinâmicos característicos dessa região. Muitos desses recursos têm seu ciclo de vida dependente espacialmente das regiões estuarinas e lagunares do estado, tornando sua exposição aos efeitos das mudanças climáticas ainda mais complexa. A intensificação dos eventos climáticos extremos, desoxigenação, acidificação, expansão das áreas com coluna de água estratificada e a diminuição da produtividade primária já podem estar afetando de forma sinérgica o desenvolvimento de diferentes espécies e seus processos populacionais. Sabe-se que o aquecimento do ambiente marinho, com consequente expansão das isotermas para maiores latitudes, pode estar provocando a invasão de espécies demersais com preferência por águas quentes nas áreas de pesca catarinense, com a consequente retração da distribuição de espécies com preferência por águas frias para maiores latitudes, um processo conhecido como a “tropicalização de fauna” (Cheung et al., 2009). A região costeira e da plataforma adjacente a Santa Catarina insere-se na chamada Margem Meridional do Brasil (BMM) (Alberoni et al., 2019), sujeita a uma importante influência de águas cálidas da Corrente do Brasil que flui no sentido norte-sul sobre a quebra de plataforma e talude superior. Na latitude aproximada de 38° Sul, a Corrente do Brasil colide com a Corrente das Malvinas que carrega águas subantárticas no sentido sul-norte, formando a Confluência Subtropical. Ao longo da BMM, a dinâmica sazonal da Corrente do Brasil e da Confluência Subtropical promove interações com as águas costeiras e de plataforma, influenciando as condições ambientais de habitats pelágicos e bentônicos e caracterizando uma zona de mistura entre faunas subtropicais e temperadas quentes (Martins & Haimovici, 2016). Por essa razão, a pesca catarinense tem se beneficiado historicamente de uma mistura de recursos originários das regiões tropicais e subtropicais do Brasil e recursos originários de águas temperadas das plataformas do norte da Argentina e Uruguai (Haimovici et al., 1994). Na última década, tem sido notória a expansão da Corrente do Brasil e da Confluência Subtropical para maiores latitudes, em decorrência da mudança do regime de ventos do Atlântico Sul, provocada pelas mudanças climáticas (Artana et al., 2019; Franco et al., 2020). Essa expansão tem criado uma zona onde o aquecimento (de 0,5 °C até 1,0 °C, entre 1950 e 1999, e de 0,5 °C, entre 2000 – 2016) tem variado acima das médias globais caracterizando a região como um *hotspot* de aquecimento marinho (Hobday & Pecl, 2014). Recentemente, Perez & Sant’Ana (2022) demonstraram a influência desse hotspot sobre os recursos pesqueiros demersais utilizados pela pesca catarinense entre 2000 e 2019, caracterizando o processo de tropicalização da fauna de peixes e crustáceos comerciais a partir de 2013. Nesse processo, espécies de águas quentes, como a corvina, o camarão-rosa e o peixe porco (*Balistes capricus*) tendem a se tornar mais disponíveis à

pesca, enquanto espécies de águas frias, como a castanha (*Umbrina canosai*), a merluza (*Merluccius hubsi*) e o peixe-sapo (*Lophius gastrophysus*) têm se tornado progressivamente menos disponíveis. Um efeito semelhante também foi detectado na pesca pelágica oceânica, com a expansão latitudinal das áreas de pesca de atuns tropicais (Sant’Ana, 2023). O impacto da “tropicalização” da fauna no desempenho econômico da pesca industrial e artesanal de Santa Catarina apresenta-se como um tema crucial a ser abordado pelas ciências ambientais (Sant’Ana, 2023).

A exposição e sensibilidade da pesca aos potenciais cenários ambientais no futuro não são devidamente compreendidos, mas podem ser críticos. Por exemplo, levantamentos recentes sobre a pesca artesanal apontam para um contingente de 10 a 11 mil pescadores com renda per capita entre 0,62 e 2,72 salários mínimos por mês e que têm na atividade pesqueira sua principal ocupação (Pezzuto et al., 2019). Também foram quantificadas pouco mais de 6 mil embarcações de pesca em operação no estado e mais de 14 mil estabelecimentos de apoio, incluindo 10.053 locais de desembarque, 717 unidades de beneficiamento, comercialização e armazenamento de pescado, 62 de fabricação de gelo e outros. Essa estrutura distribui-se de forma heterogênea entre os macrocompartimentos da zona costeira do estado, sendo as regiões lagunares do centro-sul, pela diversidade de ambientes naturais e dependência das comunidades tradicionais, as que abrigam metade das embarcações artesanais e estruturas de apoio do estado. Em estudo recente, Bannwart (2021) identificou, em depoimentos de pescadores artesanais de diversos municípios do norte e centro-norte catarinense, a percepção dos efeitos das mudanças climáticas em seu dia-a-dia, destacando a imprevisibilidade dos ventos e das condições de navegação como principais mudanças. Conhecer a heterogeneidade da exposição desses ambientes costeiros às alterações ambientais em curso e previstas para o futuro, bem como da sensibilidade das macrorregiões, municípios e comunidades litorâneas aos impactos dessa exposição, são os passos fundamentais para o desenvolvimento de soluções adaptativas para a atividade pesqueira catarinense.

4.4 Maricultura

A vocação para a maricultura no estado de Santa Catarina iniciou na década de 1980 como alternativa de renda para as populações locais litorâneas envolvendo, principalmente, o cultivo de moluscos marinhos, como mexilhões e ostras (Paulilo, 2002). Com o apoio do governo estadual, a atividade promoveu a ampliação da cadeia produtiva de frutos do mar, contribuindo significativamente para o desenvolvimento socioeconômico da região costeira. Entretanto, a sustentabilidade da atividade está sujeita a interferências associadas às alterações climáticas, envolvendo aumento da temperatura, variações do nível do mar, desenvolvimento de algas nocivas, alterações nos padrões de precipitação e, consequentemente, nos aportes continentais e de nutrientes, além de problemas associados a poluição/contaminação e acidificação de águas costeiras (Maulu et al., 2021).

A produção, ou balanço energético, de organismos cultivados está diretamente associada às condições ambientais das áreas de cultivo e sua variabilidade temporal e espacial. Por exemplo, os aportes continentais próximos a áreas de cultivo influenciam diretamente a concentração do material particulado em suspensão, o que afeta a disponibilidade de nutrientes, favorecendo a produtividade primária e uma maior ou menor proporção de material inerte ou inorgânico. Essas variações determinam diretamente as taxas de assimilação de organismos suspensívoros (e.g., mexilhões e ostras) e, assim, sua produtividade, que pode sofrer significativas alterações em cenários previstos de aumento da pluviosidade na região (Resgalla Jr. & Schettini, 2006; Resgalla Jr. et al., 2007 e 2008). Variações na temperatura e salinidade têm também o potencial de provocar importantes respostas fisiológicas dos organismos cultivados.

A diversidade da fauna associada aos cultivos marinhos é influenciada pelo tipo de estrutura física utilizada nos cultivos e pela interferência direta de manejos da produção (Marenzi, 2002; Marenzi & Branco, 2006). Com as alterações climáticas, essa diversidade também pode se deslocar para novos pontos de equilíbrio na cadeia trófica em resposta às alterações da riqueza de espécies.

A acidificação do ambiente marinho como consequência do aumento de CO₂ atmosférico tem potencial para afetar organismos de cultivo, já que muitas formas larvais de invertebrados marinhos, incluindo larvas véliger de bivalves, apresentam sensibilidade ao baixo pH (USEPA, 1996), além de problemas associados à calcificação de suas conchas (Waldbusser et al., 2015). Por outro lado, existe uma variabilidade de rotas biogeoquímicas onde bivalves atuam como bombas biológicas, que estão sujeitas a interferências advindas dos processos associados às mudanças climáticas. Como exemplo, tem-se a deposição de material particulado em suspensão através das taxas de filtração dos mexilhões (Schettini et al., 1997) e o aprisionamento do CO₂ nos sedimentos em sítios de cultivo. Essas rotas podem ser alteradas em áreas costeiras, onde a produção de organismos cultivados se apoia, principalmente, em suas altas taxas metabólicas que, por sua vez, respondem diretamente às alterações climáticas, envolvendo um complexo sistema de balanço energético de difícil previsão.

4.5 Conservação da Biodiversidade e dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos

Em Santa Catarina, há a presença regular de diversas espécies migratórias, incluindo aves e diversos mamíferos marinhos. Uma espécie emblemática é a baleia franca (*Eubalaena australis*) que, durante os meses de inverno, utiliza o litoral sul catarinense como área de reprodução e, após o período reprodutivo, se desloca para suas áreas de alimentação em águas antárticas (Valenzuela et al., 2009). Ao longo desse circuito migratório, a espécie tem experimentado áreas marinhas onde o aumento da temperatura da água tem excedido as médias do Atlântico, incluindo o *hotspot* de aquecimento marinho do Atlântico Sudoeste (Franco et al., 2020) e a Península Antártica (Vaughan et al., 2003). Já se sabe que as anomalias térmicas na região Antártica afetam negativamente a produção de *krill* e o sucesso reprodutivo das baleias francas no sul do Brasil (Seyboth et al., 2016), e que o aquecimento do oceano tem um grande potencial para impactar a recuperação dessa população (Agrelo et al., 2021). Os potenciais efeitos do aquecimento do mar ao longo das migrações reprodutivas da espécie são pouco conhecidos e podem ser importantes alvos de investigação. O impacto das mudanças climáticas sobre as grandes baleias tem sido amplamente discutido, devido ao seu papel na cadeia trófica de altas latitudes (Ullah, et al., 2018; Albuoy et al., 2020; Bestley et al., 2020; Van Weelden et al., 2021). A Comissão Baleeira Internacional (*International Whaling Commission* – IWC) vem realizando, desde 1996, workshops para avaliar as consequências das mudanças climáticas sobre as espécies e considera que este é um dos temas de preocupação para a conservação das espécies (IWC, 2022).

Assim como nos cetáceos, diversas espécies de aves marinhas podem sofrer impactos com a mudança climática. Espécies antárticas, por serem extremamente dependentes de condições ambientais nos períodos reprodutivos, têm sido mais afetadas pelas alterações no clima antártico (Jenouvrier et al., 2005). Filhotes de albatrozes-de-sobrancelha-negra (*Thalassarche melanophris*) apresentam menores chances de sobrevivência com o aumento da temperatura da água (Jenouvrier et al., 2018; Ventura et al., 2021). Entretanto, os efeitos variam, não apenas entre espécies, mas também entre populações de uma mesma espécie (Croxall et al., 2002). Outras espécies de águas frias, tais como os lobos-marinhos subantárticos (*Arctocephalus tropicalis*) e elefantes-marinhos (*Mirounga leonina*), têm ocorrência mais esporádica em Santa Catarina, mas, devido à dependência de fatores ambientais para seu deslocamento, provavelmente serão afetados por mudanças no clima (Moura et al., 2010; Oliveira et al., 2023).

Respostas de outros grupos marinhos às alterações climáticas têm sido pouco estudadas, em parte, pela indisponibilidade de períodos longos de observação. Pode-se destacar, nesse contexto, as alterações na comunidade zooplancônica observada entre 1996 a 2009, no litoral centro-sul do estado, em associação às oscilações dos ciclos interanuais do fenômeno El Niño (ENSO) e o deslocamento da pluma do Plata para o sul do Brasil (Resgalla Jr., 2022).

Na faixa litorânea, Santa Catarina abriga uma rica rede de drenagem, com muitas bacias hidrográficas de pequeno porte e composta, principalmente, por riachos costeiros (SIRHESC, 2023). Esses corpos aquáticos detêm importância fundamental para a preservação da biodiversidade aquática de água doce (por exemplo, peixes, larvas de insetos, tartarugas e anfíbios e para espécies de peixes diádromas – aquelas que realizam migrações entre rios e mares para reprodução) (Pinheiro et al., 2017). Os efeitos das mudanças climáticas sobre esses ecossistemas são mediados pelo ciclo hidrológico e temperatura da água, com reflexos diretos sobre o metabolismo e comportamento dos organismos aquáticos (Taniwaki et al., 2017; Campos et al., 2019) e sobre o potencial de recolonização de áreas, em resposta a eventos extremos (Godoy et al., 2022). A biodiversidade aquática, em ambientes de transição costeira, desempenha funções essenciais para manutenção da ciclagem de nutrientes, autodepuração da água e provisão de biomassa para as cadeias alimentares (Vanni, 2002; Mello et al., 2020).

Segundo o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, para que haja possibilidade de remediação dos impactos das mudanças climáticas à biodiversidade, um dos caminhos é o fortalecimento das Unidades de Conservação (UCs), integradas a sistemas de gestão costeira eficientes, propiciando maior resiliência as comunidades marinhas e incrementando sua chance de se adaptar aos oceanos mais quentes e acidificados que se anunciam (MMA, 2015). Foram levantadas 74 UCs Federais com representação de ecossistemas marinhos e costeiros, sendo 33 de proteção integral e 41 de uso sustentável (Rocha et al., 2020). No Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, em que constam áreas nas esferas federal, estadual e municipal, constam 195 UCs marinhas, contudo, a eficiência de gestão é questionável (Ribeiro et al., 2020). Ainda, importante considerar que entre os objetivos de conservação na natureza, incluindo e discriminando aqueles de cada uma das 12 categorias de UCs, não são citados objetivos relacionados à atenuação dos eventos extremos, como minimização de inundações (Marenzi & Longarete, 2018), e de regulação da dinâmica costeira e marinha.

Em Santa Catarina, foi verificado que, entre as UCs estaduais e federais, os ecossistemas costeiros e marinhos estão menos representados que outros ecossistemas da Mata Atlântica (Martins et al., 2015). Contudo, esses ecossistemas se destacam quanto aos serviços ecossistêmicos que oferecem, sobretudo, os de regulação, como os promontórios costeiros que podem servir de barreira no transporte sedimentar, dissipar a energia das ondas, prevenir a erosão e proteger a costa (Oliveira et al., 2018). Especificamente no ecossistema da restinga, a cobertura vegetal exerce papel fundamental para a estabilização dos sedimentos e manutenção da drenagem natural costeira (Falkenberg, 1999), assim como mantém mais estável os aglomerados urbanos litorâneos, atuando na dinâmica hidrológica do lençol freático e atenuando o efeito dos ventos e o deslocamento dos grãos de areia para o interior (Damaso, 2009). A garantia de proteção da vegetação em unidades de conservação, de forma geral, ameniza os efeitos das inundações e reduz a erosão (Medeiros et al., 2011).

4.6 Turismo

O turismo, como atividade de necessidade social (e.g., ócio, lazer, cultura, direitos trabalhistas) e parte importante do setor econômico, é sensível aos efeitos de mudanças climáticas sobre o oceano, com destaque para o efeito de furacões e alagamentos sobre destinos litorâneos, condições de navegação de embarcações de turismo deterioradas, devido a frequentes tempestades, ondas de calor ou frio e outros. Outrossim, o turismo também contribui com o incremento da geração de gases de efeito estufa, pois são inúmeras as atividades, especialmente de deslocamento intensivo de pessoas, as quais são responsáveis também pelo uso intensivo de energia (seja por aviões, embarcações de passageiros, ou deslocamento de veículos), contribuindo com os efeitos das mudanças climáticas.

Grimm et al. (2018) enfatizam que a relação turismo *versus* mudanças climáticas é um tema ainda pouco expressivo no Brasil, não havendo estratégias de adaptação ou desenvolvimento de metodologias de estudo que possam auxiliar ao setor turístico. Esse cenário difere da realidade de países da Ásia, Europa ou

América do Norte, onde os efeitos dos eventos climáticos extremos têm ocasionado perdas humanas e econômicas o que, talvez, por essa razão faz com que pesquisas tenham sido desenvolvidas de maneira mais vigorosa. Essa deficiência nacional é particularmente importante na zona costeira de Santa Catarina, onde a atividade tem destacada importância econômica.

Nesse sentido, abordagens científicas têm se mostrado essenciais para o desenvolvimento de critérios que permitam a construção de diagnósticos e prognósticos capazes de orientar o planejamento, a gestão e a governança voltada ao desenvolvimento do turismo na zona costeira de Santa Catarina e promover uma atividade responsável e sustentável (*i.e.*, resiliente aos eventos extremos e com baixo custo ambiental).

4.7 Saúde Pública

Os impactos diretos das mudanças climáticas na saúde humana resultam de eventos extremos do clima, como, por exemplo, ondas de calor e de frio, furacões, inundações (enchentes e enxurradas), queimadas e secas. Indiretamente, as alterações nos ecossistemas e seus ciclos biológicos e geoquímicos, podem modificar o perfil epidemiológico de doenças já existentes, emergentes e reemergentes (Burge et al., 2014; Carlson et al., 2023). As condições ambientais, geográficas, socioeconômicas e as condições dos sistemas de saúde são importantes forças motrizes, já que podem intensificar ou reduzir os possíveis impactos na saúde. Os impactos diretos e indiretos também podem causar efeitos ocupacionais, com perda de produtividade, desnutrição, problemas psicossociais e migração forçada (Araujo et al., 2019).

O monitoramento da distribuição de micro-organismos no ambiente costeiro por meio do estudo do DNA ambiental (eDNA) tem sido uma ferramenta valiosa para compreender os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos. Estudos, como o de Aylagas et al. (2021), descrevem a superioridade do eDNA em relação às técnicas tradicionais de taxonomia, ao desenvolver índices bióticos bentônicos. Também é possível monitorar padrões sazonais na biodiversidade marinha (Berry et al., 2019), fornecendo insights importantes sobre alterações ambientais, como poluição e aquecimento das águas costeiras. O eDNA pode ser empregado, ainda, para monitorar a presença de organismos patogênicos em ecossistemas costeiros, e os resultados revelam a presença de organismos que apresentam riscos para a saúde humana e animal (Ríos-Castro et al., 2021). Outro aspecto relevante é a detecção de genes de resistência a antibióticos em ambientes costeiros. Esses podem ser indicadores valiosos de contaminação por esgoto e atividades humanas, destacando a importância do monitoramento para entender a disseminação desses genes e seus impactos potenciais na saúde pública (Zhang et al., 2020). Portanto, considera-se fundamental que a análise do eDNA seja incorporada aos instrumentos de monitoramento do ambiente costeiro de Santa Catarina. Sua sensibilidade permite acompanhar a evolução das comunidades microbianas, incluindo organismos patogênicos, genes de resistência, entre outros alvos no ambiente costeiro, proporcionando uma compreensão abrangente dos efeitos das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos, tornando-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e gestão para enfrentar os desafios ambientais.

Uma outra questão associada à saúde pública envolve as queimaduras (envenenamento) por águas-vivas durante o período de verão, em toda a costa de Santa Catarina. Apesar de ser um fenômeno normal e com a participação de espécies relativamente com menor poder de dano aos banhistas (Classe Hidrozoa), existe a possibilidade de agravamento do fenômeno pelas alterações climáticas. Aportes continentais e padrões de vento interferem diretamente no recrutamento das espécies de águas-vivas, assim como na sua ocorrência na zona de arrebentação. Além disso, espécies mais perigosas e até mesmo mortais, como as Cubozoas, podem aumentar sua frequência de ocorrência em áreas de banho onde normalmente não ocorrem, em função de perdas nos sentidos de orientação e equilíbrio. Isso porque esses sentidos dependem

de organelas chamadas de estatocistos que contêm “estatólitos” calcáreos passíveis de dissolução e malformação em oceanos progressivamente mais ácidos (Kingsford & Mooney, 2014).

5 Diretrizes para as Ciências Ambientais

A variação dos impactos decorrentes das mudanças climáticas tenderá a produzir efeitos distintos ao longo do gradiente de transição do continente ao oceano. Essa dinâmica aumenta a complexidade dos esforços necessários para interpretar evidências sobre as transformações a que os ecossistemas estão submetidos (exposição), quais as consequências para o funcionamento ecossistêmico e para os sistemas socioecológicos (sensibilidade), bem como do potencial que se tem para a adaptação ao novo funcionamento dos sistemas (capacidade de adaptação) – com mudanças de comportamento ou emprego de tecnologias e gestão.

O desafio da busca por soluções científicas, tecnológicas e de gestão está no cerne dos programas de pós-graduação em Ciências Ambientais, uma vez que o preenchimento de lacunas de conhecimento e tomada de decisões sobre mudanças climáticas é contexto dependente e carece do olhar multidisciplinar. Os riscos aos quais ecossistemas e sistemas socioecológicos estão submetidos no presente, e as pressões aumentadas a que serão submetidos no futuro devem gerar preocupação e estímulo à ação, que entendemos como propulsores das oportunidades que a ciência tem para colaborar com parte da solução.

Uma proposição dos principais riscos e oportunidades de ação em diferentes ecossistemas (Figura 3) e sistemas socioecológicos (Figura 4) em território catarinense foi gerada pelos pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Escola Politécnica da Univali. Para a elaboração dos organogramas, foi tomada como referência a experiência de especialistas que compõem o corpo docente do PPGCTA. Ressalta-se que as atividades de pesquisa têm grande potencial para abordar as problemáticas apontadas, sobretudo nas regiões/ecossistemas de mais fácil acesso da zona costeira. Processos marinhos e oceânicos podem apresentar mais barreiras para observações de campo, dada a necessidade de recursos menos acessíveis e mais onerosos (*e.g.*, navios oceanográficos). Contudo, mesmo nessas regiões, a disponibilidade de grande variedade de dados ambientais coletados remotamente e disponibilizados em bancos de acesso público têm permitido análises importantes com fácil acesso a pesquisadores e estudantes de Pós-Graduação. A presente análise foi produzida pela percepção dos autores deste trabalho que pontuaram com escores de risco (irrelevante, baixo, médio e alto) e de oportunidade para as ciências no âmbito da pós-graduação (alta, média e baixa) sobre exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação dos ecossistemas costeiros e marinhos e dos sistemas socioecológicos aos principais impactos decorrentes das mudanças climática (Figuras 3 e 4). Essa análise tem caráter preliminar e subjetiva, mas objetiva, principalmente, estimular novos pesquisadores a se apropriarem de oportunidades de desenvolver ciência voltada à resolução de problemas práticos e aplicados e contribuir com a construção de saberes e ações que preencham lacunas de conhecimento para o enfrentamento das mudanças climáticas na região costeira de Santa Catarina.

6 Agradecimentos

Os autores são gratos as agências de apoio ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Escola Politécnica – Universidade do Vale do Itajaí: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Governo Federal; Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) da Secretaria da Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo de Santa Catarina. Agradecemos ao Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira de Santa Catarina (PMAP-SC) pelas fotos cedidas. J.A.A.P. e A.O.S.L. fazem parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Mar (INCT – MAR) e Centro de Oceanografia Integrada (COI) (CNPq).

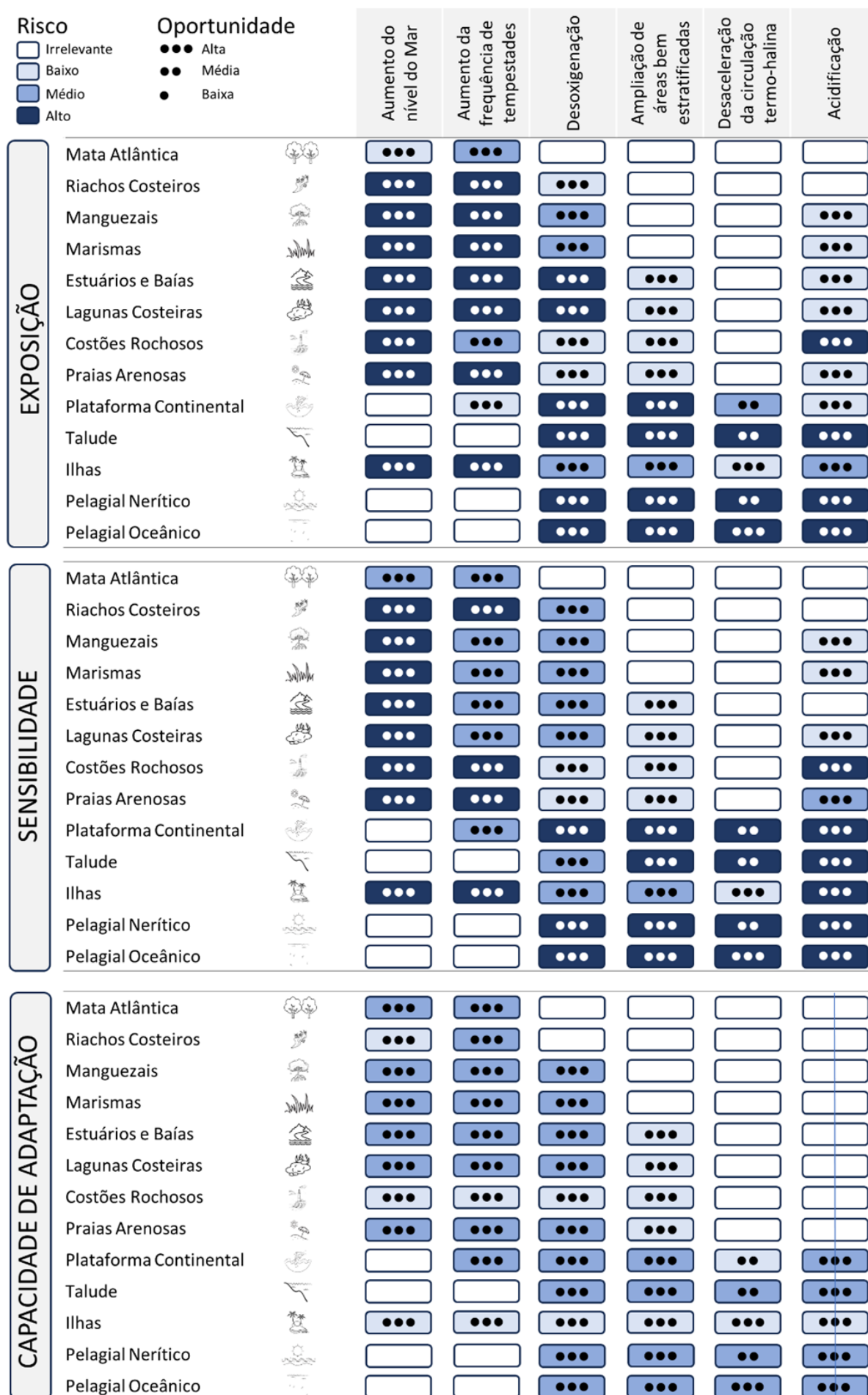


Figura 3. Riscos ambientais e Oportunidades de ação de pesquisa sobre a exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação dos ecossistemas costeiros e marinhos aos principais impactos decorrentes das mudanças climáticas, baseado em experiência de especialistas do Programa de Ciência e Tecnologia Ambiental da Univali.



Figura 4. Riscos ambientais e Oportunidades de ação de pesquisa sobre a exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação dos sistemas socioecológicos costeiros e marinhos aos principais impactos decorrentes das mudanças climáticas, baseado em experiência de especialistas do Programa de Ciência e Tecnologia Ambiental da Univali.

Referências

Agrelo, M., Daura-Jorge, F. G., Rowntree, V. J., Sironi, M., Hammond, P. S., Ingram, S. N., Marón, C. F., Vilches, F. O., Seger, J., Payne, R., & Simões-Lopes, P. C. 2021. Ocean warming threatens southern right whale population recovery. *Sci. Adv.* 7: eabh2823. DOI: 10.1126/sciadv.abh2823.

Alberoni, A. A. L., Jeck, I. K., Silva, C. G., & Torres, L. C. 2019. The new Digital Terrain Model (DTM) of the Brazilian Continental Margin: detailed morphology and revised undersea feature names. *Geo-Mar Lett.* 40: 949-964.

Álvarez-Romero, J. G., Munguía-Vega, A., Begger, M., Mancha-Cisneros, M. M., Suárez-Castillo, A. N., Gurney, G. G., Pressey, R. L., Gerber, L. R., Morzaria-Luna, H. N., Reyes-Bonilla, H., Adams V. M., Kolb M., Graham E. M., VanDerWal J., Castillo-López A., Hinojosa-Arango G., Petatán-Ramírez D., Moreno-Baez M., Godínez-Reyes C. R., & Torre J. 2018. Designing connected marine reserves in the face of global warming. *Glob. Change Biol.* 24(2): e671-e691.

Araujo, M., Ometto, J., & Soares, A. P. 2019. Impactos das Mudanças climáticas no Brasil e caminhos para a sustentabilidade. *Rede Clima, São José dos Campos.*

Artana, C., Provost, C., Lellouche, J., Rio, M., Ferrari, R., & Sennéchaël, N. 2019. The Malvinas current at the confluence with the Brazil current: Inferences from 25 years of Mercator ocean reanalysis. *J. Geophys. Res. Oceans*, 124, 7178–7200.

Atanasova, N., Castellar, J. A. C., Pineda-Martos, R., Nika, C. E., Katsou, E., Istenic, D., Pucher, B., Andreucc, M. B., & Langergraber, G. 2021. Nature-Based Solutions and Circularity in Cities. *Circ. Econ. Sust.* 1: 319-332.

Aylagas, E., Atalah, J., Sánchez-Jerez, P., Pearman, J. K., Casado, N., Asensi, J., Toledo-Guedes, K., & Carvalho, S. 2021. A step towards the validation of bacteria biotic indices using DNA metabarcoding for benthic monitoring. *Mol Ecol Resour.* 21(6):1889-1903. DOI: 10.1111/1755-0998.13395. Epub 2021 Apr 28. PMID: 33825307.

Bannwart, J. P. F. 2021. Vulnerabilidade e capacidade adaptativa dos modos de vida dos pescadores artesanais de frota de arrasto duplo em Santa Catarina. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - Universidade do Vale do Itajaí. 130 p.

Bellotto, V. R., Kuroshima, K. N., & Cecanho, F. 2019. Poluentes no ambiente estuarino e efeitos da atividade de dragagem. In: Branco, J. O., Branco, M. J. L., Bellotto, V. R. (Org.). *Estuário do rio Itajaí-açu, Santa Catarina: Caracterização Ambiental e Alterações Antrópicas.* Editora da UNIVALI Itajaí. 105-126pp.

Berry, T. E., Saunders, B. J., Coghlan, M. L., Stat, M., Jarman S., Richardson, A. J., Davies, C. H., Berry, O., Harvey, E. S., & Bunce, M. 2019. Marine environmental DNA biomonitoring reveals seasonal patterns in biodiversity

- and identifies ecosystem responses to anomalous climatic events. *PLoS Genet.* 15(2): e1007943. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007943. PMID: 30735490, PMCID: PMC6368286
- Bestley, S., Ropert-Coudert, Y., Bengtson Nash, S., Brooks, C. M., Cotté, C., Dewar, M., Friedlaender, A. S., Jackson, J. A., Labrousse, S., Lowther, A. D., McMahon, C. R., Phillips, R. A., Pistorius, P., Puskic, P. S., Reis, A. O. A., Reisinger, R. R., Santos, M., Tarsisz, E., Tixier, P., Trathan, P. N., Wege, M., & Wienecke, B. 2020. Marine Ecosystem Assessment for the Southern Ocean: Birds and Marine Mammals in a Changing Climate. *Front. Ecol. Evol.* 8: 566936.
- Beyruth, Z. 2008. Água, Agricultura e as Alterações Climáticas. *Revista de Tecnologia e Inovação Agropecuária. Rev. Tecn. Inov. Agrop.* 6: 74-89.
- Blanchard, J. L., Jennings, S., Holmes, R., Harle, J., Merino, G., Allen, J. I., Holt, J., Dulvy, N. K., & Barange, M. 2012. Potential consequences of climate change for primary production and fish production in large marine ecosystems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 367: 2979-2989.
- Brandalero, S. M., Miquelluti, D. J., Campos, M. L., & Dors, P. 2017. Monitoramento de água e sedimento no Rio Palmeiras, Bacia Hidrográfica do Tubarão (SC), Brasil. *Rev. Eng. San. Amb.* 22(1): 203-212.
- Bueno, E. 1999. Capitães do Brasil: a saga dos primeiros colonizadores. *Objetiva, Rio de Janeiro*, 264p.
- Burge, C. A., Eakin, C. M., Friedman, C. S., Froelich, B., Hershberger, P. K., Hofmann, E. E., Petes, L. E., Prager, W. E., Weil, E., Willis, B. L., Ford, S. E., & Harvell, C. D., 2014. Climate Change Influences on Marine Infectious Diseases: Implications for Management and Society. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2014. 6:249-77.
- Burrows, M. T., Schoeman, D. S., Buckley, L. B., Moore, P., Poloczansk, E. S., Brander, K. M., Brown, C., Bruno, J. F., Duarte, C. M., Halpern, B. S., Holding, J., Kappel, C. V., Kiessling, W., O'Connor, M. I., Pandolfi, J. M., Parmesão, C., Schwing, F. B., Sydeman, W. J., & Richardson, A. J. 2011. The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems. *Sci.* 334(6056): 652-655.
- Campos, D. F., Braz-Mota, S., Val, A. L., & Almeida-Val, V. M. F. 2019. Predicting thermal sensitivity of three Amazon fishes exposed to climate change scenarios. *Ecol. Indic.* 101: 533-540.
- Carlson, C. J., Alam, M. S., North, M. A., Onyango, E., & Stewart-Ybarra, A. M. 2023. The health burden of climate change: A call for global scientific action. *PLoS Climate.* DOI: 10.1371/journal.pclim.0000126
- Cheung, W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, G. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish.* 10: 235-251.
- Cheung, W. L., Watson, R., & Pauly, D. 2013. Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature* 497: 365-369.
- Cohenca, D., Scherer, M. E. G., & Vieira, C. A. O. 2017. Ocupação na zona costeira do sul de Santa Catarina: uma análise histórica de vetores e processos. *Geosul* 32: 47-65.
- Costello, C., Ovando, D., Clavelle, T., Strauss, C. K., Hilborn, R., Melnychuk, M. C., Branch, T. A., Gaines, S. D., Szuwalski, C. S., Cabral, R. B., Rader, D. N., & Leland, A. 2016. Global fishery prospects under contrasting management regimes. *PNAS* 113(18): 5125-5129.
- Coutinho, R., Yaginuma, L. E., Siviero, F., Santos, J. C. Q. P., López, M. S., Christofoletti, R. C., Berchez, F., Ghilardi-Lopes, N. P., Ferreira, C. E. L., Gonçalves, J. E. A., Masi, B. P., Correia, M. D., Sovierzoski, H. H., Skinner, L. F., & Zalmon, I. R., 2016. Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. *Braz. J. Oceanogr.* 64(2): 27-36.
- Croxall, J. P., Trathan, P. N., & Murphy, E. J. 2002. Environmental Change and Antarctic Seabird Populations. *Sci.* 297: 1510-1514.
- Damaso, P. P. 2009. Vegetação dunar: caracterização estrutural de dunas do município de Natal-RN como subsídio para implantação de técnicas de reflorestamento, recuperação e conservação do ecossistema. Tese de Mestrado. Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 79p.
- Detzel, V. A., Folda, C. L., & Baldim, M. M. 2021. Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre de Itapema. Produto 7. Fundação Ambiental Área Costeira de Itapema, FAACI, Itapema, 379p.
- Ditlevsen, P., & Ditlevsen, S. 2023. Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications* 14: 4254. DOI: 10.1038/s41467-023-39810-w.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. 2009. Ocean Acidification: The Other CO2 Problem. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 1: 169-192.
- Entrekin, S. A., Clay, N. A., Mogilevski, A., Howard-Parker, B., & Evans-White, M. A. 2018. Multiple riparian-stream connections are predicted to change in response to salinization. *Phil. T. Roy. Soc. B: Biol.* 374: 20180042.
- Evers, H., Caccia, L., Arioli, M. S., Incau, B., Tornello, V., & Corrêa, F. (2022, outubro 31). Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras. WRI Brasil. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-exemplos-implementados-por-cidades-brasileiras#:~:text=O%20WRI%20Brasil%20atua%20para,a%C3%A7%C3%B5es%20de%20fomento%20%C3%A0s%20SBN>
- Ewing, R. H. 1997. Is Los Angeles sprawl desirable? *J. Am. Plann. Assoc.* 63: 107-126.
- Ewing, R. H., 2008. Characteristics, causes, and effects of sprawl: a literature review. In: Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M., Bradley, G., Ryan, C., Simon, U., & ZumBrunnen, C. *Urban Ecology: an International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature.* 2008. Springer, Boston. 519-535pp.
- Falkenberg, D. B. 1999. Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, Sul do Brasil. *Insula* 28: 1-30.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome. 266p.
- Franco, B., Defeo, O., Piola, A.R., Barreiro, M., Yang, H., Ortega, L., Gianelli, I., Castello, J.P., Vera, C., Buratti, C., Pájaro, M., Pezzi, L. P., & Möller, O. O. 2020. Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic Ocean: a review. *Clim. Change* 162: 2359-2377.
- Free, C. M., Thorson, J. T., Pinsky, M. L., Oken, K. L., Wiedenmann, J., & Jensen, O.P. 2019. Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science* 363 (6430): 979-983.
- Friedman, W. R., Halpern, B. S., McLeod, E., Beck, M. W., Duarte, C. M., Kappel, C. V., Levine, A., Sluka, R. D., Adler, S., O'Hara, C. C., Sterling, L., Tapia-Lewin, S., Losada, I. J., McClanahan, T. R., Pendleton, L., Primavera, M., Toomey, J. P., Weiss, K. R., Possingham, H. P., & Montambault, J. R. 2020. Research priorities for achieving healthy marine ecosystems and human communities in a changing climate. *Front. Mar. Sci.* 7:5. DOI: 10.3389/fmars.2020.00005
- Froelich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. 2018. Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nat. Ecol. Evol.* 2: 1745-1750.
- Fu, W., Randerson, J. T., & Moore, J. K. 2016. Climate change impacts on net primary production (NPP) and export production (EP) regulated by increasing stratification and phytoplankton community structure in the CMIP5 models. *Biogeosciences*, 13: 5151-5170.
- Gianelli, I., Ortega, L., Marín, Y., Piola, A. R., & Defeo, O. 2019. Evidence of ocean warming in Uruguay's fisheries landings: the mean temperature of the catch approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 625: 115-125.
- Gilman, E., Ellison, J., Duke, N. C., & Field, C. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options. *Aquat. Bot.* 89(2): 237-250.
- Glibert, P. M. 2020. Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 91: 101583.
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E., 2010. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development. *J. Urban Econ.* 67: 404-418.
- Godoy, B. S., Valente-Neto, F., Queiroz, L. L., Holanda, L. F. R., Roque, F. O., Lodi, S., & Oliveira, L. G. 2022. Structuring functional groups of aquatic insects along the resistance/resilience axis when facing water flow changes. *Ecol. Evol.* 12(3): e8749.
- Gregory, J. M., Dixon, K. W., Stouffer, R. J., Weaver, A. J., Driesschaert, E., Eby, M., Fichfet, T., Hasumi, H., Hu, A., Jungclaus, J. H., Kamenkovich, I. V., Levermann, A., Montoya, M., Murakami, S., Nawrath, S., Oka, A., Sokolov, A. P., & Thorpe, R. B. 2005. A model intercomparison of changes in the Atlantic thermohaline circulation in response to increasing atmospheric CO2 concentration. *Geophys. Res. Lett.* 32: L12703.
- Grimm, I. J., Alcântara, L. C. S., & Sampaio, C. A. 2018. Tourism under climate change scenarios: impacts, possibilities, and challenges. *Rev. Bras. Pesq. Tur.* 12(3): 1-22.
- Guinotte, J. M., Orr, J., Cairns, S., Freiwald, A., Morgan, L., & George, R. 2006. Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? *Front. Ecol. Environ.* 4(3): 141-146.
- Haimovici, M., Martins, A. S., Figueiredo, J. L., & Vieira, P. C. 1994. Demersal bony fish of the outer shelf and upper slope of the southern Brazil Subtropical Convergence Ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 108, 59-77.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J. F., Casey, K. S., Ebert, C., Fox, H. E., Rapososa, H. E., Fuhita, H., Heinemann, D., Lenihan, H. S., Madin, E. M. P., Perry, M. T., Selig, E. R., Spalding, E. R., Steneck, R., & Watson, R. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Sci.* 319: 948.
- Hansen, B., Østerhus, S., Quadfasel, D., & Turrell, W. 2004. Already the day after tomorrow? *Science.* 305(5686): 953-954.
- Herbst, D. F., & Hanazaki, N. 2014. Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in

- Southern Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 12(4): 879-890.
- Hilborn, R., Amoroso, R. O., Anderson, C. M., Baum, J. K., Branch, T. A., Costello, C., Moor, C. L. de, Faraj, A., Hive, D., Jensen, O. P., Kurota, H., Pequeno, L. R., Macé, P., McClanahan, T., Melnychuk, M. C., Minto, C., Osio, G. C., Parma, A. M., Pons, M., ... & Ye, Y. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *PNAS*, 117(4): 2218-2224.
- HLPE. High Level Panel of Experts. 2014. Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition. A report by the High-Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome. 119p.
- Hobday, A. J., & Pecl, G. T. 2014. Identification of global marine hotspots: sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Rev Fish Biol Fish.* 24: 415-425.
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., Skirving, W., & Dove, S. 2017. Coral reef ecosystem under climate change and ocean acidification. *Front. Mar. Sci.* 4: 158.
- Horta, P. A., Riul, P., Amado Filho, G. M., Gurgel, C. F. D., Berchez, F., Nunes, J. M. C., Scherner, F., Pereira, S., Lotufo, T., Peres, L., Sissini, M., Bastos, E. O., Rosa, J., Munoz, P., Martins, C., Gouvêa, L., Carvalho, V., Bergstrom, E., Schubert, N., ... & Figueiredo, M. 2016. Rhodoliths in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. *Braz. J. Oceanogr.* 64: 117-136.
- Horta, P., Pinho, P. F., Gouvêa, L., Grimaldi, G., Destri, G., Mueller, C. M., Rocha, L., Barufi, J. B., Rorig, L., Assis, J., & Cunha, L. C. da. 2020. Climate Change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies. *Sustainability in Debate*, 11(3): 405-424.
- Hu, N., Bourdeau, P.E., Harlos, C., Liu, Y., & Hollander, J. 2022. Meta-analysis reveals variance in tolerance to climate change across marine trophic levels. *Sci. Total Environ.* 827: 154244.
- Inness, L., & Simcock, A. 2017. *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I. World Ocean Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 973 pp.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. IBGE, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro. 176 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Cidades e Estados de Santa Catarina. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc.html>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge. 1042p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2019: Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 3-35pp.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- IWC. International Whaling Commission. 2022. Environmental Concerns - Climate Change. <https://iwc.int/management-and-conservation/environment/climate-change>
- Jardewski, C. L. F. 2020. Levantamento de Risco Climático para o Porto de Itajaí, SC: Sumário Executivo. Ekta Consultoria, Itajaí. https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/05/BRAZIL-Relatorio-Executivo_Porto-de-Itajai.pdf
- Jenouvrier, S., Weimerskirch, H., Barbraud, C., Park, Y. H., & Cazelles, B., 2005. Evidence of a shift in the cyclicity of Antarctic seabird dynamics linked to climate. *Proc. Roy. Soc. B: Biol.* 272: 887-895.
- Jenouvrier, S., Desprez, M., Fay, R., Barbraud, C., Weimerskirch, H., Delord, K., & Caswell, H. 2018. Climate change and functional traits affect population dynamics of a long-lived seabird. *J. Anim. Ecol.* 87: 906-920. DOI: [10.1111/1365-2656.12827](https://doi.org/10.1111/1365-2656.12827)
- Kerr, R., Cunha, L. C. da, Kikuchi, R. K. P., Horta, P. A., Ito, R. G., Müller, M. N., Orselli, I. B. M., Lencina-Avila, J. M., Orte, M. R. Sordo, L., Pinheiro, B., Bonou, F. K., Schubert, N., Bergstrom, E., & Copertino, M. S. 2016. The Western South Atlantic Ocean in a High-CO2 World: Current Measurement Capabilities and Perspectives. *Environ. Manage.* 57: 740-752.
- Kingsford, M. J., & Mooney, C. J. 2014. The Ecology of Box Jellyfishes (Cubozoa). In: Pitt, K., Lucas, C. (eds) *Jellyfish Blooms*. Springer Dordrecht. 267-302pp.
- Leal, K. B., Robaina, L. E. S., Körting, T. S., & Dutra, R. C. 2021. Desastres naturais associados à erosão e inundação costeira: um levantamento para o Estado de Santa Catarina, Brasil. In: XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação em Geografia. ISSN: 2175-8875.
- Leuven, J. R. F. W., Pierik, H. J., Vegt, M., Bouma, T. J., & Kleinhans, M. G. 2019. Sea-level-rise-induced threats depend on the size of tide-influenced estuaries worldwide. *Nat. Clim. Chang.* 9: 986-992.
- Levin, L. A., & Le Bris, N. 2015. The deep ocean under climate change. *Sci.* 350(6262): 766-768.
- Lopes, M. N., Decarli, C. J., Pinheiro-Silva, L., Lima, T. C., Leite, N. K., & Petrucio, M. 2020. Urbanization increases carbon concentration and pCO2 in subtropical streams. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27: 18371-18381.
- Mafrá Jr., L. L., Ribas, T., & Alves, T. P. 2015. Differential Okadaic Acid Accumulation and Detoxification by Oyster and Mussels during Natural and Simulated Dinophysis Blooms. *Fish. Sci.* 749-762.
- Marengo, J. A., & Scarano, F. R. (eds). 2016. *Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. PBMC COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 184p.
- Marenzi, A. W. C. 2002. Influência do cultivo de mexilhões sobre o habitat bentônico na Enseada da Armação do Itapocoroy, Penha, SC. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 120p.
- Marenzi, A. W. C., & Branco, J. O. 2006. O cultivo do mexilhão *Perna perna* no município de Penha, SC. In: Branco, J. O., Marenzi, A. W. C. (Org.) *Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável: estudos de caso em Penha, SC*. 291. Editora da UNIVALI Itajaí. 227-244pp.
- Marenzi, R. C., & Longarete, C. 2018. As áreas protegidas no Brasil e os serviços ecossistêmicos ante as inundações: finalidade ou casualidade? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27(2): 313-322.
- Martins, A. S., & Haimovici, M. 2016. Seasonal mesoscale shifts of demersal nekton assemblages in the subtropical South-western Atlantic. *Mar. Biol. Res.* DOI: 10.1080/17451000.2016.1217025
- Martins, L., Marenzi, R. C., & Lima, A. 2015. Levantamento e representatividade das unidades de conservação instituídas no estado de Santa Catarina, Brasil. *Desenvolv. Meio Amb.* 33: 241-259.
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Haambiya, L. H., Monde, C., Musuka, C. G., Makorwa, T. H., Munganga, B. P., Phiri, K. J., & Nsekanabo, J. D. 2021. Climate Change Effects on Aquaculture Production: Sustainability Implications, Mitigation, and Adaptations. *Front. Sustain. Food Syst.* 5: 609097.
- McDonald K., & Rudel, T. K. 2005. Sprawl and Forest Cover: What is the Relationship? *Appl. Geogr.* 25(1): 67-79.
- Medeiros, R., Young, C. E. F., Pavese, H. B., & Araújo, F. F. S. 2011. Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional. UNEP-WCMC, Brasília, 44pp.
- Mello, J. L. S., Abrahão, D. P., Saltarelli, W. A., Whiles, M. R., Dodds, W. K., Colón-Gaud, C., Neres-Lima, V., Cunha, D. G. F., & Corbi, J. J. 2020. Patterns of macroinvertebrate production and energy flow in headwater streams of the Brazilian Savanna. *Freshw. Sci.* 39(4): 348-859.
- Mioto B. T. 2011. A rede urbana de Santa Catarina no período da concentração industrial do Brasil (1930 – 1970). IV Encontro de Economia Catarinense, 24pp.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente 2015. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. *Estratégia de Zonas Costeiras*, 297-330.
- Mora, C., Wei, C. L., Rollo, A., Amaro, T., Baco, A. R., Billett, D., Bopp, L., Chen, Q., Collier, M., Danovaro, R., Gooday, A. J., Grupo, B. M., Halloran, P. R., Ingels, J., Jones, D. O. B., Levin, L. A., Nakano, H., Norling, C., Ramirez-Llodra, E., ... & Yasuhara, M. 2013. Biotic and Human Vulnerability to Projected Changes in Ocean Biogeochemistry over the 21st Century. *PLoS Biol.* 11(10): e1001682.
- Moraes, A. S., Marenzi, R. C., & Longarete, C. 2015. Percepção de atores sociais de Itajaí (SC) a respeito das variações climáticas, com foco nas inundações. *Desenvolv. Meio Amb.* 35: 411-428.
- Mostofa, K. M., Liu, C. Q., Zhai, W., Minella, M., Vione, D., Gao, K., Minakata, D., Arakaki, T., Yoshiota, T., Hayakawa, K., Konohira, E., Tanoue, E., Akhand, A., Chanda, A., Wang, B., & Sakugawa, H. 2016. Reviews and Syntheses: Ocean acidification and its potential impacts on marine ecosystems. *Biogeosciences* 13: 1767-1786.
- Moura, J. F. de, Dario, B. P. S. di, Lima, L. M., & Siciliano, S. (2010). Southern elephant seals (*Mirounga leonina*) along the Brazilian coast: Review and additional records. *Marine Biodiversity Records* 3: e18. DOI: [10.1017/S1755267209991138](https://doi.org/10.1017/S1755267209991138)
- Muehe, D. 1998. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Cunha, S. B., & Guerra, A. J. T. (orgs.) *Geomorfologia do Brasil*. Bertrand Brasil Rio de Janeiro. 273-349pp.

- Muehe, D. 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.* 5(2): 173-183.
- Niencheski, L. F. H. 2015. Propriedades Químicas da Água do Mar. In: Castello, J. P., Krug, L. C. (Eds.) *Introdução às Ciências do Mar*. Pelotas Ed. Textos Pelotas. 140-171pp.
- Noletto-Filho, E. M., Pucciarelli, P., & Dumont, L. F. C. 2017. Spatial and temporal variation in juvenile size distribution of the pink shrimp (*Penaeus paulensis*) in the Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Mar. Biol. Res.* 13(1): 62-73.
- Oliveira, C., Marenzi, C. R., & Longarete, C. 2018. Serviços ecossistêmicos prestados pelos promontórios costeiros no litoral centro-norte de Santa Catarina. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 21(2): 10-18.
- Oliveira, C. de, Guimarães, M., Schroeder, L., Zagonel-Oliveira, M., da Silva, G. A. M., Borges-Martins, M., Danilewicz, D., Prado, J. H. F., Schosler, V., Botta, S., Secchi, E. R., Aquino, F. E., Estima, S. C., Bester, M. N., & Oliveira, L. R. de. (2024). Patterns of occurrence of the sub-Antarctic fur seal *Arctocepalus tropicalis* (Gray 1872) in Southern Brazil: Climatic and environmental associations. *Polar Biology*, 47(1): 53–71.
- Olstrom, E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325(5939): 419-422.
- Paulilo, M. I. S. 2002. Maricultura e território em Santa Catarina – Brasil. *Geosul*, 17(34): 87-112.
- Pereira Filho, J., Schettini, C. A. F., Rörig, L., & Siegle, E. 2001. Intratidal Variation and Transport of Nutrients, POC and Chlorophyll-a in the Estuary of the Camboriú, SC, Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 53: 249-257.
- Pereira Filho, J., Rörig, L. R., Schettini, C. A. F., Soppa, M. A., Santana, B. L., & Santos, J. E. 2010. Spatial Changes in the Water Quality of Itajaí-Açu Fluvial-Estuarine System, Santa Catarina, Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 82(4): 963-982.
- Pereira Filho, J. & Rörig, L. R. 2016. Balanço de Massa para Nutrientes Inorgânicos (N e P) no Estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Rev. Bras. Recursos Hídricos*. 21(1): 168-187.
- Perez, J. A. A., & Sant'Ana, R. 2022. 'Tropicalization' of megafauna community in a South Atlantic warming hot spot: evidences from demersal fisheries off Brazil. *Commun Earth Environ* 3: 227.
- Perez, J. A. A., Ávila-da-Silva, A. O., & Palma, D. Q. 2020. Novos métodos e abordagens multidisciplinares para o uso e gestão dos recursos pesqueiros marinhos no Brasil e no mundo In: Lana, P. C., Castello, J. P. (Orgs.) *Fronteiras do Conhecimento em Ciências do Mar*. Editora da FURG Rio Grande. 258-321pp.
- Pezzuto, P. R., Wahrlich, R., Sant'ana, R., Rosso, A. P., & Perez, J. A. A. 2019. Relatório Técnico Semestral: julho-dezembro de 2018. Monitoramento Pesqueiro. Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no Estado de Santa Catarina. Escola do Mar, Ciência e Tecnologia, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, v. 1. 329 p.
- Pinheiro, P. C., Dalcin, R. H., & Batista, T. T. 2017. A ictiofauna de áreas com interesse para a proteção ambiental de Joinville, Santa Catarina, Brasil. *Acta Biol. Catarin.* 4(3): 73-89.
- Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., & Schoeman, D. S. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nat. Clim. Change* 3(10): 919-925.
- Polette, M., & Asmus, M.L. 2015. Meio Ambiente Marinho e Impactos Antrópicos. In: Castello, J. P., Krug, L. C. (Eds.) *Introdução às Ciências do Mar*. Pelotas Ed. Textos Pelotas. 500-522pp.
- Poulain, F., Himes-Cornell, A., & Shelton, C. 2018. Chapter 25: Methods and tools for climate change adaptation in fisheries and aquaculture. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., Poulain, F., (eds.). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N. 627. FAO, Rome. 628pp.
- Resgalla Jr., C. 2022. Zooplankton variability and possible oceanographic anomalies from 1996 to 2009 on the south coast of Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 93(3): e20201504
- Resgalla Jr, C., Weber, L. I., & Conceição, M. B. 2008. O mexilhão Perna perna (L.): biologia, ecologia e aplicações. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 324pp.
- Resgalla Jr., C., Brasil, E. S., Laitano, K. S., & Reis Filho, R. W. 2007. Physioecology of the mussel *Perna perna* (Mytilidae) in Southern Brazil. *Aquac.* 270(1): 464-474.
- Resgalla Jr., C., & Schettini, C. A. F. 2006. Características e variação do seston na Enseada Armação do Itapocoroy -SC. In: Branco, J. O., Marenzi, A. W. C. (Org). *Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável: Um estudo de caso em Penha, SC*. Editora da Univali Itajaí. 227-244pp.
- Ribeiro, E. M., Paiva, S., Lucas, C. C., & Villavicencio, C. B. 2020. Unidades de Conservação costeiras e marinhas no Brasil. In: Muehe, D., Lins-Debarros, F. M., Pinheiro, L. (orgs.) *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. PGGM Rio de Janeiro. 402-437pp.
- Rice, J. C., & Garcia, S. M. 2011. Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: characteristic of the sector and perspectives on emerging issues. *ICES J. Mar. Sci.* 68(6): 1343-1353.
- Ríos-Castro, R., Romero, A., Aranguren, R., Pallavicini, A., Banchi, E., Novoa, B., & Figueras, A. 2021. High-Throughput Sequencing of Environmental DNA as a Tool for Monitoring Eukaryotic Communities and Potential Pathogens in a Coastal Upwelling Ecosystem. *Front. Vet. Sci.* 8: 765606. DOI: 10.3389/fvets.2021.765606. PMID: 34805343, PMCID: PMC8595318.
- Rocha, M. M., Marenzi, R. C., Junior, I. F. L., & Azevedo, M. 2020. Levantamento das unidades de conservação marinhas e costeiras federais brasileiras. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 24(2): 28-35.
- Rodrigues, R. R. 2015. Capítulo 7. Circulação Atmosférica e Oceânica. In: Castello, J. P., Krug, L. C. (Eds.) *Introdução às Ciências do Mar*. Pelotas Ed. Textos Pelotas. 172-195pp.
- Rodrigues, M. A., Ortega, I., & D'Incao, F. 2019. The importance of shallow areas as nursery grounds for the recruitment of blue crab (*Callinectes sapidus*) juveniles in subtropical estuaries of Southern Brazil. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 25: 100492.
- Rörig, L. R., Ottonelli, M., Itokazu, A. G., Maraschin, M., Lins, J. V. H., Abreu, P. C. V., Almeida, M. T. R., Ramlov, F., D'Oca, M., Ramalho, L. V. et al. 2017. Blooms of Bryozoans and Epibenthic Diatoms in an Urbanized Sandy Beach (Balneário Camboriú, SC, Brazil): Dynamics, Possible Causes and Biomass Characterization. *Braz. J. Oceanogr.* 65(4): 678-694.
- Roseghini, W. F. F., & Fontão, P. A. B. 2023. Climate dynamics and the main urban flood events in Itajaí Valley, Southern Brazil. In: Mendonça, F., Farias, A., Buffon, E (eds). *Urban Flooding in Brazil*. Springer, Cham. 419-436pp.
- Roychowdhury, K., Taubenbock, H., & Jones, S. D. 2011. Delineating urban, suburban and rural areas using Landsat and DMSP-OLS night-time images. *Joint Urban Remote Sensing Event*. 33-36pp.
- Sant'Ana, 2023. Mudanças Climáticas e Seus Efeitos Sobre os Habitats e a Distribuição Espacial da Megafauna Oceânica e Profunda no Atlântico Sudeste. Tese de Doutorado. Universidade do Vale do Itajaí. 166p.
- Schettini, C. A. F., Resgalla Jr., C., & Kuroshima, K. N. 1997. Avaliação da taxa de sedimentação na região de cultivo de moluscos na enseada da Armação de Itapocoroy - SC. *Notas Técnicas da Facimar*. 1: 1-8.
- Schmidt, S., Stramma, J., & Visbeck, M. 2017. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*. 542: 335-339.
- Seyboth, E., Groch, K. R., Dalla Rosa, L., Reid, K., Flores, P. A. C., & Secchi, E. R. 2016. Southern Right Whale (*Eubalaena australis*) Reproductive Success is Influenced by Krill (*Euphausia superba*) Density and Climate. *Sci. Rep.* 6: 28205.
- SIRHESC. Sistema de Informações de Recursos Hídricos de Santa Catarina. <https://www.aguas.sc.gov.br/>
- Smetacek, V., & Zingone, A. 2013. Green and Golden Seaweed Tides on the Rise. *Nat.* 504(84): 84-88.
- Soares, M. L. G., Estrada, G. C. D., Fernandez, V., & Tognella, M. M. P. 2012. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 101: 44-53.
- Soukiazes, A. M. C. 2009. Adaptação das Zonas Costeiras às Alterações Climáticas em Portugal. Tese de Mestrado. Engenharia do Ambiente. Universidade de Aveiro. 114p.
- Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Pauly, D., & Herrick, S. 2011. Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nat. Clim. Change* 1: 449-456.
- Sweetman, A. K., Thurber, A. R., Smith, K. R., Levin, L., Mora, C., Wei, C. L., Gooday, A. J., Jones, D. O. B., Rex, M., Yasuhara, M., Ingels, J., Ruhl, H. A., Frieder, C. A., Danovaro, R., Wurzburg, L., Baco, A., Grupe, B. M., Pasulka, A., Meyer, K. S., & Roberts, J. M. 2017. Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elem Sci Anth.* 5: 4.
- Taniwaki, R. H., Piggott, J. J., Ferraz, S. F. B., & Matthaei, C. D. 2017. Climate change and multiple stressors in small tropical streams. *Hydrobiologia* 793: 41-53.
- Tessler, M. 2008. Potencial de risco natural. In: *Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil*. Brasília, MMA. 93-119pp.
- Thurber, A. R., Sweetman, A. K., Narayanaswamy, B. E., Jones, D. O. B., Ingels, J., & Hansman, R. L. 2014. Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences* 11: 3941-3963.
- Trenberth, K. E., Cheng, L., Jacobs, P., Zhang, Y., & Fasullo, J. 2018. Hurricane Harvey Links to Ocean Heat Content and Climate Change Adaptation. *Earth's Future* 6: 730-744.
- Tocci, B. R. C., Vieira, L. M., Tamanaha, M. S., & Resgalla Jr., C. 2022. Stranding events of drift organisms (Arribadas) in southern Brazil and the spread of invasive bryozoan in South America. *Mar. Poll. Bull.* 184:114120.

- Ullah, H., Nagelkerken, I., Goldenberg, S. U., & Fordham, D. A. 2018. Climate change could drive marine food web collapse through altered trophic flows and cyanobacterial proliferation. *PLOS Biol.* 16: e2003446. DOI: 10.1371/journal.pbio.2003446
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. 1996. Marine toxicity identification evaluation (TIE). Phase I Guidance document. EPA/600/R-96/054
- Van Weelden, C., Towers, J.R. & Bosker, T. 2021. Impacts of climate change on cetacean distribution, habitat and migration. *Clim. Change Ecol.* 1: 100009.
- Valenzuela, L. O., Sironi, M., Rowntree, V. J., & Seger, J. 2009. Isotopic and genetic evidence for culturally inherited site fidelity to feeding grounds in southern right whales (*Eubalaena australis*). *Mol. Ecol.* 18: 782-791. 10.1111/j.1365-294X.2008.04069.x
- Vanni, M. J. 2002. Nutrient Cycling by Animals in Freshwater Ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 33: 341-370.
- Vaughan, D. G., Marshall, G. J., Connolley, W. M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D. A., King, J. C, Pudsey, C. J., & Turner, J. 2003. Recent Rapid Regional Climate Warming on the Antarctic Peninsula. *Clim. Change* 60: 243-274. DOI: 10.1023/A:1026021217991
- Ventura, F., Granadeiro, J. P., Lukacs, P. M., Kuepfer, A., & Catry, P. 2021. Environmental variability directly affects the prevalence of divorce in monogamous albatrosses. *Proc. Roy. Soc. B: Biol.* 288: 20212112.
- Vieira, C. V., & Horn Filho, N. O. 2012. Mapeamento geológico costeiro do canal do Palmital, litoral Norte de Santa Catarina. *Geosul* 27: 33-54.
- Waldbusser, G. G., Hales, B., Langdon, C. J., Haley, B. A., Schrader, P., Brunner, E. L., Gray, M. W., Miller, C. A., Gimenez, I., & Hutchinson, G. 2015. Ocean Acidification Has Multiple Modes of Action on Bivalve Larvae. *PLoS ONE* 10(6): e0128376.
- Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. 2019. The great Atlantic Sargassum belt. *Sci.* 365(6448): 83-87.
- World Bank, 2005. Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis. Center for Hazards and Risk Research, Columbia University www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots
- Wu, S., Tetzlaff, D., Goldammer, T., & Soulsby, C. 2022. Hydroclimatic variability and riparian wetland restoration control the hydrology and nutrient fluxes in a lowland agricultural catchment. *J. Hydrol.* 603(part B): 126904.
- Zolnik, E. J. 2012. The costs of sprawl for private-vehicle commuters. *J. Transp. Geogr.* 20(1): 23-30.
- Zhang, Yuxuan; Wang, Jianhua; Lu, Jian; Wu, Jun. Antibiotic resistance genes might serve as new indicators for wastewater contamination of coastal waters: Spatial distribution and source apportionment of antibiotic resistance genes in a coastal bay. *Ecological Indicators*, v. 114, 2020. ISSN 1470-160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106299