

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM RECIFES DE CORAIS SOB DIFERENTES REGIMES DE PROTEÇÃO NO SUL DA BAHIA, BRASIL

ECOSYSTEM SERVICES IN CORAL REEFS UNDER DIFFERENT PROTECTION REGIMES IN SOUTHERN BAHIA, BRAZIL

Klinton Santos Souza^a, Giulia Fernandes Quatrini^a, Martina Rossato^b, Elfany Reis do Nascimento Lopes^a,
Igor Emiliano Gomes Pinheiro^a.

^aUniversidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), ^bCentro de Formação em Ciências Ambientais (CFCAm) e ^bSecretaria do Meio Ambiente e Causa Animal de Porto Seguro (SEMA)

klinton.souza@gfe.ufsb.edu.br, giulia.quatrini@gfe.ufsb.edu.br, oceanografia.smma@gmail.com, elfany@csc.ufsb.edu.br,
igoregp@ufsb.edu.br

Submissão: 26 de novembro de 2024

Aceitação: 16 de abril de 2025

Resumo

Este trabalho foi conduzido em duas Unidades de Conservação (UC) de categorias distintas e localizadas no Sul do estado da Bahia, o Parque Natural Municipal Marinho do Recife de Fora (PNMMRF) e a Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha (APACV). Ambas possuem recifes de corais em seu perímetro e desempenham importante contribuição na oferta de Serviços Ecosistêmicos (SE) para as comunidades tradicionais costeiras e economia local, contribuindo para a subsistência, economia e cultura da região. O objetivo do trabalho foi mapear a cobertura de *habitats* e caracterizar a oferta de SE nas referidas UCs, utilizando a plataforma Allen Coral Atlas e a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecosistêmicos (CICES). Os resultados demonstram que o PNMMRF tem maior porcentagem de sua cobertura representada por *habitats* de corais (42%) enquanto a APACV tem a maior parcela da sua cobertura composta por *habitats* de cascalho (51%). Tais evidências estão ligadas à maior intensidade de uso nos recifes da APA que acabam por acarretar uma menor cobertura de corais. Com base na classificação CICES identificou-se que os recifes de corais estudados ofertam um total de 19 SE, sendo que o *habitat* Coral/Alga desempenha maior oferta de bens e serviços. O PNMMRF tem uma maior capacidade de oferta de SE em relação a APACV, visto que maior parte de sua cobertura é dominada por *habitats* de Coral/Alga (*habitat* com maior capacidade de oferta). Estas características são decorrentes da maior distância da linha de costa e do fator proteção promovido pelo PNMMRF, uma UC de características mais restritivas. Os resultados obtidos evidenciam a relevância dos recifes de corais mapeados na provisão de SE, ressaltando a necessidade de manutenção e aprimoramento das ferramentas de gestão nas Unidades de Conservação analisadas.

Palavras-chave: Serviços Ecosistêmicos; recifes de corais; Unidades de Conservação.

Abstract

This study was conducted in two Protected Areas under different regimes in southern Bahia, Brazil: The Municipal Marine Natural Park of Recife de Fora (MMNPRF) and the Environmental Protection Area of Coroa Vermelha (EPACV). Both areas encompass coral reefs that play a vital role in providing ecosystem services (ES) to traditional coastal communities, supporting local livelihoods, economies, and cultural heritage. The study aimed to map habitat coverage and characterize the provision of ES within of these Protected Areas, utilizing the Allen Coral Atlas platform and the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). The results show that MMNPRF has a higher percentage of its area covered by coral habitats (42%), while rubble habitats represent the largest coverage in EPACV (51%). This difference is linked to the higher intensity of use on EPACV reefs, which has resulted in reduced coral cover. Using the CICES classification, we identified that the coral reefs studied provide a total of 19 ecosystem services, with Coral/Algae habitats

contributing the highest supply of goods and services. The results suggest that MMNPRF has a greater capacity to supply ecosystem services compared to EPACV, as its coverage is dominated by Coral/Algae habitats, which provide the highest levels of ecosystem services. These features are attributed to MMNPRF's greater distance from the coastline and the protective measures inherent to its more restrictive Protected Area regime. The findings highlight the essential role of mapped coral reefs in providing ES, emphasizing the need to maintain and enhance management tools within the studied protected areas.

Key-words: Ecosystem Services; coral reefs; Conservation Units.

1 INTRODUÇÃO

Os recifes de corais figuram entre os ecossistemas mais produtivos do planeta, desempenhando funções essenciais para a manutenção da vida no planeta e oferecendo uma ampla gama de Serviços Ecossistêmicos (SE) nas zonas costeiras tropicais. Entre esses serviços destacam-se o fornecimento de alimentos, a subsistência para comunidades costeiras, o sequestro de carbono, a proteção contra eventos climáticos extremos, entre outros (Eddy *et al.*, 2021). Apesar da sua importância ecossistêmica e econômica, esses sistemas ambientais vêm sofrendo com alterações sem precedentes oriundas de múltiplos impactos antropogênicos (Kuempel *et al.*, 2024). Estimativas indicam que em todo o mundo os ambientes recifais declinaram em 50% nas últimas décadas (Eddy; Cheung; Bruno, 2018), principalmente devido às mudanças climáticas (Corazza *et al.*, 2024), sobrepesca, poluição (Zaneveld *et al.*, 2016), aumento nas taxas de sedimentação (Liñán-Cabello *et al.*, 2016) e invasões biológicas (Blowes *et al.*, 2019). Essa situação gera preocupação, pois a capacidade dos recifes em fornecer bens e serviços depende diretamente da saúde e resiliência desses *habitats* únicos (Eddy *et al.*, 2021). Neste cenário, o enfraquecimento das funções ecossistêmicas em recifes de corais tem potencial de desencadear uma série de prejuízos a diferentes setores econômicos, uma vez que, em regiões tropicais, setores econômicos como a pesca e o turismo são altamente dependentes destes sistemas ambientais (Spalding *et al.*, 2017).

No que tange a recifes de corais no Atlântico Sul, o ápice da diversidade de espécies ocorre na costa brasileira, especificamente no sul do estado da Bahia. Esta região abriga áreas, tanto terrestres como marinhas, que são reconhecidas pela sua importância para a manutenção da biodiversidade (Leão; Kikuchi; Oliveira, 2019). Em função do elevado grau de riqueza de espécies, endemismos, ameaças e da inestimável

importância econômica da conservação dos ecossistemas presentes nesta região, diversas unidades de conservação (UC) foram implementadas no sul da Bahia ao longo das últimas décadas, especialmente na zona costeira, considerando a importância dos ecossistemas presentes associado ao uso intensivo para o turismo. Dentre estas destacamos o Parque Natural Municipal Marinho do Recife de Fora (PNMMRF), uma UC de proteção integral, e a Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha (APACV), uma UC de uso sustentável. Ambas abrigam recifes de corais em seus limites e estão historicamente enraizadas no contexto de uso por povos originários, assim como apresentam desafios e conflitos ambientais pelo uso intensivo para o turismo (Parque Natural Municipal de Recife de Fora, 2024). Além disso, a APACV, ao caracterizar-se pela possibilidade de uso sustentável, possui em seu interior economia ativa, urbanização e exploração dos recursos naturais, o que sugere problemáticas relacionadas com a conservação, saneamento básico e cumprimento dos objetivos da UC (Bahia, 1993).

As UCs supracitadas, assim como outros sistemas recifais do mundo, vêm sofrendo com a diminuição dos estoques pesqueiros e alteração na estrutura trófica (Bender; Floeter; Hanazaki, 2013; Chaves; Nunes; Sampaio, 2010), pisoteio sobre platôs recifais (Lages, 2014), poluição por contaminantes inorgânicos (Costa Junior, 2007) e eventos de branqueamento de corais (Donner; Rickbeil; Heron, 2017). Importante destacar que estes impactos têm potencial de gerar consequências econômicas e sociais irreversíveis. Diante deste cenário atual, onde em que múltiplas forças antrópicas estão atuando sobre os recifes de corais, compreender a capacidade destes sistemas ambientais em fornecer SE torna-se um passo crucial na transição para uma economia azul sustentável (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2021). Isso implica em estabelecer metas de recuperação (Jackson *et al.*, 2001), alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável e

antecipar onde e como a sociedade irá ser afetada em diferentes cenários atrelados às mudanças climáticas (IPCC, 2019).

Esta temática de valorização de SE vem ganhando espaço em nível mundial desde 2005, especialmente após a publicação da *Avaliação Ecológica do Milênio*, que destacou a dependência da humanidade dos ecossistemas e dos serviços que eles oferecem (Agudelo; França; Silva, 2020). No entanto, no contexto brasileiro, essa prática ainda é recente e pouco consolidada, tanto em estudos acadêmicos quanto em políticas públicas, limitando o aproveitamento dos benefícios providos por meio da manutenção da oferta de SE (Silva *et al.*, 2019). Esse reconhecimento é especialmente relevante quando se trata de áreas protegidas, que representam uma ferramenta estratégica para a conservação dos recursos naturais e estão associadas aos espaços que mantêm a biodiversidade e, por conseguinte, serviços para o bem-estar humano (Brander; Beukering; Nijsten, 2020). Estes bens e serviços não apenas favorecem a preservação da biodiversidade, mas também geram retorno financeiro e melhoram a qualidade de vida das comunidades locais e da sociedade em geral (Silva *et al.*, 2023). Além disso, a inclusão dos SEs nas estratégias de gestão dessas áreas pode fortalecer as políticas de conservação, facilitando o engajamento de diferentes setores e a implementação de ações mais sustentáveis, como indicam recentes pesquisas no Brasil (Lima *et al.*, 2022).

Neste contexto, este estudo busca, a partir do mapeamento de *habitats* e caracterização de SE em recifes de corais sobre diferentes regimes de proteção, gerar informações que possam contribuir para o aprimoramento das ferramentas de gestão em unidades de conservação do sul da Bahia.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A região estudada abrange o limite entre os municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, localizados no sul do estado da Bahia, em uma área de importância ambiental e cultural. Nesta região, ocorrem recifes de corais, que representam ecossistemas essenciais para a manutenção da biodiversidade marinha, sendo o foco deste estudo dois ambientes recifais protegidos por UCs, o Parque Natural Municipal Marinho de Recife de Fora (PNMMRF) e a Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha (APACV) (Figura 1).

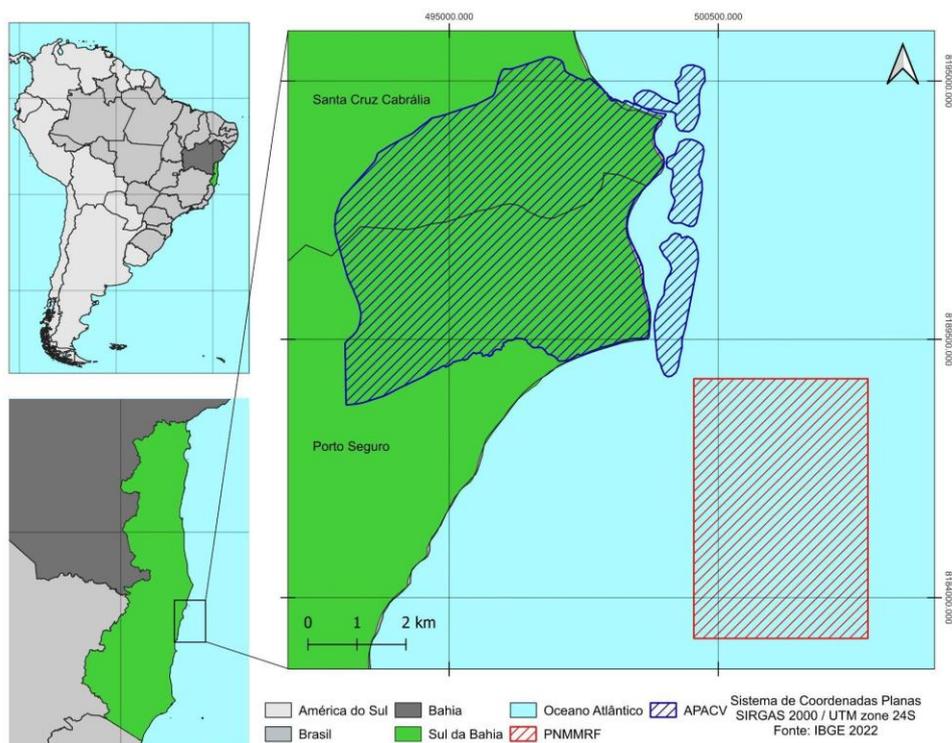
O PNMMRF possui 19 km² (Figura 1) e foi estabelecido pela Lei Municipal nº 260, de 16 de dezembro de 1997. Esta denominação de UC tem como objetivo a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. As atividades permitidas dentro do Parque seguem as regras estabelecidas pelo plano de manejo da UC (Parque Natural Municipal de Recife de Fora, 2024) e dentro dos seus limites existem zonas com diferentes tipos de uso, são elas: Zona de Uso Intangível, onde apenas atividades de cunho científico podem ser realizadas; a Zona de Uso Extensivo, que representa a rota por onde as embarcações passam para acessar o platô recifal; Zona de Uso Intensivo, onde são permitidas atividades turísticas, de pesquisa e de educação ambiental e a Zona de Amortecimento, que constitui uma área de transição entre o interior e o exterior da UC onde são permitidas atividades de pesquisa científica e pesca artesanal com linha de mão.

Já a APACV, com uma área de cerca de 37,15 km², sendo 3,82 km² de área marinha protegida, é uma região de transição que conecta o ambiente continental com o ambiente marinho (Figura 1). Em função da presença de várzeas associada à vegetação de restinga costeira e à existência de remanescentes da Mata Atlântica, bem como de recifes de corais, constitui um importante patrimônio ambiental local. Esta unidade de conservação foi criada pelo Decreto Estadual nº 2.184, de 7 de junho de 1993, com o objetivo de assegurar a proteção de recursos naturais de valor ecológico, cultural e histórico. De acordo com a lei nº 9985 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Brasil, 2000), uma Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. Neste sentido é importante destacar que a APACV possui importância não apenas em questões ambientais, mas também arqueológicas, sendo um local de destaque na história nacional. Historicamente, essa área é conhecida como o

local onde foi realizada a primeira missa no Brasil, um evento que marca o início da colonização portuguesa e simboliza a chegada dos

colonizadores ao território brasileiro (Bahia, 1993), assim como abriga território indígena e comunidades indígenas diversas da etnia pataxó.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo entre os municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, destacando o Parque Natural Municipal Marinho de Recife de Fora (PNMMRF) e a Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha (APACV)



2.2 Coleta e análise de dados

Para caracterização da cobertura de *habitats* dos recifes de corais utilizou-se a plataforma Allen Coral Atlas (Allen Coral Atlas, 2022). Esta plataforma utiliza imagens do satélite PlanetScope para mapear recifes de coral em todo o globo. O processo de mapeamento se inicia com a criação de um mosaico de alta definição dos recifes de corais, focando em áreas com profundidade inferior a 20 metros entre as latitudes de 30°N e 30°S, em águas claras e com presença de recifes identificados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). As imagens PlanetScope passam por uma série de processamentos técnicos, incluindo calibração, ortorretificação e ajuste de reflectância da superfície, para assegurar a precisão das informações (Allen Coral Atlas 2022).

O Allen Coral Atlas define os *habitats* bentônicos em seis classes que, conforme Roelfsema *et al.* (2013), são elas: Coral/Alga,

Gramma Marinha, Tapete de Microalgas, Rocha, Cascalho e Areia (Kennedy *et al.*, 2021; Roelfsema *et al.*, 2013). Após o *download* dos arquivos de cobertura de *habitats* referentes às áreas de interesse, procedeu-se à importação dos dados para o *software* QGIS versão 3.34.3 (QGIS Development Team, 2024), com posterior reprojeção para o sistema de coordenadas UTM e DATUM horizontal SIRGAS 2000, zona 24 S.

A avaliação dos SEs foi realizada em campo com base na Classificação Internacional Comum de Serviços Ecosistêmicos (CICES) (Haines-Young; Potschin-Young, 2018). A matriz de oferta foi construída pela ponderação dos SE de provisão, regulação/manutenção e cultural. No eixo y da matriz foram alocadas as categorias de SE e no eixo x foram organizadas as coberturas de *habitats* presentes nos recifes de corais avaliados. Para a ponderação foi avaliada a capacidade de cada habitat encontrado nos recifes em prover o serviço ecossistêmico individual, considerando uma escala entre “0” = sem oferta/demanda

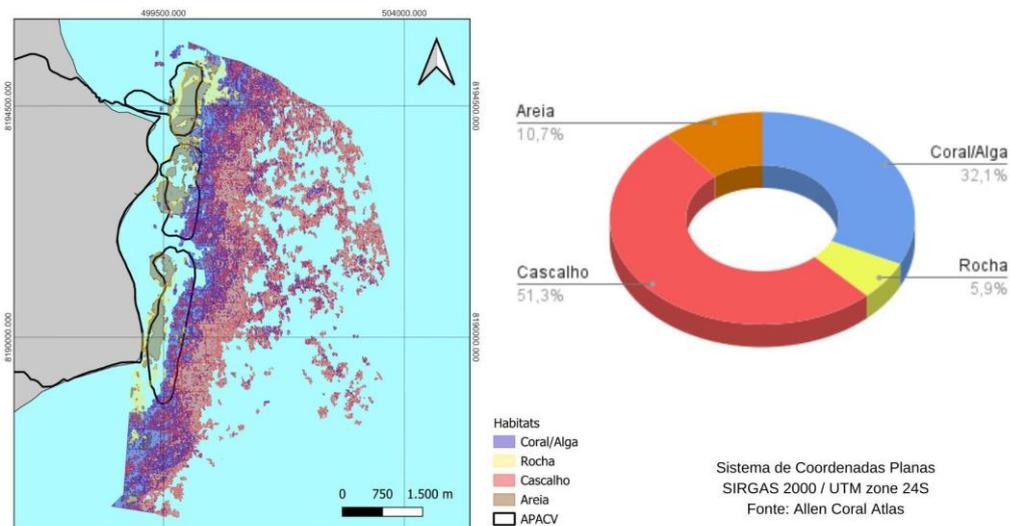
relevante a “5” = oferta/demanda relevante muito alta, conforme Petroni, Siqueira-Gay e Gallardo (2022). Neste sentido, a oferta é caracterizada pela capacidade de uma determinada área em fornecer um conjunto específico de bens e SE em um determinado período.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da cobertura de *habitats* revela a diversidade de ambientes nas duas UC (Figura 2). Na APACV, os *habitats* de Cascalho ocupam a maior área (51,32% - 7,6 km²), seguidos por Coral/Alga com 32,11% (4,8 km²), Areia com 10,68% (1,6 km²) e Rocha com 5,89% (0,8 km²),

totalizando uma área de 14,81 km² (Figura 2). Importante ressaltar que a área de ambientes recifais mapeada a partir da Plataforma Allen Coral Atlas é maior que a delimitação da área marinha protegida pela APACV, que é de 3,82 km². De acordo com Edgar *et al.* (2014), para o efetivo sucesso de UCs é indispensável um sistema bem projetado e conectado de áreas protegidas que prese pela conservação de *habitats* prioritários. Neste sentido, a expansão da delimitação dos ambientes recifais protegidos por esta UC é um ponto crucial a ser considerado, dada a ampla capacidade de oferta de bens e serviços providos por este sistema ambiental.

Figura 2 - Mapeamento dos habitats e porcentagem de cobertura de cada na Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha



Os resultados do mapeamento de *habitats* na APACV apontam para um sistema recifal com maior intensidade de uso, possivelmente devido à facilidade de acesso e um fator de proteção mais permissivo proporcionado pela APA. Além disso, a proximidade deste recife de corais com efluentes domésticos, que frequentemente incluem resíduos químicos orgânicos e inorgânicos, aumenta os riscos de degradação do ecossistema recifal, já que a entrada de poluentes pode afetar diretamente a saúde e resiliência desses *habitats*. Estudos sugerem que o manejo e a mitigação de poluição, especialmente a causada por efluentes domésticos, são necessários para manter a integridade dos recifes de coral em áreas próximas às atividades humanas, uma vez que esta influência antrópica é uma ameaça significativa à biodiversidade recifal, impactando desde a

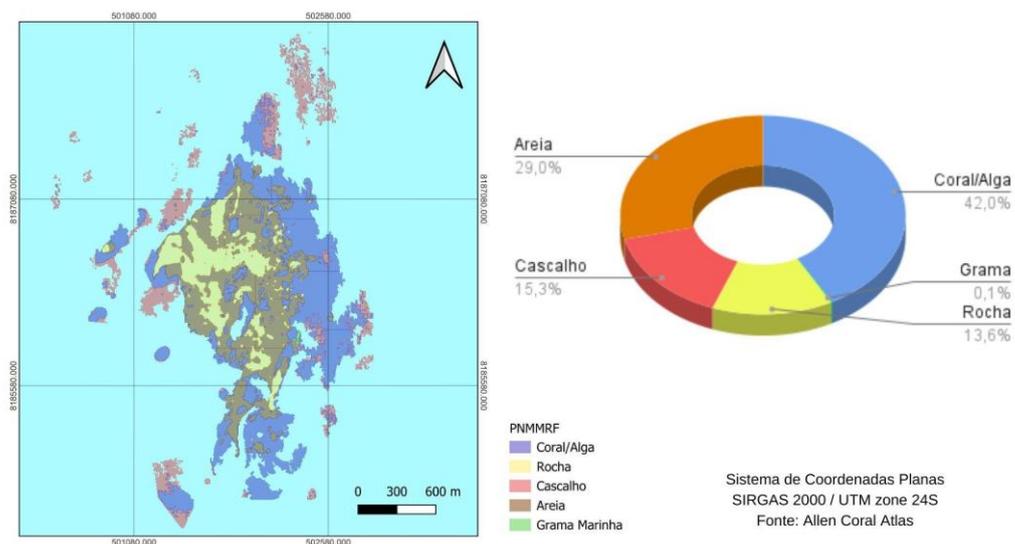
qualidade da água até a sobrevivência dos organismos que compõem esses ecossistemas (Wear; Thurber, 2015). Além disso, historicamente, a APACV tem sido alvo de intensa atividade humana, desde o período colonial. A chegada dos portugueses ao Brasil em 1500 marcou o início de registros documentados sobre essa região, situada onde hoje é a Praia de Coroa Vermelha. Um dos eventos mais simbólicos foi a celebração da primeira missa no Brasil, em 26 de abril de 1500, evento conduzido pelo Frei Henrique de Coimbra e mencionado em documentos históricos, que registraram essa celebração como o primeiro contato formal dos europeus com as comunidades indígenas e o início de um intenso processo de exploração e apropriação das terras (Baeta Neves, 2000). A praia de Coroa Vermelha, que ainda hoje mantém forte vínculo com os

ambientes recifais distribuídos ao longo da linha de costa, possui significância histórica e ambiental, sendo continuamente afetada por pressões relacionadas tanto à exploração dos recursos naturais quanto ao turismo e a urbanização.

O platô recifal do PNMMRF apresenta uma área total mapeada de 2,67 km², sendo a maior parte de sua cobertura dominada por *habitats* de Coral/Alga, representando 42,0% (1,2 km²) da área total (Figura 3). Em seguida, aparecem os *habitats* Areia com 28,96% (0,8 km²), o Cascalho com 15,31% (0,4 km²), e as Rochas com 13,61% (0,4 km²). Nota-se que a maior proporção da cobertura de Coral/Alga ocorre na porção leste do platô recifal (mas não restrita a esta porção), região que recebe maior energia de onda. Além desses *habitats*, há presença de gramas marinhas restritas a uma pequena área do recife, com cobertura de 0,12% (0,01 km²). A maior porcentagem de cobertura coralínea e a menor cobertura de Cascalho propiciam uma gama maior

de oferta de SE se comparado à APACV (Tabela 1). A maior distância da linha de costa e de efluentes domésticos, o acesso restrito de embarcações, além do fator proteção gerado por uma UC de proteção integral como Parque Natural Municipal, são fatores que contribuem para estas observações. Conhecido por sua alta biodiversidade e endemismo, o PNMMRF está inserido em uma área prioritária para a conservação da biodiversidade (Brasil, 2008) e serve de *habitat* e abrigo para vários grupos marinhos como algas, gramas marinhas e uma ampla diversidade de fauna (invertebrados e vertebrados). Além disso, esta unidade de conservação abriga espécies ameaçadas de extinção, como, por exemplo, o coral-cérebro-da-bahia (*Mussismilia braziliensis*), o mero (*Epinephelus itajara*), a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) e muitas outras espécies de interesse comercial (Plano de Manejo PNMMRF, 2015).

Figura 3 - Mapeamento dos habitats e porcentagem de cobertura de cada no Parque Natural Municipal Marinho de Recife de Fora



Importante destacar que a partir do mapeamento da cobertura de *habitats* foi possível observar que a zona de uso intangível no PNMMRF protege 69,2% da cobertura com maior capacidade de oferta de SE, o habitat Coral/Alga. O restante das áreas mapeadas como habitat Coral/Alga encontra-se em zonas de uso extensivo e intensivo. Sabe-se que áreas marinhas protegidas com características mais restritivas são reconhecidas como ferramenta eficiente na conservação de ambientes recifais e na manutenção de estoques pesqueiros (Macneil et

al. 2015; Silva; Santos 2024). Neste contexto, em futuras revisões do plano de manejo desta UC, recomenda-se a expansão de zonas de uso intangível, dentro das possibilidades, buscando compatibilizar a manutenção dos ecossistemas e o uso destes recursos.

A partir da análise e classificação dos SEs foram identificados 19 SEs ofertados pelos recifes de corais estudados. Ambos os ambientes recifais avaliados ofertam bens e serviços cruciais para manutenção e estabilidade da zona costeira e sua população associada. Serviços atrelados ao

controle da erosão, manutenção de populações e *habitats*, regulação de fluxos biogeoquímicos e proteção contra eventos extremos são alguns exemplos. Esses serviços são indispensáveis para a saúde dos ecossistemas costeiros e a existência de UCs exerce papel-chave na conservação destes sistemas ambientais (Barbier, 2020). Enquanto a APACV desempenha um papel fundamental na provisão de recursos naturais para a comunidade local, o PNMMRF tem sua relevância para a preservação dos processos naturais e da biodiversidade.

O *habitat* com maior potencial de oferta em ambas as UCs foi a cobertura de Coral/Alga, sendo que no PNMMRF há uma oferta mais qualificada de bens e serviços (Tabela 1). Cabe aqui destacar que em observações visuais subaquáticas

realizadas durante as saídas de campo, observou-se uma maior diversidade de espécies de peixes e corais no PNMMRF em comparação a APACV. Sabe-se que os recifes de corais, principalmente aqueles em áreas de proteção integral, têm o poder de abrigar e proteger diversos animais, inclusive os que possuem algum grau de ameaça de extinção, sendo *habitats* fundamentais para o refúgio de vida marinha e possibilitando teias tróficas mais complexas (Silva *et al.*, 2024). A partir destes locais protegidos, animais conseguem se desenvolver, reproduzir e se dispersar ao redor da área e mar afora através do efeito de transbordamento, beneficiando atividades como a pesca, quando realizada em regiões favorecidas por essa área protegida (Ferreira *et al.*, 2022).

Tabela 3 - Oferta de SE por habitat na Área de Proteção Ambiental de Coroa Vermelha (APA em azul) e no Parque Natural Municipal Marinho de Recife de Fora (PN em vermelho) onde as cores mais fortes representam maior oferta e as mais claras, menor oferta

Serviço Ecossistêmico	Areia		Coral/Alga		Grama M.		Rocha		Casca lho	
	AP A	PN	AP A	PN	AP A	PN	AP A	PN	AP A	PN
Provisão										
Plantas selvagens (terrestres e aquáticas) utilizadas para nutrição	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0
Fibras e outros materiais provenientes de plantas selvagens para uso direto ou processamento (excluindo materiais genéticos)	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0
Animais selvagens (terrestres e aquáticos) para nutrição	1	1	1	4	0	1	2	3	1	1
Genes individuais extraídos de plantas superiores e inferiores para a concepção e construção de novas entidades biológicas	0	0	4	4	0	3	1	0	0	0
Material animal coletado para fins de manutenção ou estabelecimento de uma população	0	0	3	4	0	0	0	2	0	1
Fibras e outros materiais provenientes de animais selvagens para uso direto ou processamento	0	0	3	3	0	0	2	0	1	0
Regulação e Manutenção										
Regulação de compostos químicos na atmosfera e nos oceanos	0	0	3	4	0	2	1	1	1	1
Regulação de condição e químicas em água salgada por processos vivos	0	0	3	4	0	2	0	0	2	2
Dispersão de gametas	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0
Controle das taxas de erosão	0	0	5	5	0	2	5	5	2	2
Manutenção das populações e habitats dos viveiros	1	1	3	5	0	3	2	2	1	1
Regulação dos fluxos líquidos e eventos extremos	1	1	5	5	0	1	5	5	2	2

Filtração/sequestro/armazenamento/acumulação por microrganismos, algas, plantas e animais	1	1	5	5	0	2	3	3	2	2
Cultural										
Características de sistemas vivos que proporcionam experiências estéticas	0	0	4	5	0	2	1	1	1	1
Características dos sistemas vivos que permitem atividades que promovem a saúde, a recuperação ou o prazer através de interações passivas, ou observacionais	1	0	4	5	0	1	1	0	1	1
Características naturais e abióticas da natureza que permitem interações físicas e experiências ativas ou passivas	1	2	3	5	0	1	3	3	1	1
Características dos sistemas vivos que permitem atividades que promovem a saúde, a recuperação ou o prazer através de interações ativas, ou imersivas	1	2	3	5	0	1	3	3	1	1
Características dos sistemas vivos que permitem a investigação científica ou a criação de conhecimento ecológico tradicional	3	4	5	5	0	3	4	4	2	2
Características dos sistemas vivos que permitem a educação e a formação	3	3	4	5	0	2	4	4	2	2

Para os serviços de regulação/manutenção, as duas UCs se mantiveram semelhantes na oferta dos SE, destacando os serviços referentes ao controle das taxas de erosão e à regulação de fluxos líquidos e eventos extremos. Os recifes de corais são grandes barreiras que mantêm regiões costeiras seguras de eventos extremos oriundos do oceano aberto em direção à região costeira (Storlazzi *et al.* 2019). Para esses dois serviços, os *habitats* com maior capacidade de oferta são os *habitats* Coral/Alga e Rocha, pois são *habitats* consolidados. Outro importante SE foi o de filtração, sequestro, armazenamento e/ou acumulação por microrganismos, algas, plantas e animais, sendo que é ofertado em todos os *habitats*, sendo o *habitat* Coral/Alga o que apresenta o maior potencial de oferta. Esse serviço tende a se destacar, uma vez que os recifes de corais são ecossistemas altamente biodiversos, abrigando uma vasta gama de organismos com funções ecológicas essenciais (Moberg; Folke, 1999; Spalding *et al.*, 2001). Nos *habitats* de recifes há uma abundância de organismos filtradores que desempenham um papel na manutenção da estabilidade ambiental, removendo partículas em excesso e nutrientes que poderiam prejudicar a qualidade da água (U.S. Geological Survey, 2020). Além disso, organismos como as algas absorvem dióxido de carbono da atmosfera, contribuindo significativamente para a regulação do clima (International Institute for Sustainable Development, 2024).

Os recifes também abrigam uma diversidade de microrganismos fundamentais para o processo de decomposição da matéria orgânica, facilitando o ciclo de nutrientes e o armazenamento de elementos essenciais para o ecossistema marinho (U.S. Geological Survey, 2020). Esses processos contribuem diretamente para a manutenção da qualidade da água, ajudando a regular os ciclos dos nutrientes e promovendo a saúde geral dos ecossistemas costeiros. Além disso, os SE proporcionados pelos recifes têm importância ecológica, social e econômica, uma vez que esses ambientes fomentam a pesca, o turismo e a proteção das comunidades costeiras contra eventos extremos, como tempestades e erosão costeira (International Institute for Sustainable Development, 2024; Mumby *et al.*, 2008; Sciencedaily, 2021).

Ponto importante a ser apresentado está ligado aos serviços culturais, onde que ambas as UCs têm oferta substancial, embora o PNMMRF demonstre uma capacidade maior de oferta. A matriz de SE mostra 6 serviços culturais sendo ofertados, com destaque para o *habitat* com cobertura de Coral/Alga, que apresentou a oferta mais alta de SE culturais, com valores máximos de oferta (5) em todos os serviços avaliados. Dentre eles estão: características naturais dos sistemas vivos que proporcionam atividades de lazer e estéticas, trazer prazer por meio de interações experienciais e proporcionar saúde com experiências observacionais e imersivas de modo

pacífico. Esses serviços são explorados em meio à natureza do recife, por meio da visita ao parque com diferentes atividades turísticas (e.g. Snorkeling, flutuação e mergulho). Neste sentido, destacamos os aspectos ligados ao turismo, que no município de Porto Seguro é responsável uma parcela significativa do PIB. Este setor é dependente de seus recursos naturais, onde o PNMMRF é um importante atrativo. Devido ao aparato turístico e a facilidade de acesso para atividades turísticas embarcadas, no ano de 2023, 78.000 pessoas visitaram a UC (dados cedidos pela Secretaria do Meio Ambiente e Causa Animal de Porto Seguro), gerando uma receita significativa.

Já a APACV tem um menor potencial de oferta de SE culturais, fato decorrente da presença de *habitats* fragmentados e uma menor proporção de *habitats* de Coral/Alga nesta UC, em comparação ao PNMMRF. A fragmentação de *habitats* leva à redução ou perda de biodiversidade. Estudos apontam que a fragmentação de *habitats* pode levar à perda de espécies (Halpern *et al.*, 2008), redução da abundância de peixes (Mumby *et al.*, 2017) e diminuição da complexidade estrutural do recife (Graham *et al.*, 2013). Outro *habitat* importante na oferta de serviços culturais é o *habitat* Rocha, que em ambas UCs oferta valor igual a 4 em serviços voltados para a investigação científica, criação de conhecimento ecológico tradicional e educação e formação. Isso se dá por ser um ambiente rico em diversidade biológica bentônica, que por se fixar em substrato rígido, atrai outros organismos de vida livre.

O turismo em recifes de corais é uma atividade econômica importante, atraindo visitantes para as áreas marinhas devido à sua biodiversidade e beleza natural. No entanto, é importante reconhecer que, embora o turismo tenha um grande potencial econômico, ele também pode causar impactos negativos na vida marinha e nos ecossistemas, como o aumento da poluição (Santos *et al.*, 2021), o pisoteio de recifes (Hughes *et al.*, 2017) e a alteração dos comportamentos naturais de espécies locais (Burgin *et al.*, 2015). Por outro lado, o turismo bem gerido pode contribuir para a conservação dos recifes, principalmente ao promover a sensibilização dos visitantes sobre a importância da preservação e conservação ambiental (Prideaux *et al.*, 2018). Além disso, gera receitas financeiras que podem ser reinvestidas na gestão sustentável das áreas, promovendo a

implementação de práticas de conservação e a educação ambiental. Segundo Spalding *et al.* (2017), o valor global do turismo em recifes de corais é de 36 bilhões de dólares anuais, e seu manejo adequado pode ser um incentivo para a proteção desses ecossistemas vitais, ao mesmo tempo que favorece a economia local. Dessa forma, ao compatibilizar os benefícios econômicos com práticas responsáveis, é possível minimizar os impactos negativos e maximizar as oportunidades de conservação.

Entretanto, mesmo com a importância ecossistêmica e econômica dos recifes de corais analisados, ao longo dos últimos anos, impactos ambientais oriundos de diferentes fontes vêm sendo identificados na região (e.g. Chaves *et al.*, 2010; Lages, 2014). Tais evidências levantam preocupações que vão além dos impactos na oferta de SE, visto que os recifes de corais da região-alvo deste estudo estão inseridos no modo de vida de povos originários. As comunidades tradicionais costeiras, as quais incluem os povos originários, são compostas por pelo menos 500 milhões de pessoas em todo o mundo, sendo que esta parcela da sociedade tem um elevado grau de dependência dos bens e SE fornecidos pelos recifes de corais (Spalding *et al.*, 2017; Wilkinson, 2008). Como exemplo podemos citar a região de abrangências das UCs alvos deste estudo (i.e., os municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália), onde mais de 16 mil indígenas (IBGE, 2023) vivem e utilizam dos SEs prestados por estes ambientes recifais. Segundo Cisneros-Montemayor *et al.* (2021), povos indígenas associados ao mar têm uma relação essencial com os recifes de corais e o consumo de frutos do mar e pescado por estas comunidades é cerca de 15 vezes maior que o de comunidades não indígenas. Neste sentido, a manutenção e aprimoramento das UCs marinhas que abrigam recifes de corais na região é um ponto relevante para a conservação destes sistemas ambientais, ação imprescindível para a prestação contínua dos serviços ecossistêmicos e para manutenção dos modos de vida dos povos originários.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho, que teve por objetivo caracterizar e mapear os SEs em UCs de características distintas no sul da Bahia, revelou a importância ecossistêmica dos recifes de corais analisados. Os resultados demonstram que o PNMMRF tem maior porcentagem de sua

cobertura representada por *habitats* de corais (42%), sendo que 69% deles são protegidos pela zona de uso intangível delimitada nesta UC. Já a APACV, apesar de compreender uma área marinha protegida de apenas 3,82 km², abriga ao largo desta UC um complexo recifal de 14,881 km² no total e que se caracteriza por uma maior parcela da sua cobertura composta por *habitats* de Cascalho (51%) seguido de 32,11% de cobertura de Coral/Alga. Tais diferenças na cobertura podem estar ligadas à maior intensidade de uso nos recifes da região da APACV decorrentes do uso direto dos recursos, permissível pela categoria de proteção ambiental, além da facilidade de acesso e proximidade da linha de costa.

Os recifes de corais mapeados em ambas as UCs abarcam um total de 19 tipos de SEs distribuídos entre as categorias Provisão (6), Regulação e Manutenção (7) e Cultural (6), sendo a categoria Cultural a que se destaca por apresentar pontuações elevadas na oferta de SE. Dentre as coberturas mapeadas, o *habitat* Coral/Alga é a que apresenta o maior potencial de oferta de SE. Neste sentido, em função das características às quais os recifes de corais do PNMMRF estão expostos (i.e., proteção integral proporcionada pelo Parque Natural Municipal, distância da costa e menor exposição a fatores antrópicos), estes apresentam uma oferta mais qualificada de bens e serviços se comparado à APACV. A partir dos resultados gerados fica evidente a importância que os recifes de corais mapeados desempenham na oferta de SE, o que destaca a importância da manutenção e aprimoramento das ferramentas de gestão das UCs estudadas, incluindo o aumento da proteção destes *habitats*.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo financiamento, ao Programa de Iniciação à Pesquisa, Criação e Inovação (PIPICI) e à Pró-Reitoria de Ações Afirmativas (PROAF) pela concessão da bolsa de iniciação científica, à Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) e à Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Causa Animal de Porto Seguro (SEMA) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUDELO, C.; FRANÇA, A. A.; SILVA, F. R. Modeling interactions among multiple ecosystem

services. A critical review. **Ecological Modelling**, v. 429, p. 109, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109103>

ARIZONA STATE UNIVERSITY. **Allen Coral Atlas**. 2022. Disponível em: <https://allencoralatlas.org>. Acesso em: 7 nov. 2024

ALMEIDA, T. C. de; SOUZA, G. B. G. de. Vulnerabilidade Costeira e Seus Efeitos Sobre os Serviços Ecossistêmicos na Baía de Todos os Santos. Disponível em: <https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st04-53.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.

BAETA NEVES, L. C. **Caminhos de Coroa Vermelha**. São Paulo: Editora Histórico, 2000.

BAHIA. Decreto nº 2.184 de 07 de junho de 1993. Cria a Área de Proteção Ambiental da Coroa Vermelha, nos Municípios de Porto Seguro e Santa Cruz de Cabrália, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/DECRETO-N%C2%BA-2.184-DE-07-DE-JUNHO-DE-1993-Cor%C3%B3a-Vermelha.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BARBIER, E. B. Marine ecosystem services. **Current Biology**, v. 27, n. 11, R507-R510, Jun. 2017. Disponível em: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(17\)30289-0?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982217302890%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(17)30289-0?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982217302890%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 7 nov. 2024.

BENDER, M. G.; FLOETER, S. R.; HANAZAKI, N. Do traditional fishers recognise reef fish species declines? Shifting environmental baselines in Eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 20, n. 1, p. 58–67, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/fme.12006>

BLOWES, S. A. *et al.* The geography of biodiversity change in marine and terrestrial assemblages. *Science*, v. 336, p. 339–345. DOI: [10.1126/science.aaw1620](https://doi.org/10.1126/science.aaw1620)

BRANDER, L. M.; BEUKERING, P. van; NIJSTEN, Lynn. The global costs and benefits of expanding Marine Protected Areas. **Marine Policy**, v. 116, p. 103953, 2020. DOI: [10.1016/j.marpol.2020.103953](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103953).

BRANDL, S. J. et al. Coral reef ecosystem functioning: eight core processes and the role of biodiversity. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 8, p. 445-454, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1002/fee.2088>

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC. Diário Oficial da União, Brasília, 19 de julho de 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm

BRUNER, A. G. et al. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, v. 291, n. 5501, p. 125-128, Jan. 2001. DOI: doi: 10.1126/science.291.5501.125.

BURGIN, S.; HARDIMAN, N. Effects of non-consumptive wildlife-oriented tourism on marine species and prospects for their sustainable management. **Journal of Environmental Management**, v. 151, p. 210-220, 2015.

CHAVES, L. C. T.; NUNES, J. D. A. C. C.; SAMPAIO, C. L. S. Shallow reef fish communities of south Bahia Coast, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 33-46, 2010. DOI: [10.1590/S1679-87592010000800006](https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000800006)

CISNEROS-MONTEMAYOR, A. M. et al. Enabling conditions for an equitable and sustainable blue economy. **Nature**, v. 591, n. 7850, p. 396-401, 18 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03327-3>.

CORAZZA, B. et al. No coral recovery three years after a major bleaching event in reefs in the Southwestern Atlantic refugium. **Marine Biology**, v. 171, n. 114, p. 82-90, Jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04432-3>

COSTA JUNIOR, O. Anthropogenic nutrient pollution of coral reefs in southern Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 55, n. 4, p. 265-279, Dec. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/FjJFcB3dJ9KksqpMqMyb3TC/?lang=en>. Acesso em: 7 nov. 2024.

DONNER, S. D.; RICKBEIL, G. J. M.; HERON, S. F. A new, high-resolution global mass coral bleaching database. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, Apr. 2017. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0175490>. Acesso em: 9 nov. 2024.

EDDY, T. D. et al. Global decline in capacity of coral reefs to provide ecosystem services. **One Earth**, v. 4, n. 9, p. 1278-1285, Sep. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.01>

EDDY, T. D.; CHEUNG, W. W. L.; BRUNO, J. F. Historical baselines of coral cover on tropical reefs as estimated by expert opinion. **PeerJ**, [S.I.], v. 6, e4308, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.4308>

EDGAR et al. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. **Nature**, v. 506, n. 7487, p. 216-220. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature13022>

FERREIRA, H. M.; MAGRIS, R. A.; FLOETER, S. R.; FERREIRA, C. E. L. Drivers of ecological effectiveness of marine protected areas: A meta-analytic approach from the Southwestern Atlantic Ocean (Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 301, n. 113889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113889>

GRAHAM, N. A. J.; NASH, K. L. A importância da complexidade estrutural nos ecossistemas de recifes de coral. **Recifes de Coral**, v. 32, p. 315-326, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0984-y>.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHEIN-YOUNG, M. Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5.1): a policy brief. **One Ecosystem**, v. 3, p. e27108, 2018. Disponível em: <https://oneecosystem.pensoft.net/article/27108/>. Acesso em: 9 nov. 2024.

HALPERN, B. S. et al. Um mapa global do impacto humano nos ecossistemas marinhos. **Ciência**, v. 319, p. 948-952, 2008. DOI: 10.1126/science.1149345.

HICKS, C. C.; GRAHAM, N. A. J.; CINNER, J. E. Coral reef tourism and conservation education: successes and challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 102, p. 175-186,

2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.020>.
- HOEGH-GULDBERG, O.; PENDLETON, L.; KAUP, A. People and the changing nature of coral reefs. **Regional Studies in Marine Science**, v. 30, p. 100699, Jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100699>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Relatório Anual 2023*. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Coral reefs: Strategies for ecosystems on the edge. Disponível em: <https://www.iisd.org/articles/insight/coral-reefs-strategies-ecosystems-edge>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- JACKSON, J. B. C. *et al.* Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. **Science**, v. 293, n. 5530, p. 629–637, Jul. 2001. DOI: [DOI: 10.1126/science.1059199](https://doi.org/10.1126/science.1059199)
- KENNEDY, E. V. *et al.* Reef Cover, a coral reef classification for global habitat mapping from remote sensing. **Scientific Data**, v. 8, art. 196, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00958-z>.
- KUEMPEL, C. D. *et al.* A spatial framework for improved sanitation to support coral reef conservation. **Environmental Pollution**, v. 342, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123003>
- LAGES, N. dos S. Caracterização da comunidade coralínea de piscina do Parque Natural Municipal do Recife de Fora, Porto Seguro, Bahia. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/71/teses/828733.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M. The Coral Reef Province of Brazil. Second Edition. [s.l.] Elsevier Ltd., 2019. v. 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00048-6>
- LIÑÁN-CABELLO, M. A. *et al.* Effects of terrestrial runoff on the coral communities in Santiago Bay, Colima, Mexican Pacific Coast. **Revista de Biología Tropical**, v. 64, n. 3, p. 1185–1200, 2016. DOI: [10.15517/rbt.v64i3.21817](https://doi.org/10.15517/rbt.v64i3.21817)
- MACNEIL, M. A. *et al.* Recovery potential of the world's coral reef fishes. **Nature**, v. 520, n. 7547, p. 341–344, Apr. 2015. DOI: [10.1038/nature14358](https://doi.org/10.1038/nature14358).
- MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, p. 215–233, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- PARQUE NATURAL MUNICIPAL MARINHO DE RECIFE DE FORA. **Plano de Manejo**. Porto Seguro: Prefeitura Municipal de Porto Seguro, 2015.
- PENG, J. *et al.* Urbanization impact on the supply-demand budget of ecosystem services: Decoupling analysis. **Ecosystem Services**, v. 44, p. 101139, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101139>
- PETRONI, M. L.; SIQUEIRA-GAY, J.; GALLARDO, A. L. C. F. Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 223, p. 104404, 2022. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2022.104404](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104404). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.10440>
- Prideaux, B.; Pabel, A. Coral reefs: Tourism, conservation and management. 1st ed, Routledge, London, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315537320>
- ROELFSEMA, C. M. *et al.* Coral reef habitat maps derived from a hierarchical mapping approach applied to remote sensing imagery. **PANGAEA**, 2013. DOI: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.830123>.

SANTOS, I. R. et al. Global coral reef ecosystems exhibit declining calcification and increasing primary productivity. **Communications Earth & Environment**, v. 2, art. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00168-w>.

SCIENCEDAILY. Some coral reefs are keeping pace with ocean warming. **ScienceDaily**, 7 set. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/09/210907175344.htm>. Acesso em: 7 nov. 2024.

SILVA, R. A.; SANTOS, M. C. Coral microbiomes from the Atlantic and Indo-Pacific oceans have the same alpha diversity but different composition. **bioRxiv**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1101/2024.08.16.608269>.

SILVA, M. G.; Beltrão, N.; Morales, G. Valoração de serviços ecossistêmicos em unidades de conservação na Amazonia brasileiras. **Revista Georaguaia**, v. 13, n. 1, p. 2008-227, 2023. Disponível: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/10931>

SPALDING, M. D. et al. Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. **Marine Policy**, v. 82, p. 104–113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>.

STORLAZZI, C. D. et al. Rigorously valuing the role of U.S. coral reefs in coastal hazard risk reduction. **U.S. Geological Survey Open-File Report**, 2019–1027, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr20191027>.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Coral Reefs: Strategies for Ecosystems on the Edge. **USGS.gov**, 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/programs/climate-adaptation-science-centers/science/science-topics/coral-reefs>. Acesso em: 9 nov. 2024.

WEAR, S. L.; THURBER, R. V. Poluição por esgoto: a mitigação é fundamental para a administração dos recifes de coral. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1355, n. 1, p. 15–30, 2015. DOI: 10.1111/nyas.12785

WILKINSON, Clive R. Status of coral reefs of the world: 2008. Townsville: **Global Coral Reef Monitoring Network**, 2008. Disponível em: <https://www.sprep.org/att/IRC/eCOPIES/Global/213.pdf>. Acesso em: 6 maio 2025.

ZANEVELD, J. R. et al. Overfishing and nutrient pollution interact with temperature to disrupt coral reefs down to microbial scales. **Nature Communications**, v. 7, art. 11833, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms11833>.