



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**CONSEQUÊNCIA DA MUDANÇA DE FASE SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS
EM ECOSSISTEMAS RECIFAIAS**

CLÁUDIO HENRIQUE GOMES FIALHO

**RECIFE
2021**

CLÁUDIO HENRIQUE GOMES FIALHO

**CONSEQUÊNCIA DA MUDANÇA DE FASE SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS
EM ECOSISTEMAS RECIFAIAS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Braga Gomes

**RECIFE
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F438c Fialho, Cláudio Henrique Gomes
Consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais em ecossistemas recifais / Cláudio Henrique Gomes
Fialho. - 2021.
44 f. : il.

Orientadora: Paula Braga Gomes.
Inclui referências e apêndice(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Ciências Biológicas, Recife, 2021.

1. phase shift. 2. recifes de corais. 3. diversidade funcional. I. Gomes, Paula Braga, orient. II. Título

CDD 574

CLÁUDIO HENRIQUE GOMES FIALHO

**CONSEQUÊNCIA DA MUDANÇA DE FASE SOBRE ATRIBUTOS FUNCIONAIS
EM ECOSISTEMAS RECIFAIAS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Comissão de Avaliação:

1º Titular: Profª Dra. Paula Braga Gomes – UFRPE
(Orientadora)

2º Titular: Dra. Erika Flávia Crispim de Santana - UFPB

3º Titular: Ms. Isabela Guimarães Leitão da Silva - UFPE

Suplente: Ms. Umberto Diego Rodrigues de Oliveira - UFBA

Aprovado em 17 de dezembro de 2021.

NOTA 9,5

CONCEITO A

**RECIFE
2021**

Dedico este trabalho à minha família,
seja ela de sangue ou de coração.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço ao universo pela dádiva da vida, esse fenômeno incrível e misterioso, que nos faz estar aqui e que é a razão de ser deste curso de graduação que finalizo. Sempre vou defender que não há nada mais bonito do que estudar a vida em si. Agradeço então ao Kayke criança, obrigado por ter sonhado, obrigado por acreditar que um dia seria biólogo, o nosso eu adolescente foi desviado do caminho, mas agora eu estou aqui fazendo isso por nós. Aproveito para fazer uma menção honrosa ao biólogo Sérgio Rangel, e a todos os profissionais responsáveis por criar e produzir reportagens e documentários de natureza, o primeiro contato de muitos de nós com essa mágica da natureza, vocês são uma inspiração.

Agradeço ao nosso planeta Terra, representado por muitas culturas como nossa mãe, a Pacha mama que nos dá todo o necessário para sobreviver, e mesmo assim nos tornamos filhos gananciosos, que esquecem de cuidar de si e da sua casa. Precisamos urgente olhar pra o nosso redor com o olhar cheio de amor que olhamos para nossa própria mãe. Proteger e cuidar desse planeta é a motivação que me faz passar por todas as dificuldades de enfrentar um caminho acadêmico. Desde o menor organismo aos maiores animais e árvores, todos temos o mesmo direito de existir conforme a evolução nos trouxe até esse tempo e espaço.

Agradeço então a todos que vieram antes de mim nessa missão de dedicar a suas vidas ao estudo da vida dos outros. Nesse sentido, preciso agradecer também aos que estão agora comigo, a todos os meus professores eu nem sei como agradecer por tanto, agradeço a todos os funcionários da Ruralinda, uma universidade que emana amor em cada pedacinho dela. Em especial, agradeço aos meus amores das Cocotinhas da Rural, sem vocês nada seria possível, obrigado por me acolher e criar essa rede de suporte e amor que vamos levar pro resto da vida. Não posso deixar de mencionar e agradecer ao melhor grupo PET em linha reta da América Latina, gratidão ao PET Biologia! Todos os PETianos e PETianas que estiveram comigo desde a experiência PET, aprendi demais com vocês, especialmente com nossa eterna tutora Jaqueline, uma inspiração de profissional e ser humano! Estendo meus agradecimentos aos meus amores do LECEM, não poderia existir um encontro melhor nessa vida, é um prazer estar nessa caminhada ao lado de vocês, preciso mencionar aqui Érica, por ser esse ser que emana luz em todos nós, te amo! Agradeço à minha (des)orientadora Paula, você sempre será uma inspiração, obrigado por tanto! Faço uma menção especial ao Pérez, que apesar dos aperreios tenho grande carinho. Aproveito para agradecer ao GPA, e todos que dele fazem parte.

Agradeço especialmente aos meus pilares, a minha família, sem vocês nada seria possível, obrigado pelo suporte e pela acolhida, sem isso eu não poderia estar realizando mais esse sonho. Minha mãe, meu pai, regi, minha vó, mainha, Zé Catioro e todos os outros, eu amo vocês com todas as forças do meu ser! Minhas amigas e amigos, que me ouviram falar incansavelmente sobre esse novo capítulo da minha vida, e me apoiaram nas várias vezes que eu pensei em desistir, eu também amo vocês demais, gratidão!

Por fim, não poderia deixar de agradecer e dedicar esse trabalho à toda sociedade brasileira, afinal sem nosso pacto e os impostos pagos, não seria possível existir um sistema público e gratuito de educação superior pública de qualidade, que me permitiu me tornar o profissional que pretendo ser, espero poder devolver da melhor forma possível através das minhas ações futuras. Precisamos proteger nossos patrimônios, precisamos defender as universidades, a ciência, nossa biodiversidade e meio ambiente, precisamos defender o SUS! Finalizo meu curso em tempos politicamente nefastos, porém, não só acredito, como lutarei incansavelmente por dias melhores!

RESUMO

Os recifes têm grande importância na biodiversidade marinha, além de oferecerem importantes serviços ecossistêmicos às populações humanas. Mesmo assim eles vêm passando por uma redução na cobertura coralínea e na diversidade de espécies devido, principalmente, a sobrepesca, poluição, doenças e mudanças climáticas. É prevalente na literatura a associação desses fatores antrópicos com alterações na estrutura das comunidades bentônicas e perda de resiliência, podendo ocorrer a substituição de uma comunidade dominada por corais a um novo estágio de domínio não coralíneo, processo conhecido como “mudança de fase”. A diversidade de atributos funcionais presentes num ecossistêmica é uma importante medida de diversidade funcional, e por estar relacionada com a disponibilidade de serviços ecossistêmicos, possibilita uma comparação do estado desses ambientes, antes/após alterações como as mudanças de fase. Aqui, buscamos avaliar a consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais em ecossistemas recifais. Para isso, foram analisados dados como localização geográfica, intervalo temporal, dominância bentônica pré e pós mudança de fase, assim como possíveis causas em 29 artigos encontrados em uma extensa revisão bibliográfica. Após listagem das espécies envolvidas nesses processos de mudança de fase e seleção, a partir da literatura relacionada, dos atributos funcionais que foram avaliados, foi realizada uma nova revisão em busca dos traços dessas espécies. Com a obtenção de todos os dados foram realizadas análises descritivas, para avaliar a sobreposição de funções entre organismos construtores e não construtores e discutir as consequências funcionais da mudança de fase. Foram encontrados 29 registros que descrevem processos de mudança de fase em recifes de corais. Registros na região do Caribe representaram 41,38% dos registros encontrados, podendo estar relacionado aos altos graus de investimento em pesquisas na região, como também a impactos antrópicos relacionados ao alto índice de ocupação humana proveniente do turismo e outras atividades econômicas. Houve o predomínio (62,07%) de processos que envolvem organismos, como esponjas, corais moles e equinóides na substituição das fases originais. Porém, dos 29 registros encontrados, 11 (39,29%) envolvem macroalgas, o que demonstra a frequência destes organismos na substituição da cobertura coralínea nos recifes. Comparando o conjunto de atributos das fases originais e novas foi possível notar consequências negativas, positivas e neutras. Notou-se uma grande incompletude nos dados dos trabalhos utilizados nas análises, sendo necessário um grande esforço amostral. Por fim, foi possível através desse trabalho notar que quando um recife perde corais, além de capacidade construtora, também perde vários outros atributos funcionais correlatos às espécies. Além disso, as novas espécies dominantes trazem novos atributos que vão caracterizar a nova fase do ecossistema, podendo ser alterações positivas. Esperamos ter contribuído com a ampliação do conhecimento em relação a esses processos, além de gerar subsídios para que novos estudos sejam realizados. Pesquisas dessa natureza são importantes pela possibilidade de auxiliar gestores e governanças em medidas de mitigação de danos, conservação e até na recuperação desses ecossistemas.

Palavras-chave: phase shift; recifes de corais; diversidade funcional.

ABSTRACT

Coral reefs are very important to marine biodiversity, in addition they provide important ecosystem services to human populations. Even so, they have been experiencing a reduction in coral cover and species diversity, mainly due to overfishing, pollution, disease and climate change. The association of these anthropic factors with alterations in the structure of benthic communities and loss of resilience is prevalent in the literature, with the possibility of replacing a community dominated by corals with a new stage of dominance by other organisms, a process known as "phase shift". The diversity of functional attributes present in an ecosystem is an important measure of functional diversity, and as it is related to the availability of ecosystem services, it allows a comparison of the state of these environments, before/after changes such as phase shifts. Here, we aim to assess the consequence of a phase shift on functional traits in reef ecosystems. For this, initially, data such as geographic location, time interval, benthic dominance before and after phase shifts were analyzed, as well as possible causes of 29 records found in an extensive literature review. After listing the species involved in these processes of phase change and selection, from the related literature, of the functional attributes that were evaluated, a new review was carried out in search of the traits of these species. After obtaining all the data, descriptive analyzes were performed to assess the overlapping of functions between building and non-building organisms and to discuss the functional consequences of the phase shift process. 29 records were found that describe phase shifts processes in coral reefs. Records in the Caribbean region represented 41.38% of all the records found, which may be related to the high levels of investment in research in the region, as well as anthropic impacts related to the high rate of human occupation from tourism and other economic activities. There was a predominance (62.07%) of processes involving organisms such as sponges, soft corals and echinoids in the replacement of the original phases. However, of the 29 records found, 11 (39.29%) involve macroalgae, which demonstrates the frequency of these organisms in replacing the coral cover on reefs. Comparing the set of attributes of the original and new phases, it was possible to notice negative, positive and neutral consequences. There was a great incompleteness in the data from the studies used in the analyses, requiring a great sampling effort. Finally, it was possible through this work to note that when a reef loses corals, in addition to building capacity, it also loses several other functional attributes related to the species. In addition, the new dominant species bring new attributes that will characterize the new phase of the ecosystem, which may be positive changes. We hope to have contributed to the expansion of knowledge in relation to these processes, in addition to generating subsidies for further studies to be carried out. Research of this nature is important for the possibility of helping managers and governance in measures to mitigate damage, conservation and even the recovery of these ecosystems.

Keywords: phase shift; coral reefs; functional diversity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2.REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Os recifes de corais sob ameaça	12
2.1.1 Resiliência como solução.....	14
2.2 Mudanças de fase.....	15
2.3 Diversidade funcional.....	16
3.MATERIAL E MÉTODOS	17
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Características dos processos de mudança de fase	21
4.2 Análise dos atributos funcionais pré e pós mudanças de fase	26
5.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
APÊNDICES	44

1. INTRODUÇÃO

O oceano é um importante elemento do sistema biogeoquímico global. Por estar intimamente relacionado ao clima, o aumento na quantidade de gases do efeito estufa na atmosfera e suas consequentes alterações climáticas, causam efeitos drásticos aos ambientes e organismos marinhos (IPCC, 2019; Yadav & Gjerde 2020). Dados do relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança no Clima) de 2019, demonstram que modificações das características físico-químicas do oceano, como o aquecimento, acidificação e desoxigenação, estão afetando a biodiversidade marinha, desde pequenos processos moleculares, até ecossistemas inteiros.

Apesar de representarem apenas cerca de 0,2% da área total do oceano, os ecossistemas recifais são responsáveis por abrigar, aproximadamente, 25% de toda a biodiversidade marinha (Moberg & Folke 1999; Hughes et al 2003; Hoegh-Guldberg et al 2017), além de ofertarem uma alta diversidade de serviços ecossistêmicos às populações humanas, como proteção costeira, pesca de subsistência e turismo, que movimentam bilhões de dólares anualmente em todo o mundo (Moberg & Folke 1999; Fenner, 2012; Chen et al, 2015; Elliff & Silva 2017; Harvey et al 2018; Burt et al 2020). Mesmo tendo tamanha importância, os recifes vêm passando por uma redução na cobertura coralínea e na diversidade de espécies devido, principalmente, devido a impactos ligados a mudanças climáticas (i.e. aquecimento e acidificação dos oceanos) e impactos locais (i.e. sobre pesca e poluição) (Hughes et al, 2003; Bellwood et al, 2004; Baker et al, 2008; Hughes et al, 2017; Magris et al 2018; Burt et.al 2020).

Esses distúrbios antrópicos são diretamente responsáveis pela diminuição ou perda de resiliência por parte dos ecossistemas recifais, ou seja, perdem a capacidade de se recuperarem após distúrbios, como tempestades tropicais e eventos de branqueamento (Done, 1992; Hughes et al, 2003; Nyström et al, 2008; Anthony et al, 2011; Elliff & Silva 2017). Vários trabalhos associam essa perda de resiliência com alterações na estrutura das comunidades bentônicas, podendo ocorrer a substituição de uma comunidade dominada por corais a um novo estágio de domínio alternativo, processo conhecido como “mudança de fase” (Bellwood et al, 2004 e 2006; Nyström, 2008; Norström et al 2009; Fung et al, 2010; Dudgeon et al, 2010; Cruz et al 2014).

Os processos de mudança de fase em ecossistemas recifais mais estudados e amplamente conhecidos são os do tipo coral-alga, eles são caracterizados quando algas, em sua maioria macroalgas, substituem a cobertura bentônica que antes era ocupada por corais (i.e. Bruno et al 2009). No entanto, existem diversos casos já registrados de substituição da dominância de corais por diversos outros organismos bentônicos, como poríferos (i.e., Williams et al 1999) e zoantídeos (i.e. Cruz et al 2014). Independentemente do tipo de processo, esses vão provocar alterações na dinâmica da comunidade bentônica e do ecossistema recifal como um todo, atribuindo-lhes um novo conjunto de atributos funcionais, por exemplo (Done, 1992; Norström et al, 2009; Cruz et al, 2014; Cruz et al 2015).

Segundo Tilman (2001), diversidade funcional é o valor e a amplitude dos atributos que influenciam no funcionamento do ecossistema. Essa vem sendo considerada um importante componente da biodiversidade, tendo cada vez mais destaque nos estudos ecológicos, já que vai além da identificação de quantas e quais espécies estão presentes em uma comunidade, fazendo um reconhecimento dos papéis e dos impactos que essas espécies propiciam ao sistema (Petchey & Gaston 2002; Calaça & Grelle 2016; Wong et al 2018).

Esse destaque que vem sendo dado à diversidade funcional é justificado, além de outras razões, pelo fato de que não é a riqueza de espécies em si que sustenta a influência da biodiversidade sobre as funções ecossistêmicas. Essa influência é sustentada pela diversidade de papéis funcionais entre as espécies, medida por suas características, traços ou atributos funcionais (Petchey & Gaston 2006; McWilliam et al 2018). Benkwitt et al (2020) sustentam que em recifes a biodiversidade aumenta as funções do ecossistema, apesar das diversas pressões antropogênicas. Logo, essas relações positivas entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema demonstram a importância da conservação da biodiversidade visando a manutenção das principais funções desses ecossistemas e, consequentemente, dos serviços ecossistêmicos associados (Perry & Alvarez-Philip 2018; Benkwitt et al 2020).

Dentro desse contexto apresentado e buscando analisar os processos de mudança de fase por uma ótica funcional, o presente trabalho procura através de compilações de dados já publicados responder a seguinte questão: qual a consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais em ecossistemas recifais?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais nos recifes de corais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar os processos já registrados de mudança de fase em recifes ao redor do mundo;
- Identificar os principais atributos funcionais das espécies envolvidas nas mudanças de fase;
- Avaliar os atributos funcionais que são perdidos, ou ganhos, na mudança de fase para diferentes grupos biológicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Os recifes de corais sob ameaça

Os recifes de corais são ecossistemas marinhos, caracterizados por estruturas geológicas construídas através da deposição de carbonato de cálcio produzido por corais, algas e vários outros organismos (Veron, 2000; Fenner, 2012). Os quatro principais tipos de recifes de coral são recifes de orla, recifes de barreira, atóis e recifes de plataforma (Moberg & Folke, 1999). Esses ecossistemas são distribuídos principalmente nas águas quentes e rasas da faixa tropical do planeta, contudo também estão presentes em regiões frias e profundas dos oceanos. Ambos os corais de água quente e fria secretam esqueletos de carbonato de cálcio que se acumulam ao longo do tempo para criar uma matriz de recife tridimensional que fornece habitat para milhares de peixes e outras espécies (Hoegh-Guldberg et al 2017).

Os ecossistemas recifais são considerados uns dos mais biodiversos e produtivos do planeta Terra (Moberg & Folke, 1999; Veron, 2000; Hughes et al, 2003; Fenner, 2012; Burt et al, 2020). Embora ocupem apenas cerca de 0,2% do fundo do oceano (aproximadamente 250.000 km²), eles fornecem habitat para pelo menos 25% das espécies marinhas conhecidas, com muitas espécies ainda a serem descobertas (Chen et al, 2015; Elliff & Silva 2017; Hoegh-Guldberg et al, 2017; Harvey et al, 2018). Toda essa

biodiversidade se traduz também na prestação de bens e serviços ecossistêmicos às populações humanas, apoiando assim o desenvolvimento social e econômico (Moberg & Folke 1999; Hughes et al, 2003; Fenner, 2012).

Os serviços do ecossistema podem ser entendidos como os benefícios dos ecossistemas naturais que levam ao bem-estar humano (Elliff & Silva, 2017), sendo os recifes responsáveis por prover proteção das costas, pesca, matéria prima para indústria farmacêutica e alimentícia, aquarismo, turismo, entre outros (Moberg & Folke 1999; Hoegh-Guldberg, 2017; Harris et al, 2018; Harvey et al, 2018). Assim como outros serviços, os ecossistêmicos tendem a ser valorizados dentro do sistema financeiro hegemônico atual. O patrimônio ambiental dos recifes foi estimado em cerca de 1 trilhão de dólares, com o valor econômico de bens e serviços de recifes de coral excedendo 375 bilhões de dólares anualmente em todo o mundo (Hoegh-Guldberg, 2017; Harvey et al, 2018). Apenas o setor de turismo e recreação, um importante setor econômico associado aos recifes, é responsável por cerca de 30 bilhões de dólares gerados anualmente (Chen et al, 2015).

Todavia, muitos usos dos recifes de corais são insustentáveis e, neste sentido, muitos dos recursos dos recifes também são a causa de seu declínio (Moberg & Folke 1999). São exemplos de exploração não sustentável, sobrecarga turística, dispersão de espécies invasoras, práticas de pesca destrutivas, sobrepesca e outras, além de impactos indiretos como sedimentação devido ao desenvolvimento costeiro, poluição por mudanças no uso da terra e aumento de nutrientes provenientes da agricultura (Moberg & Folke, 1999; Chen et al, 2015; Harvey et al, 2018). Embora essas alterações humanas locais tenham um papel de destaque na degradação de sistemas recifais, são as mudanças climáticas a maior preocupação sobre o futuro dos recifes como os conhecemos. Afinal, eles estão entre os primeiros ecossistemas a mostrar respostas ecológicas marcantes ao aquecimento global, e tal sensibilidade aumenta o risco de extinção para muitas espécies (Magris et al 2018).

Dessa forma, apesar de apresentarem grande importância ecológica, econômica e social, os recifes enfrentam nas últimas décadas um preocupante processo de declínio, provocado principalmente pela associação das mudanças climáticas globais e ações antrópicas locais (Hughes et al, 2017; Burt et al, 2020). Segundo dados do relatório do IPCC (2019), já foram causados grandes impactos sobre recifes tropicais de águas rasas, principalmente por substituição de espécies, branqueamento e diminuição da cobertura

de corais. O relatório também destaca que os riscos climáticos colocarão os corais de água quente em risco muito alto, mesmo se o aquecimento global for limitado a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, cenário em que se concluiu que os recifes estão projetados para diminuir de 70 a 90% (confiança muito alta) com perdas maiores (> 99%) a 2°C.

2.1.1 Resiliência como solução

Embora na ecologia exista muita discussão acerca do conceito de resiliência, o que gera diversas definições de acordo com o emprego do termo, praticamente todas vinculam o conceito de resiliência à capacidade de um sistema de absorver e se recuperar de impactos, bem como de continuar a se adaptar e se desenvolver, sendo considerada unanimemente uma propriedade fundamental dos sistemas (Graham et al, 2013; Yadav & Gjerde, 2020). O IPCC apresenta uma definição completa e bem aceita pela literatura, na qual resiliência (ecológica ou do ecossistema) é considerada “a capacidade de um sistema e suas partes componentes de antecipar, absorver, acomodar ou se recuperar dos efeitos de um evento perigoso de maneira oportuna e eficiente, inclusive através da garantia da preservação, restauração ou melhoria de suas estruturas e funções básicas essenciais ” (Bellwood, 2004; Nyström, 2008; McClanahan, 2012; Graham et al, 2013; IPCC, 2019; Yadav & Gjerde, 2020).

Em suas análises, ANTHONY et al (2011) indicaram que a acidificação e o aquecimento do oceano são fatores críticos de mudança na resiliência dos recifes, por meio de impactos nas taxas de crescimento e sobrevivência dos corais. Semelhante a outros ecossistemas, a capacidade de um recife fornecer serviços ecossistêmicos depende intrinsecamente de sua condição de resiliência (Elliff & Silva, 2017). Assim, recifes degradados ou recifes que estão sob condições estressantes têm uma capacidade reduzida de prestar seus inúmeros serviços. Por exemplo, Graham et al (2013) sustentam que se a resiliência for suficientemente prejudicada, pode ocorrer uma mudança de fase para um estado alternativo dominado por um conjunto diferente de organismos. Esses estados alternativos são geralmente considerados indesejáveis por fornecerem menos bens e serviços ecossistêmicos. Além disso, estados degradados também podem ser resilientes à mudança, complicando sua reversão.

Nesse sentido, a literatura alerta sobre a crise dos recifes e propõe uma solução através da aplicação de métodos de conservação de recifes baseados em processos que

mantenham ou aumentem a resiliência dos sistemas recife-sociedade (Bellwood, 2004; Nyström, 2008; Steneck *et al*, 2019; Yadav & Gjerde 2020).

2.2 Mudanças de fase

Em recifes de coral, a mudança de fase é identificada pela redução na abundância ou cobertura de corais, contraposta por um aumento persistente de organismos não construtores de recifes, tais como corais moles (Done 1992 *apud* Cruz et al, 2014) e macroalgas frondosas (Cook, 1999; Bruno et al 2009).

Nas últimas décadas, transições de dominância de corais para macroalgas em alguns recifes tropicais geraram debates sobre suas causas e efeitos (Done 1992; McCook 1999; Folke et al 2004). Na literatura não há consenso sobre se esses processos se tratam de estados alternativos estáveis ou mudanças de fase, e segundo Dudgeon (2010), essa dúvida deriva de mal-entendidos teóricos. Em sua revisão de 2010 o autor chega à conclusão de que os dados de recifes fósseis e modernos apoiam firmemente a hipótese da mudança de fase, em vez da hipótese de estados estáveis alternativos. De acordo com Norstrom et al (2009) a mudança de fase ocorre efetivamente quando essa troca persiste por, ao menos, um período de cinco anos. Quando essas mudanças passam a serem consideradas dramáticas, uma vez que a comunidade passa a um estado de composição e estrutura alteradas, que frequentemente fornecem menos serviços ecossistêmicos (Cheal et al, 2010).

Em recifes tropicais, um determinado ambiente evidentemente suporta no máximo uma única comunidade estável. Os corais dominam ambientes que são perturbados principalmente por eventos naturais e têm pequenos impactos antrópicos. Em tais ambientes, as macroalgas dominam um estágio durante algumas trajetórias sucessionais para a comunidade estável dominada por corais. Em ambientes antropogenicamente perturbados, a resiliência da comunidade dominada por corais é perdida, precipitando mudanças de fase para comunidades dominadas por macroalgas ou outros grupos taxonômicos (Folke et al 2004; Norström et al 2009; Dudgeon 2010; IPCC, 2019).

As denominadas mudanças de fase apresentam-se, portanto, como um estado alternativo e, por vezes, duradouro (Bellwood, 2004; Nyström, 2008). Os desdobramentos de tais alterações são diversos e já vêm sendo apontados por pesquisadores. Done (1992),

McCook (1999) e Cruz et al (2015), relatam implicações biológicas, sociais e econômicas. A biodiversidade é reduzida, o que compromete a pesca, a atratividade turística dos recifes, assim como o declínio da capacidade de servir como quebra-mar, por exemplo.

2.3 Diversidade funcional

A diversidade funcional pode ser entendida como a extensão das diferenças funcionais entre as espécies em uma comunidade (Petchey & Gaston 2002), ou seja, diz respeito à variedade de funções que os organismos exercem nas comunidades, sendo um componente da biodiversidade determinante nos processos dos ecossistemas (Petchey & Gaston 2006). Uma medida comum de diversidade funcional é o número de grupos funcionais representados pelas espécies em uma comunidade. Bellwood (2004) define grupos funcionais como um conjunto de espécies que desempenham uma função semelhante, independentemente de suas afinidades taxonômicas.

Importante frisar que não é a riqueza de espécies em si que sustenta a influência da biodiversidade sobre as funções ecossistêmicas. Mas sim a diversidade de papéis funcionais entre as espécies, medida por suas características, traços ou atributos funcionais, que sustenta essa influência (Petchey & Gaston 2006; McWilliam et al 2018). Benkwitt et al (2020) sustentam que em recifes a biodiversidade aumenta as funções do ecossistema, apesar das diversas pressões antropogênicas. Mesmo com perspectivas de recuperação dos recifes aos seus estados de domínio coralíneo, McWilliam et al (2020) demonstraram que comunidades prévias aos impactos, com diversos atributos funcionais, não conseguiram se recuperar em cada local estudado por eles. Esses resultados sugerem que o retorno da cobertura de coral não pode garantir o retorno da diversidade de características do recife inicial, e que a redução dos intervalos entre as perturbações pode limitar a recuperação entre espécies funcionalmente importantes.

LogoPortanto, essas relações positivas entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema, demonstram a importância da conservação da biodiversidade visando a manutenção das principais funções desses ecossistemas e, consequentemente, dos serviços ecossistêmicos associados (Perry & Alvarez-Philip 2018; Benkwitt et al 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos metodológicos (Quadro 1), foram realizados através de computador com os recursos necessários, como o acesso a plataformas de periódicos, aplicativos de tabulação e organização de dados (Excel), assim como softwares para análise dos mesmos.

Quadro 1. Matriz de amarração metodológica

Problema de pesquisa	Objetivo geral	Objetivos específicos	Técnicas de coleta	Técnica de análise
Qual a consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais em ecossistemas recifais?	Avaliar a consequência da mudança de fase sobre atributos funcionais em ecossistemas recifais.	• Analisar os processos já registrados de mudança de fase em recifes ao redor do mundo;	Revisão bibliográfica sistemática	Análise descritiva
		• Identificar os principais atributos funcionais das espécies envolvidas nas mudanças de fase;		Análise descritiva
		• Avaliar os atributos funcionais que são perdidos, ou ganhos, na mudança de fase para diferentes grupos biológicos.		Análise descritiva

Buscando registros de mudanças de fase já publicados no mundo, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática na plataforma Google Acadêmico, escolhida por ser a mais abrangente entre os serviços de pesquisa de citações (Harzing & Alakangas 2015). Foram utilizadas as palavras-chave, sozinhas ou combinadas: *phase shift*, *coral reefs*, *alternative stable state* e *resilience*, buscando ampliar os resultados da pesquisa. Dos resultados foram considerados apenas artigos publicados em periódicos até julho de 2021, em qualquer idioma original de publicação. Depois de lidos, os artigos passaram por dois critérios de seleção: i) possuir como temática central processos de mudanças de fase, ii)

descrever ao menos um processo de mudanças de fase em algum recife de coral no mundo.

Foram encontrados inicialmente 138 trabalhos que possuem como temática central processos de mudanças de fase, porém, devido ao segundo critério utilizado para seleção, nem todos foram utilizados nas análises, mesmo assim possuíam papel importante na contextualização do problema e discussão dos resultados. Dos 138 artigos, 47 contribuíram para localização e análise dos processos de mudança de fase, sendo divididos em referências principais e complementares (Apêndice A). Foram identificados 29 registros que descrevem processos de mudança de fase em recifes de corais. Após a leitura de todos os trabalhos, os processos foram identificados (ID: MF1 a MF29) e foram extraídos e tabulados para a revisão e síntese dos processos dados como: localização geográfica, intervalo temporal, cobertura bentônica pré e pós mudança de fase e possíveis causas. (Apêndice A, Tabela 1). Em seguida foi elaborado um mapa que revela a distribuição global dos processos de mudança de fase registrados no presente trabalho (Figura 2).

A profundidade dos recifes é uma importante propriedade física que tem influência em diversos processos desses ecossistemas, como na penetração de luz que influencia diretamente na produtividade. Para avaliar esses dados, foi adotada a métrica utilizada em Bongaerts et al (2010), onde recifes rasos são considerados aqueles a uma profundidade de menos de 30 metros, e recifes profundos a mais de 30 metros de profundidade.

Para identificar os principais atributos funcionais das espécies/táxons envolvidas nas mudanças de fase presentes na Tabela 1, foi extraída as colunas com as listas de espécies, tanto a fase dominante inicial quanto a fase dominante após a mudança sendo construída uma nova tabela de dados, onde foram considerados os seguintes atributos funcionais (Quadro 2) das espécies: i) estrutura calcária, ii) ramificação, iii) crescimento, iv) associação com zooxantelas, v) hábito alimentar e vi) itens alimentares (Tabela 2, Apêndice B). As classificações taxonômicas foram atualizadas, quando necessário, através de consulta à base de dados *World Register of Marine Species - WoRMS*.

A seleção dos atributos funcionais analisados (Quadro 2) foi realizada com base no conhecimento atual sobre ecologia de recifes de corais e nos aspectos mais importantes para garantir a resiliência dos mesmos. Foram priorizadas funções associadas à manutenção dos recifes, dinâmica energética, produtividade e resiliência frente a

perturbações naturais (ex. furacões) e antrópicas (ex. aquecimento e acidificação dos oceanos).

Tabela 1. Versão sintetizada da planilha de Mudanças de Fase (Apêndice A). Apresentando os seguintes dados: ID, oceano, país, organismos envolvidos, período e referências. (ND = Não disponível; NA = Não aplicável)

ID	Oceano	País	Fase original: Espécie	Nova Fase: Espécie	Período	Referências
MF1	Atlântico	Belize	<i>Agaricia tenuifolia</i>	<i>Chondrilla cf. nucula</i>	1996 - 2001	Aronson et.al, 2002
MF2	Atlântico	Curaçao	<i>Agaricia agaricites</i>	<i>Trididemnum solidum</i>	1978 - 1993	Bak et.al, 1996
MF3	Índico	Israel	<i>Stylophora pistillata</i>	<i>Rhodactis rhodostoma</i>	1969 - 1998	Chadwick-Furman & Spiegel. 2000
MF4	Pacífico	Taiwan	<i>Acropora muricata</i>	<i>Condylactis</i> sp.	1992 - 2003	Chen & Dai, 2004
MF5	Atlântico	Brazil	<i>Montastraea cavernosa</i>	<i>Palythoa cf. variabilis</i>	2003 - 2013	Cruz et al., 2014
MF6	Pacífico	Hawaii	<i>Porites compressa</i>	<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	1960 - 1970	Done, 1992
MF7	Atlântico	Jamaica	<i>Acropora palmata</i>	<i>Dictyota</i> spp.	1980 - 1990	Done, 1992
MF8	Índico	Reunion	<i>Acropora pharaonis</i>	<i>Gracilaria crassa</i>	1970 - 1988	Done, 1992
MF9	Pacífico	French Polynesia	<i>Acropora cytherea</i>	<i>Turbinaria ornata</i>	1971 - 1981	Done, 1992
MF10	Pacífico	Australia	<i>Montipora</i> sp.	<i>Sargassum</i> spp.	ND	Done, 1992
MF11	Atlântico	Jamaica	<i>Acropora palmata</i>	<i>Sargassum</i> spp.	1977 - 1993	Hughes, 1994
MF12	Índico	Seychelles	Scleractinian coral	<i>Sargassum</i> spp.	1994 - 2005	Ledilie et.al, 2007
MF13	Atlântico	USA	<i>Montastraea annularis</i>	<i>Dictyota</i> spp.	1996 - 2000	Maliao, 2008
MF14	Atlântico	Belize	<i>Acropora cervicornis</i>	<i>Lobophora</i> spp.	1970 - 1997	McClanahan & Muthiga, 1998
MF15	Atlântico	United States Virgin Islands	<i>Montastraea annularis</i>	<i>Dictyota</i> spp.	1989 - 2003	Rogers & Miller, 2006
MF16	Atlântico	United States Virgin Islands	<i>Montastraea annularis</i>	<i>Dictyota</i> spp.	1990 - 2003	Rogers & Miller, 2006
MF17	Atlântico	Belize	<i>Acropora palmata</i>	<i>Cliona caribbaea</i>	1979 - 1998	Rutzler, 2002
MF18	Índico	Seychelles	Scleractinian coral	<i>Rhytisma</i> sp.	1999 - 2003	Stobart et.al, 2005
MF19	Atlântico	Puerto Rico	<i>Acropora palmata</i>	<i>Cliona langae</i>	1975 - 1992	Williams et.al, 1999
MF20	Pacífico	United States Line Islands	<i>Montipora</i> sp.	<i>Rhodactis howesii</i>	2001 - 2007	Work et al., 2008
MF21	Pacífico	Japan	<i>Acropora</i> sp.	Soft corals	1970 - 1984	Chou & Yamamoto, 1990
MF22	Índico	Tanzania	<i>Acropora formosa</i>	<i>Rhodactis rhodostoma</i>	1997 - 1999	Kuguru et al., 2004
MF23	Pacífico	Australia	<i>Porites</i> spp.	<i>Sinularia flexibilis</i>	1962 - 1987	Endean et al., 1988
MF24	Pacífico	Fiji	<i>Acropora</i> spp.	<i>Sinularia</i> sp.	1965 - 1969	Robinson, 1971
MF25	Pacífico	Indonesia	<i>Acropora yongei</i>	<i>Xenia</i> sp.	1950 - 1999	Fox et al., 2003
MF26	Atlântico	USA	<i>Montastraea annularis</i>	<i>Cliona</i> spp.	1996 - 2001	Ward-Paige et al., 2005
MF27	Índico	Kenya	<i>Porites</i> spp.	<i>Echinometra mathaei</i>	1987 - 1992	McClanahan & Mutere 1994
MF28	Pacífico	Panama	<i>Pocillopora</i> spp.	<i>Diadema mexicanum</i>	1974 - 1994	Eakin, 1996
MF29	Pacífico	Japan	<i>Montipora</i> spp.	<i>Heliofungia coralcea</i>	1998 - 2012	Harii et al., 2014

Quadro 2. Atributos funcionais selecionados, categorias utilizadas nas análises e a relevância funcional dos atributos para os recifes. (Adaptado de McWilliam et al. 2020) *O atributo crescimento foi baseado na taxa de crescimento de macroalgas segundo McCook, 1999.

Atributos Escolhidos	Categorias Utilizadas	Relevância Funcional
1 - Estrutura calcária	SIM - NÃO	Engenharia ecossistêmica e a dinâmica de construção e erosão nos recifes.
2 - Ramificação	SIM - NÃO	Complexidade tridimensional e a criação de habitats.
3 - Crescimento*	RÁPIDO - LENTO	Dinâmica de construção e erosão, e competição por espaço.
4 - Associação com zooxantelas	SIM - NÃO	Produtividade primária e resiliência.
5 - Hábito Alimentar	SUSPENSÍVORO - DETRITÍVORO - FILTRADOR - HERBÍVORO - PRODUTOR	Hierarquia das teias alimentares e produtividade.
6 - Itens alimentares	PLÂNCTON - MATÉRIA ORGÂNICA - OUTROS	Complexidade das teias alimentares e transferência energética.

Para avaliar os atributos funcionais que são perdidos ou ganhos na mudança de fase, os atributos selecionados dos organismos envolvidos no processo foram levantados através de uma nova revisão da literatura. Foram utilizados os dados mais amplos possíveis, provenientes de artigos, bases de dados, livros, teses, dissertações e etc. Esses dados foram então tabulados na segunda planilha de dados Atributos Funcionais (Apêndice B) e a listagem de todas as referências utilizadas para coleta desses dados está apresentada no Apêndice C.

Por fim, através de uma sobreposição dos atributos funcionais apresentados pelos organismos pré e pós mudança de fase, foram realizadas análises descritivas, para resumir, sumarizar e explorar o comportamento dos dados a fim de analisar os processos de mudança de fase já registrados ao redor do mundo, identificar e avaliar os principais atributos funcionais durante o pré e pós mudança. Por fim, possibilitando uma avaliação das consequências da mudança de fase sobre os atributos funcionais nos ecossistemas recifais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dos processos de mudança de fase

Com os dados de localização geográfica obtidos pôde-se ter uma gama de percepções acerca da distribuição da ocorrência desses processos ao redor do mundo. Em relação aos oceanos os processos foram identificados quase que igualmente nos oceanos Atlântico (N=12 41,38%) e Pacífico (N=11 37,93%). O Oceano Índico foi o que apresentou menos registros, representando apenas 6 processos de mudança de fase (20,69%) (Tabela 2).

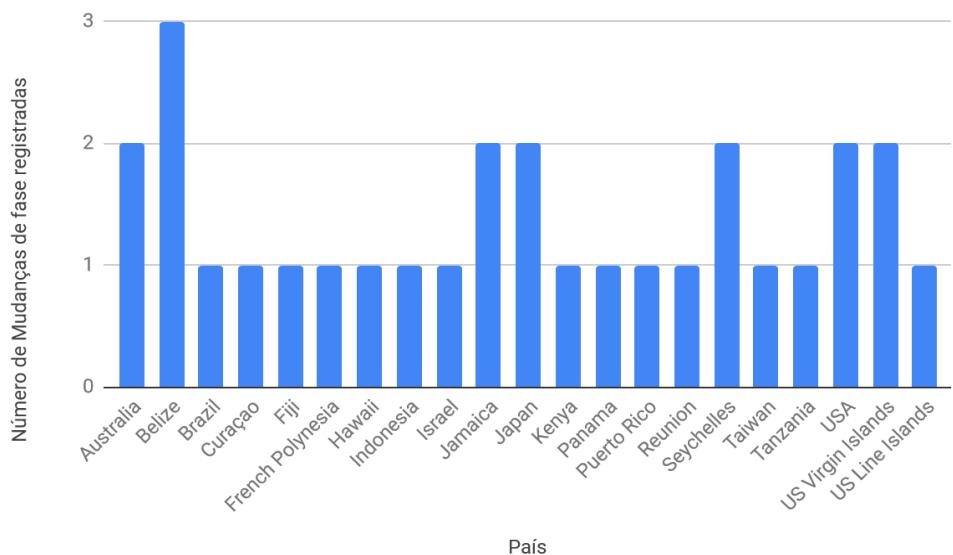
Tabela 2. Frequência de distribuição de processos de mudança de fase por oceanos.

Oceano	N	%
Atlântico	12	41,38%
Pacífico	11	37,93%
Índico	6	20,69%
Total	29	100,00%

De forma mais detalhada, foi possível identificar não apenas a localização dos países onde ocorreram os processos de mudança de fase em recifes, como quantificar o número de processos que foram registrados em cada localidade. Belize foi o país com o maior número de processos (3), seguido por Austrália, Jamaica, Japão, Seychelles, EUA e Ilhas Virgens dos EUA, todos com dois processos registrados. Nos demais países, como no Brasil (Cruz et al 2014), foram observadas apenas uma mudança de fase.

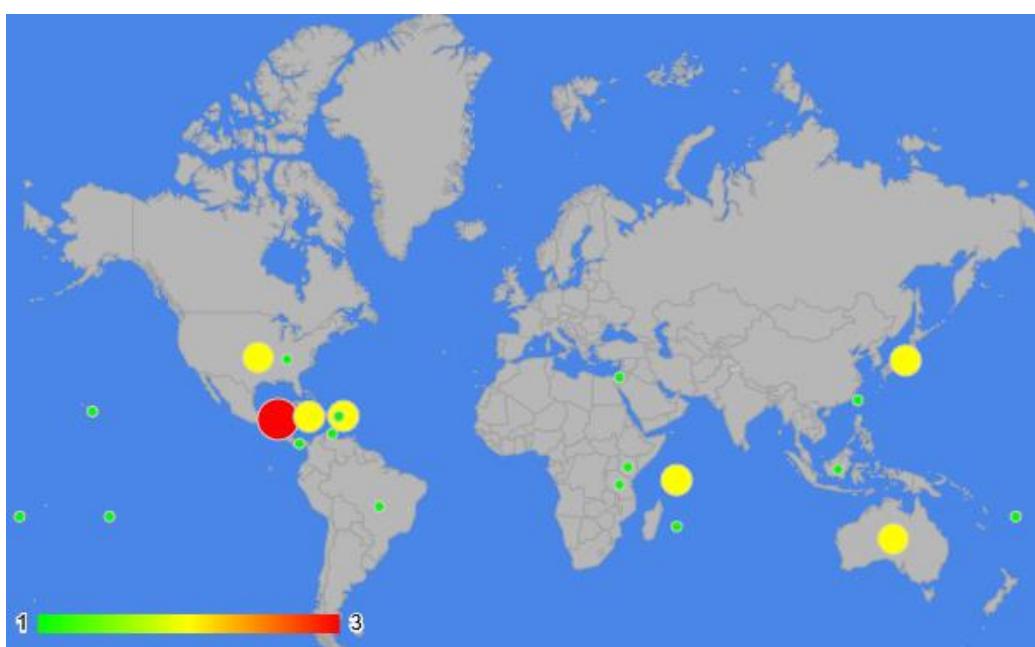
Com esses dados, também foi possível construir um mapa global (Figura 2), que demonstra visualmente a distribuição dos processos pelo planeta. Como esperado, fica evidente a distribuição das mudanças de fase na faixa tropical, caracterizada pela presença de recifes de águas rasas e quentes, os mais ameaçados pelas mudanças climáticas (Good-Bahr 2021).

Figura 1. Número de processos de mudanças de fase registrados por países



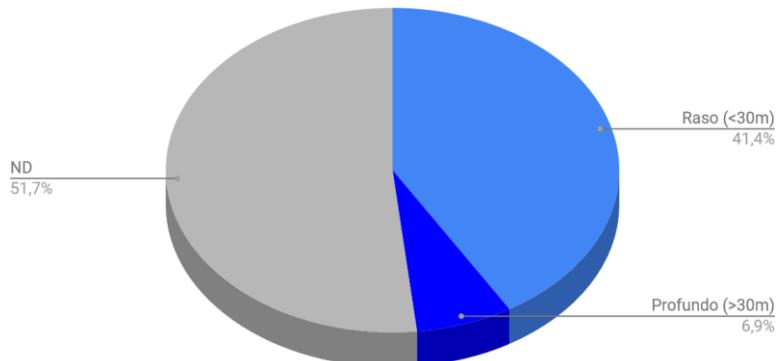
É possível notar também uma concentração de registros na região do Caribe, representando 41,38% dos registros encontrados. Essa tendência pode estar relacionada aos altos graus de investimento em pesquisas na região (Gil et al. 2015), como também a impactos antrópicos relacionados ao alto índice de ocupação humana proveniente do turismo e outras atividades econômicas, que tornam esses os ecossistemas recifais mais degradados nas últimas décadas (Hughes et al, 2010).

Figura 2. Mapa que apresenta a distribuição global dos processos de mudança de fase já registrados em recifes de corais. A escala representa a variação no número de registros registrados nos países, sendo os círculos verdes 1 registro, os amarelos 2 registros e os vermelhos 3 registros.



Foi notada uma incompletude dos dados de profundidade nos trabalhos analisados. Do total de 29 processos de mudança de fase analisados, mais da metade ($N = 15$; 51,72%) não possuíam dado referente à profundidade dos recifes estudados (ND = não disponível). Considerando apenas os dados disponíveis, foram observados 12 processos em águas rasas e apenas 2 em recifes profundos (Figura 3). Apesar dos poucos registros, esse resultado corrobora a literatura no sentido de recifes de águas rasas (costeiros) estarem mais expostos às mudanças climáticas e ações antrópicas diretas.

Figura 3. Percentagem de processos de mudanças de fase registrados por profundidade.
ND = dados não disponíveis.



Foram identificados 10 grupos taxonômicos envolvidos em processos de mudança de fase em nossas análises. As fases originais dos sistemas, como esperado, tiveram corais escleractíneos como organismos dominantes ($N=29$; 100%).

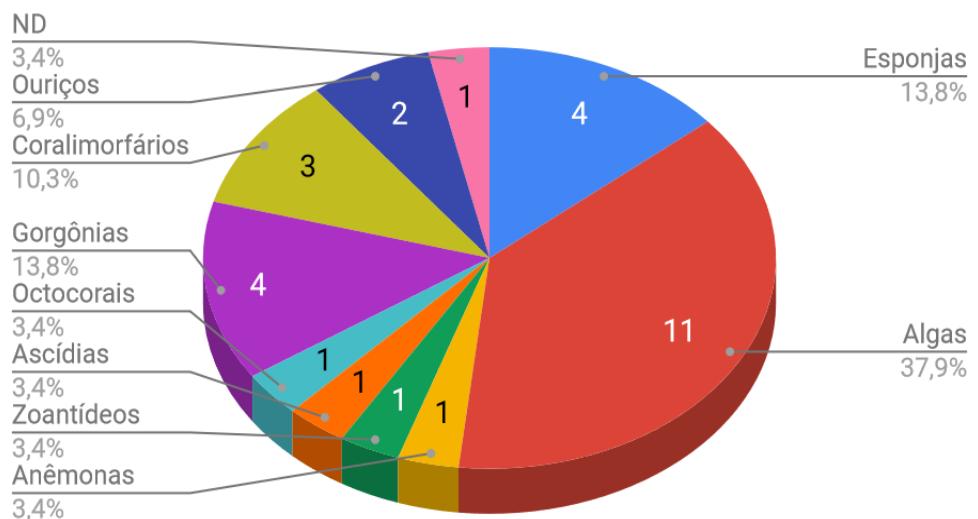
No que diz respeito a fase de dominância pós mudança de fase, de forma geral, houve o predomínio (62,07%) de processos que envolvem justamente outros organismos, como esponjas (13,79%), corais moles (13,79%) e equinóides (6,90%). Porém, dos 29 registros encontrados, 11 (37,93%) envolvem macroalgas, o que demonstra a frequência destes organismos na substituição da cobertura coralínea, corroborando com a maior parte da literatura já publicada (i.e. Bruno et al 2009).

Tabela 3. Frequência de grupos taxonômicos na fase original dos recifes

Fase Original: Grupo	N	%
Cnidário escleractíneo	29	100,00%
ND	0	0,00%
Total	29	100,00%

Tabela 4. Frequência de grupos taxonômicos na nova fase dos recifes

Fase Nova: Grupo	N	%
Esponjas	4	13,79%
Algás	11	37,93%
Anêmonas	1	3,45%
Zoantídeos	1	3,45%
Ascídias	1	3,45%
Octocorais	1	3,45%
Gorgônias	4	13,79%
Coralimorfários	3	10,34%
Ouriços	2	6,90%
ND	1	3,45%
Total	29	100,00%

Figura 4. Percentagem da frequência de grupos taxonômicos na nova fase dos recifes

Norström et al. (2009), em busca de um melhor entendimento das causas e consequências de mudanças de fase em recifes, destacaram a necessidade de se focar mais em processos com outros grupos de organismos bentônicos, além das macroalgas, que, segundo os autores, são os mais frequentes e bem estudados. Este fato corrobora o que encontramos no presente estudo sobre as macroalgas serem maioria nos recifes no evento pós mudança de fase.

Também foi analisado dados referentes à taxonomia dos organismos presentes nos processos de mudança de fase dos trabalhos avaliados. Em ambas fases dos ecossistemas

foi notado uma disponibilidade considerável de informações à nível de espécie, sendo na fase original apresentadas 19 espécies (65,52%) e na nova fase 15 espécies (51,72%). Os demais organismos foram identificados apenas a nível de gênero, ou ainda de formas genéricas (ex.: Coral mole).

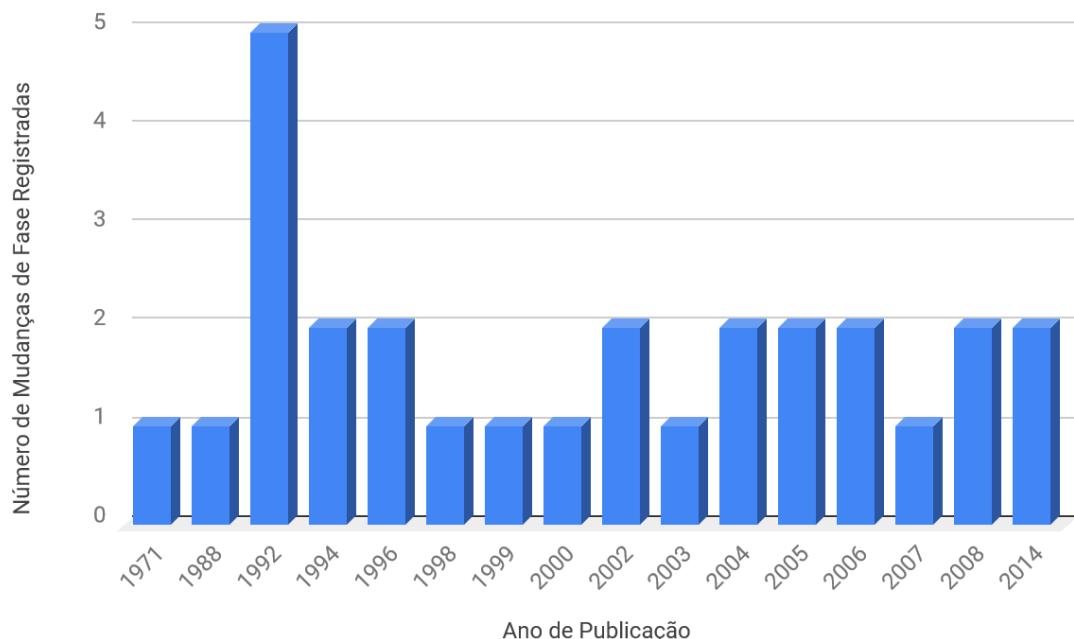
Tabela 5. Frequência da disponibilidade de informações taxonômicas das fases originais

Fase Original: Espécie	N	%
Espécie	19	65,52%
Gênero sp.	3	10,34%
Gênero spp.	5	17,24%
Genérico	2	6,90%
ND	0	0,00%
Total	29	100,00%

Tabela 6. Frequência da disponibilidade de informações taxonômicas das novas fases

Fase Nova: Espécie	N	%
Espécie	15	51,72%
Gênero sp.	4	13,79%
Gênero spp.	9	31,03%
Genérico	1	3,45%
ND	0	0
Total	29	100,00%

A maioria dos trabalhos analisados (N=12; 41,38%) apresentou tempo de monitoramento de mais de 10 anos, com um trabalho chegando a mais de 40 anos (Tabela 7). Norström et al (2009), definem que mudanças de fase ocorrem devido a um distúrbio ou pressão, que persiste > 5 anos. Para nossas análises foi utilizado justamente esse tempo de persistência mínima, exceto para quatro artigos que apresentaram período inferior a 5 anos e um não apresentou essa informação, porém foram mantidos pelo alto grau de confiabilidade das referências utilizadas. Ainda foi possível realizar uma observação da distribuição temporal dos registros e publicações das mudanças de fase, com o primeiro registro em 1971 (Robinson), e o último no ano de 2014 (Cruz et al) (Gráfico 5).

Figura 5. Distribuição temporal dos registros e publicações de mudanças de fase**Tabela 7. Frequência dos períodos de monitoramento de recifes que passaram por mudanças de fase**

Período	N	%
< 5 anos	4	13,79%
5 a 10 anos	7	24,14%
> 10 anos	12	41,38%
> 20 anos	4	13,79%
> 40 anos	1	3,45%
ND	1	3,45%
Total	29	100,00%

4.2 Análise dos atributos funcionais pré e pós mudanças de fase

Na segunda etapa das análises (Tabela 9, Apêndice B) foi possível observar individualmente as alterações na composição dos atributos funcionais na fase original e na nova fase. Por exemplo, na MF1 a fase original contava com o domínio da espécie de coral escleractíneo *Agaricia tenuifolia*, que possui estrutura carbonática, forma de crescimento ramificado, crescimento lento, associação com zooxantelas, hábito alimentar suspensívor e possui plâncton e matéria orgânica como itens alimentares, já a nova fase, caracterizada pelo domínio da esponja *Chondrilla nucula*, que possui um conjunto de

atributos completamente distinto, sem estrutura carbonática ou crescimento ramificado, sem associação com zooxantelas, hábito alimentar filtrador/suspensívoro e apenas plânctons como itens alimentares, apenas o atributo de crescimento lento é compartilhado entre os táxons.

Tabela 8. Sobreposição dos atributos funcionais (Quadro 2) das espécies envolvidas em cada processo de mudança de fase encontrado. (Abreviações: NE = Não Encontrado / NA = Não Aplicável / TI = Taxon Impreciso / MO = Matéria Orgânica / MF = Mudança de Fase)

ID		Taxon Dominante	1	2	3	4	5	6
MF1	Fase original:	<i>Agaricia tenuifolia</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Chondrilla nucula</i>	NÃO	NÃO	LENTO	NÃO	FILTRADOR E SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON
MF2	Fase original:	<i>Agaricia agaricites</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Trididemnum solidum</i>	NÃO	NÃO	LENTO	NÃO	FILTRADOR	PLÂNCTON
MF3	Fase original:	<i>Stylophora pistillata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Rhodactis rhodostoma</i>	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	NE	NE
MF4	Fase original:	<i>Acropora muricata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON
	Nova fase:	<i>Condylactis</i> sp.	NÃO	TI	TI	SIM	TI	TI
MF5	Fase original:	<i>Montastraea cavernosa</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Palythoa variabilis</i>	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON
MF6	Fase original:	<i>Porites compressa</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF7	Fase original:	<i>Acropora palmata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Dictyota</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	SIM	PRODUTOR	NA
MF8	Fase original:	<i>Acropora pharaonis</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Gracilaria crassa</i>	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF9	Fase original:	<i>Acropora cytherea</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Turbinaria ornata</i>	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF10	Fase original:	<i>Montipora</i> sp.	SIM	NÃO	LENTO	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Sargassum</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF11	Fase original:	<i>Acropora palmata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Sargassum</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF12	Fase original:	Scleractinian coral*	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Sargassum</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF13	Fase original:	<i>Montastraea annularis</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Dictyota</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	SIM	PRODUTOR	NA
MF14	Fase original:	<i>Acropora cervicornis</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Lobophora</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	NÃO	PRODUTOR	NA
MF15	Fase original:	<i>Montastraea annularis</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Dictyota</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	SIM	PRODUTOR	NA
MF16	Fase original:	<i>Montastraea annularis</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Dictyota</i> spp.	NÃO	SIM	RÁPIDO	SIM	PRODUTOR	NA
MF17	Fase original:	<i>Acropora palmata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Cliona caribbaea</i>	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	FILTRADOR E SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
MF18	Fase original:	Scleractinian coral*	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Rhytisma</i> sp.	NÃO	TI	TI	SIM	TI	TI
MF19	Fase original:	<i>Acropora palmata</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Cliona langae</i>	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	FILTRADOR E SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
MF20	Fase original:	<i>Montipora</i> sp.	SIM	NÃO	LENTO	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Rhodactis howesii</i>	NÃO	NÃO	LENTO	NE	NE	NE
MF21	Fase original:	<i>Acropora</i> sp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	Soft corals*	TI	TI	TI	TI	TI	TI
MF22	Fase original:	<i>Acropora formosa</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON
	Nova fase:	<i>Rhodactis rhodostoma</i>	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	NE	NE
MF23	Fase original:	<i>Porites</i> spp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Sinularia flexibilis</i>	NÃO	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON
MF24	Fase original:	<i>Acropora</i> spp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Sinularia</i> sp.	NÃO	TI	TI	TI	TI	TI
MF25	Fase original:	<i>Acropora yongei</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Xenia</i> sp.	NÃO	TI	TI	TI	TI	TI
MF26	Fase original:	<i>Montastraea annularis</i>	SIM	NÃO	LENTO	SIM	SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
	Nova fase:	<i>Cliona</i> spp.	NÃO	NÃO	LENTO	SIM	FILTRADOR E SUSPENSÍVORO	PLÂNCTON/MO
MF27	Fase original:	<i>Porites</i> spp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Echinometra mathaei</i>	SIM	NÃO	LENTO	NÃO	HERBÍVORO	OUTROS
MF28	Fase original:	<i>Pocillopora</i> spp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Diadema mexicanum</i>	SIM	NÃO	LENTO	NÃO	HERBÍVORO	OUTROS
MF29	Fase original:	<i>Montipora</i> spp.	SIM	TI	TI	TI	TI	TI
	Nova fase:	<i>Heliopora coerulea</i>	SIM	SIM	LENTO	SIM	NE	NE

Em uma análise geral das 29 mudanças de fase foi possível verificar que nas fases originais em relação ao atributo 1 (Estrutura carbonática) havia 100% de predomínio de organismos com capacidades construtora, o que era esperado por serem todos corais escleractíneos. Em relação ao atributo 2, 41,38% dos organismos possuíam crescimento ramificado, seguido por 31,03% de não ramificados e o restante foi classificado como TI, ou seja, não havia definição suficiente do táxon que permitisse encontrar as informações. Em relação ao atributo 3 todas as espécies que foi possível encontrar as informações apresentaram crescimento lento (a partir da referência utilizada McCook, 1999 que define a rápida taxa de crescimento das Macroalgas). Em relação a associação com zooxantelas (atributo 4) 100% das espécies que também foi possível colher as informações apresentaram simbiontes, o que também era esperado para o grupo de corais escleractíneos. Da mesma forma, os atributos 5 e 6 apresentaram muita similaridade, tendo todas as espécies possíveis de analisar hábitos alimentares suspensívoro e variando entre itens alimentares, plânctons e matéria orgânica.

Tabela 9. Frequência da estrutura calcária na fase original

Estrutura calcária	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SIM	29	100,00%
NÃO	0	0,00%

Tabela 10. Frequência da ramificação na fase original

Ramificação	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SIM	12	41,38%
NÃO	9	31,03%
TI	8	27,59%

Tabela 11. Frequência do crescimento na fase original

Crescimento	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
RÁPIDO	0	0,00%
LENTO	21	72,41%
TI	8	27,59%

Tabela 12. Frequência da associação de zooxantelas na fase original

Associação com zooxantelas	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SIM	19	65,52%
NÃO	0	0,00%
TI	10	34,48%

Tabela 13. Frequência do hábito alimentar na fase original

Hábito alimentar	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SUSPENSÍVORO	19	65,52%
DETRITÍVORO	0	0,00%
FILTRADOR	10	34,48%
HERBÍVORO	0	0,00%
PRODUTOR	0	0,00%

Tabela 14. Frequência dos itens alimentares na fase original

Itens alimentares	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
PLÂNCTON	2	6,90%
MO	0	0,00%
PLÂNCTON/MO	17	58,62%
TI	10	34,48%
OUTROS	0	0,00%

Em relação às novas fases, sem fazer um recorte por grupos que participaram da substituição na dominância dos recifes, em geral, o atributo 1 (estrutura carbonática) teve uma representação de 86,20% de espécies que não possuem capacidade construtora. É possível que várias delas participem do processo de erosão dos recifes e apenas uma espécie teve o atributo classificado como TI, porém, por se tratar de um “coral mole”, é sabido que não possui estrutura carbonática. Somente três espécies das novas fases (10,34%) possuíam estrutura carbonática, sendo dois equinodermos e um octocoral. Em relação ao atributo 2 (ramificação) 44,83% das espécies mantiveram o crescimento ramificado presente, contra 31,03% que não apresentavam essa característica, outros cinco táxons foram classificados TI e dois NA (não aplicável), já que se trata de organismos solitários e não sésseis. Em relação ao atributo 3 houve um equilíbrio nos resultados, já que as espécies com crescimento rápido 37,93% (macroalgas) proporcionavam uma maior frequência nos processos, apesar disso os organismos considerados com crescimento lento representaram 41,37% das espécies analisadas. Em relação à associação com zooxantelas (atributo 4) houve uma expressiva manutenção

desse traço com 48,27% das espécies possuindo simbiose com essas microalgas, contra 31,03% que não possuíam, ficando os restantes entre NE (não encontrado), TI e NA. Por fim, em relação aos atributos 5 e 6, quando não eram classificadas em produtores (37,93% de macroalgas), sendo os itens alimentares automaticamente classificados como NA (não aplicável, as espécies foram predominantes em hábitos suspensívoro/filtradores (37,93%), seguidas por 6,90% de herbívoros e muitas espécies ainda se dividiram entre TI e NE (não encontrado).

Tabela 15. Frequência da estrutura calcária na nova fase

Estrutura calcária	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SIM	3	10,34%
NÃO	25	86,21%
TI	1	3,45%

Tabela 16. Frequência da ramificação na nova fase

Ramificação	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
SIM	13	44,83%
NÃO	11	37,93%
TI	5	17,24%

Tabela 17. Frequência do crescimento na nova fase

Crescimento	Frequência Absoluta (N)	Frequência Relativa (%)
RÁPIDO	11	37,93%
LENTO	13	44,83%
TI	5	17,24%

Tabela 18. Frequência da associação com zooxantelas na nova fase

Associação com zooxantelas			
SIM	14	48,28%	
NÃO	11	37,93%	
TI	3	10,34%	
NE	1	3,45%	

Tabela 19. Frequência do hábito alimentar na nova fase

Hábito alimentar			
SUSPENSÍVORO	2		6,90%
DETRITÍVORO	0		0,00%
FILTRADOR	1		3,45%
HERBÍVORO	2		6,90%
PRODUTOR	11		37,93%
NE	4		13,79%
SUSP. E FILTRAD.	4		13,79%
TI	5		17,24%

Tabela 20. Frequência dos itens alimentares na nova fase

Itens alimentares			
PLÂNCTON	4		13,79%
MO	0		0,00%
PLÂNCTON/MO	3		10,34%
TI	5		17,24%
NE	4		13,79%
NA	11		37,93%
OUTROS	2		6,90%

Comparando o conjunto de atributos das fases originais e novas foi possível notar consequências negativas em relação à perda de capacidade construtiva, o que leva os recifes de uma fase construtora para um fase erosiva, aumento do número de espécies com crescimento mais rápido, podendo aumentar a competição por espaço e até a extinção local de espécies comuns anteriormente e também uma redução expressiva nos organismos que possuem associação com zooxantelas, o que pode modificar a produção primária, comprometendo o fluxo energético dos sistemas. Por outro lado, houve o acréscimo de espécies ramificadas, o que aumenta a complexidade tridimensional dos ecossistemas, aumentando também a disponibilidade de habitats. Há duas modificações mais difíceis de serem classificadas como positivas ou negativas em relação a alteração na diversidade de hábitos alimentares. Pode-se considerar algo positivo por trazer mais complexidade e dinamismo a teias alimentares, porém, nesse caso, vem associado a um aumento expressivo na produtividade primária através do crescimento das algas. Já em relação aos itens alimentares se permanece quase neutro, podendo perceber somente uma diminuição no número de espécies predadoras.

Em 2004, Bellwood pontuou em relação à uma crise que seria enfrentava pelos recifes de corais nas próximas décadas, destacando o papel de manejos baseado em resiliências para evitar transformações mais drásticas nesses ecossistemas. Pouco mais de 13 anos depois, Hughes et al. 2017 fez um alerta em relação a como possivelmente não será mais possível recuperar os recifes para configurações anteriores. Dessa forma, eles concluem que é necessário concentrar esforços em manter as funções biológicas para minimizar os danos ecológicos e sociais. Nossa trabalho corrobora nesse sentido, apresentando dados que nos permitem observar através de uma perspectiva funcional, que esses processos de mudança de fase provocam alterações muito além de perda de capacidade construtiva, e além disso que podem ter consequências negativas ou de certa forma positivas. Portanto faz-se necessário que se mantenham as funções básicas para o melhor funcionamento possível, e evitando perdas de serviços ecossistêmicos tão valiosos para as populações humanas (Darling et al 2019).

Por fim, foi notada uma forte incompletude em diversos dados coletados nos artigos utilizados para as análises. Referente à identificação dos recifes de corais e as coordenadas desses, 11 trabalhos (37,93%), sem relação direta, não possuíam essas informações. Essa falta de dados ficou mais marcada em relação à profundidade em que ocorreu os processos, que representou 44,83% dos processos sem essas informações.

Tabela 21. Presença ou ausência dos dados de identificação dos recifes

Recife de Coral	N	%
SIM	18	62,07%
NÃO	11	37,93%
Total	29	100,00%

Tabela 22. Presença ou ausência dos dados de profundidade dos recifes

Profundidade	N	%
SIM	16	55,17%
NÃO	13	44,83%
Total	29	100,00%

Tabela 23. Presença ou ausência dos dados de coordenadas dos recifes

Coordenadas	N	%
SIM	18	62,07%
NÃO	11	37,93%
Total	29	100,00%

Dessa forma, sugere-se que novos trabalhos com o objetivo de registrar processos de mudança de fase, procurem preencher essas lacunas de dados, visando possibilitar, por exemplo, trabalhos que necessitem primordialmente de completude dos dados para análises, como os que usem técnicas de metanálise.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a importância dos corais nos recifes, uma vez que quando um recife perde corais, além de capacidade construtora, também perde vários outros atributos funcionais correlatos às espécies. Porém, as novas espécies dominantes trazem novos atributos que vão caracterizar a nova fase do ecossistema, podendo ser alterações consideradas positivas funcionalmente.

Fica claro que esses processos de mudança de fase geram modificações na diversidade de atributos funcionais presentes nos ecossistemas, e consequentemente diminuem a capacidade de disponibilização de serviços ecossistêmicos por esses ambientes, causando também perdas sociais e econômicas.

Foi notada uma grande incompletude em diversos dados coletados nos artigos utilizados para as análises, dessa forma sugere-se que novos trabalhos com o objetivo de registrar processos de mudança de fase, procurem preencher essas lacunas.

Por fim, esperamos ter contribuído com a ampliação do conhecimento em relação a esses processos, além de gerar subsídios para que novos estudos sejam realizados. Pesquisas dessa natureza são importantes pela possibilidade de auxiliar gestores e governanças em medidas de mitigação de danos, conservação e até na recuperação desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ANTHONY, Kenneth R. N.; MAYNARD, Jeffrey A.; DIAZ-PULIDO, Guillermo; MUMBY, Peter J.; MARSHALL, Paul A.; CAO, Long; HOEGH-GULDBERG, Ove. Ocean acidification and warming will lower coral reef resilience. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 1798-1808, 14 jan. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02364.x>.

BAK, Rpm; LAMBRECHTS, Dym; JOENJE, M; NIEUWLAND, G; VAN VEGHEL, Mlj. Long-term changes on coral reefs in booming populations of a competitive colonial ascidian. **Marine Ecology Progress Series**, [S.L.], v. 133, p. 303-306, 1996. Inter-Research Science Center. <http://dx.doi.org/10.3354/meps133303>.

BAKER, Andrew C.; GLYNN, Peter W.; RIEGL, Bernhard. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [S.L.], v. 80, n. 4, p. 435-471, dez. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.003>.

BELLWOOD, D. R.; HUGHES, T. P.; FOLKE, C.; NYSTRÖM, M.. Confronting the coral reef crisis. **Nature**, [S.L.], v. 429, n. 6994, p. 827-833, jun. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature02691>.

BELLWOOD, David R.; HOEY, Andrew S.; ACKERMAN, John L.; DEPCZYNSKI, Martial. Coral bleaching, reef fish community phase shifts and the resilience of coral reefs. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 1587-1594, 6 jul. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01204.x>.

BENKWITT, Cassandra E.; WILSON, Shaun K.; GRAHAM, Nicholas AJ. Biodiversity increases ecosystem functions despite multiple stressors on coral reefs. **Nature Ecology & Evolution**, v. 4, n. 7, p. 919-926, 2020.

BINDOFF, N.L., W.W.L. Cheung, J.G. Kairo, J. Arístegui, V.A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M.S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S.R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson, 2019: **Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities**. 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, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

BONGAERTS, P. et al. Assessing the ‘deep reef refugia hypothesis: focus on Caribbean reefs. **Coral reefs**, v. 29, n. 2, p. 309-327, 2010.

BRANDL, Simon 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.

BRUNO, John F. et al. Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. **Ecology**, v. 90, n. 6, p. 1478-1484, 2009.

BURT, J. A. et al. Insights from extreme coral reefs in a changing world. **Coral Reefs**, v. 39, n. 3, p. 495-507, 2020.

CALAÇA, Analice Maria; GRELLE, Carlos Eduardo Viveiros. Diversidade funcional de comunidades: Discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 04, p. 401-416, 2016.

CHADWICK-FURMAN, Nanette E.; SPIEGEL, Michael. Abundance and clonal replication in the tropical corallimorpharian *Rhodactis rhodostoma*. **Invertebrate Biology**, [S.L.], v. 119, n. 4, p. 351-360, 11 maio 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7410.2000.tb00103.x>.

CHEAL, A. J. et al. Coral–macroalgal phase shifts or reef resilience: links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef. **Coral reefs**, v. 29, n. 4, p. 1005-1015, 2010.

CHEN, Chaolunallen; DAI, Chang-Feng. Local phase shift from *Acropora*-dominant to *Condylactis*-dominant community in the Tiao-Shi Reef, Kenting National Park, southern Taiwan. **Coral Reefs**, [S.L.], v. 23, n. 23, p. 508-508, 2 set. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-004-0423-9>.

CHEN, Ping-Yu; CHEN, Chi-Chung; CHU, Lanfen; MCCARL, Bruce. Evaluating the economic damage of climate change on global coral reefs. **Global Environmental**

Change, [S.L.], v. 30, p. 12-20, jan. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.011>.

CRUZ, Igor C. S.; KIKUCHI, Ruy K. P. de; LONGO, Leila L.; CREED, Joel C.. Evidence of a phase shift to Epizoanthus gabrieli Carlgreen, 1951 (Order Zoanthidea) and loss of coral cover on reefs in the Southwest Atlantic. **Marine Ecology**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 318-325, 12 mar. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/maec.12141>.

CRUZ, Igor Cristina Silva; MEIRA, Verena Henschen; KIKUCHI, Ruy Kenji Papa de; CREED, Joel Christopher. The role of competition in the phase shift to dominance of the zoanthid Palythoa cf. variabilis on coral reefs. **Marine Environmental Research**, [S.L.], v. 115, p. 28-35, abr. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.008>.

DAI, Chang-Feng. Patterns of Coral Distribution and Benthic Space Partitioning on the Fringing Reefs of Southern Taiwan. **Marine Ecology**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 185-204, set. 1993. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0485.1993.tb00479.x>.

DARLING, Emily S.; MCCLANAHAN, Tim R.; MAINA, Joseph; GURNEY, Georgina G.; GRAHAM, Nicholas A. J.; JANUCHOWSKI-HARTLEY, Fraser; CINNER, Joshua E.; MORA, Camilo; HICKS, Christina C.; MAIRE, Eva. Social-environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. **Nature Ecology & Evolution**, [S.L.], v. 3, n. 9, p. 1341-1350, 12 ago. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0953-8>.

DONE, T. J.. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 247, n. 1-3, p. 121-132, nov. 1992. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00008211>.

DONE, T. J.. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 247, n. 1-3, p. 121-132, nov. 1992. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00008211>.

DUDGEON, Sr; ARONSON, Rb; BRUNO, Jf; PRECHT, Wf. Phase shifts and stable states on coral reefs. **Marine Ecology Progress Series**, [S.L.], v. 413, p. 201-216, 26 ago. 2010. Inter-Research Science Center. <http://dx.doi.org/10.3354/meps08751>.

EAKIN, C. M.. Where have all the carbonates gone? A model comparison of calcium carbonate budgets before and after the 1982–1983 El Niño at Uva Island in the eastern Pacific. **Coral Reefs**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 109-119, jun. 1996. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01771900>.

ELLIFF, Carla I.; SILVA, Iracema R. Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change. **Marine environmental research**, v. 127, p. 148-154, 2017.

FENNER, Douglas. Challenges for managing fisheries on diverse coral reefs. **Diversity**, v. 4, n. 1, p. 105-160, 2012.

FOLKE, Carl et al. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 35, p. 557-581, 2004.

FOX, Helen e; PET, Jos s; DAHURI, Rokhmin; CALDWELL, Roy L. Recovery in rubble fields: long-term impacts of blast fishing. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 46, n. 8, p. 1024-1031, ago. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x\(03\)00246-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x(03)00246-7).

FUNG, Tak; SEYMOUR, Robert M.; JOHNSON, Craig R.. Alternative stable states and phase shifts in coral reefs under anthropogenic stress. **Ecology**, [S.L.], v. 92, n. 4, p. 967-982, abr. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1890/10-0378.1>.

GIL, Michael A.; RENFRO, Bobbie; FIGUEROA-ZAVALA, Baruch; PENIÉ, Iván; DUNTON, Kenneth H.. Rapid tourism growth and declining coral reefs in Akumal, Mexico. **Marine Biology**, [S.L.], v. 162, n. 11, p. 2225-2233, 23 out. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-015-2748-z>.

GOOD, Alexandra M.; BAHR, Keisha D. The coral conservation crisis: interacting local and global stressors reduce reef resiliency and create challenges for conservation solutions. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 1-14, 2021.

GRAHAM, Nicholas AJ et al. Managing resilience to reverse phase shifts in coral reefs. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 10, p. 541-548, 2013.

HARRIS, Daniel L. et al. Coral reef structural complexity provides important coastal protection from waves under rising sea levels. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. eaao4350, 2018.

HARVEY, Bethany J. et al. Ecosystem-based management of coral reefs under climate change. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 12, p. 6354-6368, 2018.

HOEGH-GULDBERG, Ove et al. Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, p. 158, 2017.

HUGHES, T. P.. Catastrophes, Phase Shifts, and Large-Scale Degradation of a Caribbean Coral Reef. **Science**, [S.L.], v. 265, n. 5178, p. 1547-1551, 9 set. 1994. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.265.5178.1547>.

HUGHES, T. P.. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. **Science**, [S.L.], v. 301, n. 5635, p. 929-933, 15 ago. 2003. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1085046>.

HUGHES, Terence P.. Community Structure and Diversity of Coral Reefs: the role of history. **Ecology**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 275-279, fev. 1989. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2307/1938434>.

HUGHES, Terence P.; REED, Daniel C.; BOYLE, Mary-Jo. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. **Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology**, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 39-59, jan. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90081-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(87)90081-5).

HUGHES, Terry P. et al. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 11, p. 633-642, 2010.

HUGHES, Terry P.; BARNES, Michele L.; BELLWOOD, David R.; CINNER, Joshua E.; CUMMING, Graeme S.; JACKSON, Jeremy B. C.; KLEYPAS, Joanie; LEEMPUT, Ingrid A. van de; LOUGH, Janice M.; MORRISON, Tiffany H.. Coral reefs in the Anthropocene. **Nature**, [S.L.], v. 546, n. 7656, p. 82-90, jun. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature22901>.

KUGURU, B. L.; MGAYA, Y. D.; ?HMAN, M. C.; WAGNER, G. M.. The reef environment and competitive success in the Corallimorpharia. **Marine Biology**, [S.L.], v. 145, n. 5, p. 875-884, 19 jun. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-004-1376-9>.

LEDLIE, M. H.; GRAHAM, N. A. J.; BYTHELL, J. C.; WILSON, S. K.; JENNINGS, S.; POLUNIN, N. V. C.; HARDCASTLE, J.. Phase shifts and the role of herbivory in the resilience of coral reefs. **Coral Reefs**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 641-653, 17 maio 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-007-0230-1>.

LOYA, Y.. Changes in a Red Sea Coral Community Structure: a long-term case history study. **The Earth In Transition**, [S.L.], p. 369-384, 25 jan. 1991. Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511529917.019>.

LOYA, Y.. Possible effects of water pollution on the community structure of Red Sea corals. **Marine Biology**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 177-185, 1975. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00388987>.

MALIAO, Ronald J.; TURINGAN, Ralph G.; LIN, Junda. Phase-shift in coral reef communities in the Florida Keys National Marine Sanctuary (FKNMS), USA. **Marine Biology**, [S.L.], v. 154, n. 5, p. 841-853, 18 abr. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-008-0977-0>.

MAGRIS, Rafael A.; GRECH, Alana; PRESSEY, Robert L. Cumulative human impacts on coral reefs: Assessing risk and management implications for Brazilian coral reefs. **Diversity**, v. 10, n. 2, p. 26, 2018.

MCCLANAHAN, T. R.; MUTERE, J. C.. Coral and sea urchin assemblage structure and interrelationships in Kenyan reef lagoons. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 286, n. 2, p. 109-124, jul. 1994. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00008501>.

MCCLANAHAN, Timothy R.; MUTHIGA, Nyawira A.. An ecological shift in a remote coral atoll of Belize over 25 years. **Environmental Conservation**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 122-130, jun. 1998. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0376892998000174>.

MCCLANAHAN, Tim R. et al. Prioritizing key resilience indicators to support coral reef management in a changing climate. 2012.

MCLEOD, Elizabeth et al. Using resilience assessments to inform the management and conservation of coral reef ecosystems. **Journal of Environmental Management**, v. 277, p. 111384, 2021.

MCCOOK, Laurence J. Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. **Coral reefs**, v. 18, n. 4, p. 357-367, 1999.

MCWILLIAM, Mike et al. Biogeographical disparity in the functional diversity and redundancy of corals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 12, p. 3084-3089, 2018.

MCWILLIAM, Mike et al. Deficits in functional trait diversity following recovery on coral reefs. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 287, n. 1918, p. 20192628, 2020.

MOBERG, Fredrik; FOLKE, Carl. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological economics**, v. 29, n. 2, p. 215-233, 1999.

NORSTRÖM, Av; NYSTRÖM, M; LOKRANTZ, J; FOLKE, C. Alternative states on coral reefs: beyond coral?macroalgal phase shifts. **Marine Ecology Progress Series**, [S.L.], v. 376, p. 295-306, 11 fev. 2009. Inter-Research Science Center. <http://dx.doi.org/10.3354/meps07815>.

NORSTRÖM, Av; NYSTRÖM, M; LOKRANTZ, J; FOLKE, C. Alternative states on coral reefs: beyond coral?macroalgal phase shifts. **Marine Ecology Progress Series**, [S.L.], v. 376, p. 295-306, 11 fev. 2009. Inter-Research Science Center. <http://dx.doi.org/10.3354/meps07815>.

NYSTRÖM, M.; GRAHAM, N. A. J.; LOKRANTZ, J.; NORSTRÖM, A. V.. Capturing the cornerstones of coral reef resilience: linking theory to practice. **Coral Reefs**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 795-809, 1 out. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-008-0426-z>.

PERRY, Christopher T.; SPENCER, Thomas; KENCH, P. S. Carbonate budgets and reef production states: a geomorphic perspective on the ecological phase-shift concept. **Coral Reefs**, v. 27, n. 4, p. 853-866, 2008.

PERRY, Chris T.; ALVAREZ-FILIP, Lorenzo. Changing geo-ecological functions of coral reefs in the Anthropocene. **Functional Ecology**, v. 33, n. 6, p. 976-988, 2019.

PETCHEY, Owen L.; GASTON, Kevin J.. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 402-411, maio 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x>.

PETCHEY, Owen L.; GASTON, Kevin J.. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 741-758, jun. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>.

R., Aronson; W., Precht; M., Toscano; K., Koltes. The 1998 bleaching event and its aftermath on a coral reef in Belize. **Marine Biology**, [S.L.], v. 141, n. 3, p. 435-447, 1 set. 2002. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-002-0842-5>.

ROBINSON, D. E.. Observations on Fijian coral reefs and the crown of thorns starfish. **Journal Of The Royal Society Of New Zealand**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 99-112, ago. 1971. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03036758.1971.10419344>.

ROGERS, Cs; MILLER, J. Permanent ?phase shifts? or reversible declines in coral cover? Lack of recovery of two coral reefs in St. John, US Virgin Islands. **Marine Ecology Progress Series**, [S.L.], v. 306, p. 103-114, 11 jan. 2006. Inter-Research Science Center. <http://dx.doi.org/10.3354/meps306103>.

SANTOS, Thaís Barbosa et al. Diversity of Feeding in Anthozoa (Cnidaria): A Systematic Review. **Diversity**, v. 12, n. 10, p. 405, 2020.

SOMERFIELD, P. J.; JAAP, W. C.; CLARKE, K. R.; CALLAHAN, M.; HACKETT, K.; PORTER, J.; LYBOLT, M.; TSOKOS, C.; YANEV, G.. Changes in coral reef communities among the Florida Keys, 1996–2003. **Coral Reefs**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 951-965, 28 maio 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-008-0390-7>.

STENECK, Robert S. et al. Managing recovery resilience in coral reefs against climate-induced bleaching and hurricanes: a 15 year case study from Bonaire, Dutch Caribbean. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 265, 2019.

STOBART, Ben; TELEKI, Kristian; BUCKLEY, Raymond; DOWNING, Nigel; CALLOW, Martin. Coral recovery at Aldabra Atoll, Seychelles: five years after the 1998 bleaching event. **Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S.L.], v. 363, n. 1826, p. 251-255, 15 jan. 2005. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2004.1490>.

TILMAN, D.. The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. **Science**, [S.L.], v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 29 ago. 1997. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>.

TILMAN, David. Functional diversity. *Encyclopedia of biodiversity*, v. 3, n. 1, p. 109-120, 2001.

TKACHENKO, Konstantin S.; WU, Bing-Je; FANG, Lee-Shing; FAN, Tung-Yung. Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching Acropora corals and an outbreak of anemones. **Marine Biology**, [S.L.], v. 151, n. 1, p. 185-194, 15 set. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-006-0467-1>.

VERON, J.E.N. *Corals of the World*; Australian Institute of Marine Science: Townsville, Australia, 2000; Volumes 1–3.

WARD-PAIGE, Christine A.; RISK, Michael J.; SHERWOOD, Owen A.; JAAP, Walter C.. Clionid sponge surveys on the Florida Reef Tract suggest land-based nutrient inputs. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 51, n. 5-7, p. 570-579, jan. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.006>.

WILLIAMS, Ernest H.; BARTELS, Paul. J.; BUNKLEY-WILLIAMS, Lucy.. Predicted disappearance of coral-reef ramparts: a direct result of major ecological disturbances. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 839-845, dez. 1999. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00272.x>.

WILLIAMS, Gareth J.; GRAHAM, Nicholas AJ. Rethinking coral reef functional futures. 2019.

WONG, Joy SY et al. Comparing patterns of taxonomic, functional and phylogenetic diversity in reef coral communities. **Coral Reefs**, v. 37, n. 3, p. 737-750, 2018.

WOODLEY, J. D.; CHORNESKY, E. A.; CLIFFORD, P. A.; JACKSON, J. B. C.; KAUFMAN, L. S.; KNOWLTON, N.; LANG, J. C.; PEARSON, M. P.; PORTER, J. W.; ROONEY, M. C.. Hurricane Allen's Impact on Jamaican Coral Reefs. **Science**, [S.L.], v. 214, n. 4522, p. 749-755, 13 nov. 1981. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.214.4522.749>.

WOODHEAD, Anna J. et al. Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. **Functional Ecology**, v. 33, n. 6, p. 1023-1034, 2019.

WORK, Thierry M.; AEBY, Greta S.; MARAGOS, James E.. Phase Shift from a Coral to a Corallimorph-Dominated Reef Associated with a Shipwreck on Palmyra Atoll. **Plos One**, [S.L.], v. 3, n. 8, p. 1-5, 20 ago. 2008. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0002989>.

YADAV, Siddharth Shekhar; GJERDE, Kristina Maria. The ocean, climate change and resilience: Making ocean areas beyond national jurisdiction more resilient to climate change and other anthropogenic activities. **Marine Policy**, v. 122, p. 104184, 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Planilha Mudanças de Fase (FIALHO,2021)

APÊNDICE B - Planilha Atributos Funcionais (FIALHO,2021)

APÊNDICE C - Referências dos Atributos Funcionais (FIALHO, 2021)