



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

CAROLINNY CANTARELLI DE OLIVEIRA AMORIM

**ECOLOGIA DO *MICROSPATHODON CHRYSURUS* NO COMPLEXO RECIFAL DE
TAMANDARÉ**

Recife

2021

CAROLINNY CANTARELLI DE OLIVEIRA AMORIM

**ECOLOGIA DO *MICROSPATHODON CHRYSURUS* NO COMPLEXO RECIFAL DE
TAMANDARÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientadora: Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago

A524e Amorim, Carolinny Cantarelli de Oliveira.
Ecologia do *Microspathodon chrysurus* no complexo recifal de Tamandaré /
Carolinny Cantarelli de Oliveira Amorim. – 2021.
70 f.: il., fig., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Oceanografia, Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Pomacentridae. 3. *Microspathodon chrysurus*. 4.
Mudanças climáticas. I. Ferreira, Beatrice Padovani (Orientadora). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-195

CAROLINNY CANTARELLI DE OLIVEIRA AMORIM

**ECOLOGIA DO *MICROSPATHODON CHRYSURUS* NO COMPLEXO RECIFAL DE
TAMANDARÉ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovada em: 24/08 /2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Beatrice Padovani Ferreira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcelo Francisco de Nóbrega (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Lucas Leão Feitosa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradecer pode parecer fácil, mas, quando a gratidão vem lá de dentro, é um desafio transformá-las em palavras.

Antes de tudo, agradeço a Deus por ter me dado forças nos momentos mais difíceis para que eu pudesse concluir essa etapa, sem Ele não chegaria até aqui.

À minha querida orientadora, Profa. Beatrice, por ter me inspirado a mergulhar em ideias tão lindas. Por todo aprendizado, conselhos, paciência e pela incrível oportunidade de realizar um trabalho em um lugar incrível.

À Camila Brasil, por ter se disponibilizado a ser minha coorientadora e por todo ensinamento que foram desde técnicas de campo até análise dos dados. Com apoio e conselhos que fizeram toda a diferença nesse trabalho.

À colega de laboratório, Ana Lúcia por ter disponibilizado os dados do Reef Check, que foram inseridos em algumas análises do trabalho, ajudando a compreender os objetivos finais.

A todos do LECOR (Laboratório de Estudos em Ecossistemas Oceânicos e Recifais) por ter me recebido e acolhido tão bem.

À minha família por me apoiarem em cada escolha e pela força que sempre me deram para que eu conseguisse continuar e chegar até aqui. Obrigada por tudo!

Ao meu namorado. Caminhar com você é tranquilidade. Obrigada por me dar a mão quando eu sinto medo, por sonhar comigo e por sempre acreditar em mim. Você me faz melhor!

Ao CEPENE por todo o auxílio, acolhimento e disponibilidade de instalações.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que esse trabalho desse certo, minha imensa gratidão.

RESUMO

A família Pomacentridae possui uma estreita relação com os corais. Uma dessas estreitas associações ocorre entre a espécie *Microspathodon chrysurus* com o hidrocoral *Millepora alcicornis*. Os recifes de coral estão constantemente ameaçados por pressões antrópicas e atualmente, o aquecimento global tem sido considerado o impacto mais significativo, com sucessivos eventos de branqueamento e mortalidade de corais sendo reportados. Assim, uma revisão sistemática fez-se necessária para compreender os efeitos das mudanças climáticas na família Pomacentridae. Foi possível observar que o aquecimento global gera impactos na reprodução, diminuindo a qualidade dos ovos; Na preferência pelo habitat, com espécies generalistas passando a ter preferência por certos habitats, acarretando aumento na competição intra e interespecífica; e na ocupação latitudinal das espécies, pois os indivíduos passam a migrar para maiores latitudes. Assim, no futuro podemos encontrar um ambiente recifal completamente novo, com novas preferências de habitats e novas interações. Contudo, a família tem sido pouco utilizada para estudos focados nos impactos das mudanças climáticas. A fim de investigar os padrões de distribuição e abundância da espécie *M. chrysurus*, diferentes métodos de mapeamento foram realizados. Foram construídos mapas com dados de localização pretéritos (2003 a 2016) e recentes (2017 a 2021). Além disso, um modelo de distribuição de espécies foi gerado utilizando o software MaxEnt. Durante as atividades *in situ* foi possível notar diferenças de comportamento e preferência de habitats entre adultos e juvenis. Onde a fase juvenil possui preferência por habitar as ramificações do coral *M. alcicornis* e, os adultos principalmente, as áreas de cavernas. O mapeamento da espécie revelou diferenças entre distribuições antigas e atuais, principalmente na área de Mamucabas. A ausência de *M. chrysurus* nesta área tem sido associada a redução de *M. alcicornis* que por sua vez foi ocasionada pelo El Niño em 1998. Indicando a importância de estudos focando no impacto do branqueamento e mudanças climáticas na família. Apesar disso, abundância da espécie aumentou ao longo dos anos, em razão da proibição da pesca ornamental. Enfatizando a importância de uma área de conservação ambiental nas populações marinhas. O modelo de distribuição da espécie revelou a associação de variáveis topográficas com a presença de *M. chrysurus*, como profundidade e distância da costa, indicando áreas ótimas para a ocorrência da espécie. Além disso, foi possível verificar uma clara associação entre a *M. alcicornis* e *M. chrysurus*, visto que a distribuição destes peixes foi diretamente associada com a cobertura do coral.

Palavras-chave: Pomacentridae; *Microspathodon chrysurus*; mudanças climáticas.

ABSTRACT

The family Pomacentridae has a close relationship with corals. One such close association occurs between the species *Microspathodon chrysurus* and the hydrocoral *Millepora alcicornis*. But, coral reefs are constantly threatened by human pressures. Currently, global warming has been considered the most significant impact, with successive coral bleaching and mortality events being reported. Thus, a systematic review was necessary to understand the effects of climate change on the Pomacentridae family. It was possible to observe that global warming impacts reproduction, decreasing egg quality; habitat preference, with species considered generalists having a preference for certain habitats, leading to increased intra and interspecific competition on the reefs; and the latitudinal occupation of species, as individuals migrate to higher latitudes. Thus, in the future we may find a completely new reef environment with new habitat preferences and new interactions. However, the family has been little used for studies focused on the impacts of climate change. In order to investigate the distribution patterns and abundance of the species *M. chrysurus*, different mapping methods have been performed. Maps were constructed with past (2003 to 2016) and recent (2017 to 2021) location data. In addition, a species distribution model was generated using MaxEnt software. During the in situ activities it was possible to note differences in behavior and habitat preference between adults and juveniles. Where the juvenile phase has a preference for inhabiting the branches of the *M. alcicornis* coral, and the adults mainly inhabit cave areas. Mapping of the species revealed differences between former and current distributions, especially in the Mamucabas area. The absence of *M. chrysurus* in this area has been associated with the reduction of *M. alcicornis*, which in turn was caused by El Niño in 1998. Indicating the importance of studies focusing on the impact of bleaching and climate change on the family. Despite this, abundance of the species has increased over the years due to the ban on ornamental fishing. Emphasizing the importance of an environmental conservation area in marine populations. The species distribution model revealed the association of topographic variables with the presence of *M. chrysurus*, such as depth and distance from the coast, indicating optimal areas for the species occurrence. Furthermore, it was possible to verify a clear association between *M. alcicornis* and *M. chrysurus*, since the distribution of these fishes was directly associated with coral cover.

Palavras-chave: Pomacentridae; *Microspathodon chrysurus*; climate changes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	8
2	SYSTEMATIC REVIEW OF POMACENTRIDAE FAMILY WORLDWIDE: THE FAMILY'S FUTURE WITH CLIMATES CHANGES.....	12
3	DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DA ESPÉCIE MICROSPATHODON CHRYSURUS E SUA RELAÇÃO COM O CORAL MILLEPORA ALCICORNIS NO COMPLEXO RECIFAL DE TAMANDARÉ	35
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO GERAL

O ambiente recifal caracteriza-se como um ecossistema extremamente rico, com uma alta taxa de endemismo, além de uma complexa rede de habitats e uma enorme variedade de nichos ecológicos, abrigando uma grande diversidade de espécies com diferentes relações (Spalding et al., 2001). Os recifes, ainda, fornecem proteção às zonas costeiras contra as ações das ondas, tempestades e ciclones tropicais e, representam uma das principais fontes de alimento e emprego para milhões de pessoas em regiões costeiras de países tropicais (Ferreira & Maida, 2003), contribuindo, com quase US\$ 375 bilhões anuais em bens e serviços (Wilkinson, 2002).

Os recifes ocupam cerca de 0,2% da área oceânica mundial e em torno de 15% do fundo marinho (Spalding et al., 2001; Sheppard et al., 2009). No Brasil, estão distribuídos em sua maioria na região nordeste do país, indo desde o Maranhão ao sul da Bahia, com algum crescimento, também, no norte do estado de São Paulo. Os recifes brasileiros são os únicos existentes no Atlântico Sul (Maida & Ferreira, 1997), no entanto, contam com apenas 18 espécies de corais, sendo 15 hermatípicas e 3 ahermatípicas (Paulay, 1997). Apesar da baixa diversidade em espécies de corais, os mesmos abrigam uma alta diversidade biológica, com cerca de 27% das espécies de peixes sendo endêmicas (Pinheiro et al., 2018).

Dentre os organismos recifais, os peixes apresentam grande destaque, tanto por sua elevada diversidade, quanto por seu valor econômico. Uma das famílias de peixes mais características do ambiente recifal é a família Pomacentridae (Choat, 1991), conhecida, popularmente, como peixes-donzela. Possui 30 gêneros e 386 espécies (Froese & Pauly 2012), sendo bem distribuída e abundante em águas tropicais e subtropicais (Ceccarelli et al., 2001), podendo ocupar até 90% de algumas áreas de recifes rasos (Ceccarelli, 2005; Ilarri et al., 2008; Medeiros et al., 2010), e representar até 46% da abundância total de peixes (Letourneur, 2000). Assim, apresentam uma grande variedade pela preferência de habitat, alimentação, morfologia, comportamento e padrão de cores. Em razão dessa diversidade, nas últimas décadas a família Pomacentridae foi alvo de vários estudos, onde muitos desses estudos eram para tentar explicar teorias ecológicas já testadas em ecossistemas terrestres. Assim, a família se tornou um modelo para estudos ecológicos voltados para peixes recifais (Hixon, 2011).

Os pomacentrídeos ocupam um lugar importante nos recifes de corais, com hábitos que os permite atuar na estrutura de toda comunidade, como: a agressividade territorialista e o

hábito alimentar herbívoro (Ferreira et al., 1995). Através dessas características, os mesmos conseguem controlar a abundância e a distribuição de outros peixes herbívoros (Schwamborn & Ferreira, 2002) e das algas (Szmant, 2001; Hughes et al., 2007), respectivamente. Essa característica agressiva com que defendem seus territórios é considerada a mais importante da família (Ogden & Lobel, 1978), estando, em geral, associada ao tamanho dos territórios e a quantidade de algas dentro dos mesmos (Jan et al., 2003), já que esses indivíduos cultivam suas algas preferidas (Ferreira, 1994), e portanto, expulsam outros herbívoros intrusos como Acanthurideos e Scarídeos (Sammarco et al. 1987).

Dentre os vários representantes da família Pomacentridae está o gênero *Microspathodon* com 4 espécies: *Microspathodon dorsalis*, *M. bairdii*, *M. frontatus* e *M. chrysurus*. As duas primeiras possuem a mesma distribuição geográfica, sendo endêmicas do Pacífico Oriental, encontradas desde o Golfo da Califórnia até o Equador, incluindo as Ilhas Galápagos (Allen et al., 2010). Já *M. frontatus* é endêmico do Golfo da Guiné, na África (Rocha & Myers, 2015). E, o *M. chrysurus* é a única encontrada no Brasil, tendo sua distribuição restrita ao oeste do oceano Atlântico (Choat, 1991), indo desde a Flórida, onde é muito abundante, até o nordeste do Brasil (Humann, 1994; Randall, 1996). No Brasil o *M. chrysurus* coexiste com outras 4 espécies de pomacentrídeos: *Abudefduf saxatilis*, *Chromis multilineata*, *Stegastes fuscus* e *S. variabilis*, que juntos representam mais de 30% da abundância relativa da ictiofauna dos recifes de Tamandaré (Ferreira et al., 2004).

O *M. chrysurus* possui uma estreita associação com a espécie de coral *Millepora alcicornis* (Berumen & Rotjan, 2010; D'amico, 2002; Pereira, 2012), também conhecido como coral-de-fogo por possuir pólipos altamente urticantes. Esse gênero de coral é o único representante no Brasil a possuir sistemas mais complexos, ou seja, a possuir fendas, ramificações e buracos na sua estrutura (Leal, 2013). Essa complexidade aumenta a quantidade de abrigos e, portanto, a diversidade, a densidade e a biomassa de peixes e invertebrados nos recifes (Garcia et al., 2008; Johnson et al., 2011; Pereira et al., 2012) além de diminuir os riscos de predação dos seus residentes (Johnson et al., 2011). Portanto, a associação entre o *M. chrysurus* e a *Millepora alcicornis* pode variar desde a utilização do coral como abrigo e proteção contra predadores (Munday et al., 1997; Gibran et al., 2004), até alimentação do próprio coral (Berumen & Rotjan, 2010; Pereira et al., 2012), levando em consideração que o estágio juvenil da espécie é carnívoro, podendo se alimentar das partes moles do coral (Ciardelli, 1967). Em contrapartida, o estágio adulto é, principalmente, herbívoro, se alimentando das algas incrustadas nos corais (Emery, 1968).

A reprodução do *M. chrysurus* é demersal, com cuidado parental exercido pelos machos. Os mesmos preparam os ninhos em seus territórios de alimentação e apesar de serem mais ativos durante o dia, cuidam dos ovos o tempo todo, até que ocorra a eclosão (Emery, 1973). O desenvolvimento do *M. chrysurus* possui três fases. A primeira é uma fase larval pelágica; a segunda é a fase juvenil com hábitos associados à *Millepora*, e por fim a fase adulta, onde se torna os maiores e mais agressivos pomacentrídeos dos recifes (Robertson 1984)

O *Microspathodon chrysurus* é conhecido, popularmente, como fluorescente, em virtude da sua coloração com pintas brilhantes azuis-claros localizadas por todo o corpo, no estágio juvenil (Humann, 1994; Randall, 1996). Também por causa da sua coloração a espécie sofreu com a pesca ornamental durante vários anos, acarretando em uma drástica diminuição populacional nos recifes do Nordeste brasileiro (Ferreira et al., 2005). Só a partir de 1999, com a criação da APA Costa dos Corais, foi proibida a coleta de peixes ornamentais em toda sua área (Ferreira et al., 2001). No entanto, por se tratar de uma unidade de conservação (UC) de uso sustentável esses recifes ainda sofrem processos de degradação locais constantes devido aos impactos antrópicos, como, a crescente população costeira, o turismo, a pesca predatória, a poluição e a coleta de corais (Maida & Ferreira, 2003). Apesar de no Brasil a espécie ser endêmica da região Nordeste e sofrer com a coleta para aquarismo, poucos trabalhos foram realizados com a mesma, sendo encontrados apenas os estudos de D'amico, (2002), Leal et al., (2013) e Pereira et al., (2012).

Além das ameaças locais de degradação dos corais, as mudanças climáticas, uma ameaça global, também vêm causando preocupações. A mesma ocasiona a acidificação dos oceanos e o branqueamento e mortalidade de corais (Pandolfi et al., 2003; Hoegh-Guldberg et al., 2007; Wilkinson, 2008). A principal consequência destes efeitos é a diminuição da cobertura de corais e, conseqüentemente, da sua biodiversidade associada (Hughes et al., 2010).

Levando em consideração que a última década foi a mais quente da história, registrando um aumento de 0,2°C na temperatura (Dunn, 2020), vários estudos vêm alertando sobre como as mudanças climáticas ameaçam o ecossistema marinho. Não é a toa, o número de estudos sobre os efeitos da acidificação oceânica no comportamento de peixes quase dobrou, entre os anos de 2012 e 2015 (Clements e Hunt 2015; Browman 2016), com a maioria relatando comportamentos alterados sob CO² elevado (Esbaugh, 2018; Tresguerres &

Hamilton, 2017). Outra questão que vem sendo documentada é o branqueamento dos corais, que causa perda ou redução da disponibilidade de habitat. Para espécies especialistas, essa perda pode causar declínios fisiológicos na locomoção, crescimento, reprodução, aumento na mortalidade, e até levar a extinção (Clavel, Julliard & Devictor, 2011). Já para espécies generalistas que podem utilizar recursos alternativos, essa perda ocasiona o aumento da competição interespecífica (Clavel, Julliard & Devictor, 2011).

Estima-se que cerca de 75% dos recifes do mundo já estejam danificados (Haas, 2016) com 29% dos corais de águas rasas perdidos somente em 2016 (GBRMPA, 2017) e, é esperado que no próximo século ocorra um aumento de 1,5°C na temperatura (IPCC, 2021), e que os níveis de CO₂ nos oceanos atinjam ~1000 µatm (Heuer & Grosell, 2014), ocasionando mais degradação coralínea e da sua diversidade associada. Assim, fez-se necessário, no capítulo 1, uma revisão sistemática da família Pomacentridae para compreensão dos efeitos das mudanças climáticas na família, assim como para avaliar, o status de conhecimento global, distribuição geográfica de estudos e evolução da produção científica da família. O segundo capítulo focou na ecologia da espécie *Microspathodon chrysurus*, verificando mudanças na sua distribuição e abundância espaço-temporal, assim como sua relação com o coral *M. alcicornis*, avaliando a influência dos impactos antrópicos nas colônias de ocorrência do *M. chrysurus*.

2 SYSTEMATIC REVIEW OF POMACENTRIDAE FAMILY WORLDWIDE: THE FAMILY'S FUTURE WITH CLIMATES CHANGES

Revisão sistemática da família Pomacentridae no mundo e no Brasil: Futuro da família com as mudanças climáticas

C. C. O. Amorim¹, B. P. Ferreira¹, C.B. Silveira¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Laboratório de Estudos em Ecossistemas Oceânicos e Recifais (LECOR), Brazil

Artigo submetido ao: Arquivos de Ciências do Mar

ABSTRACT:

The family Pomacentridae comprises coral-dependent fish species. However, the health of coral reefs is threatened by anthropogenic stressors. With global warming emerging as the main stressor in recent decades, causing successive coral bleaching and death events, resulting in damage to associated biota. The aim of this systematic review was to understand the global status of knowledge of the family with a focus on studies addressing climate change effects. A database was built with the literature obtained from the 'Web of Science' and 'Google Scholar' platforms. A total of 345 publications were analyzed. The studies occurred in almost all oceans except the Arctic and Antarctic. The number of publications has grown since the 1960s, with a greater advance from the 2000s after the emergence of technologies. The area with more papers published about the family is 'behavioral ecology'. It was possible to observe that global warming has impacts on reproduction; in preference for habitat; and in the latitudinal occupation of species. Thus, in the future we may find a completely new reef environment, with new habitat preferences and new interactions. Furthermore, the responses to the warm-up are related to the characteristics of the life history species, such as habitat specialization and dispersal capacity.

Key-words: Global Warming, damselfish, Literature Review, Pomacentridae

2.1 Introduction

The family Pomacentridae concentrates 386 species, belonging to 30 genera (Froese & Pauly, 2012) and they are popularly known as damselfishes. Pomacentridae occupy an important place in coral reefs, as a key species, because they have specialized habits that allow them to act in the structure of the whole community, such as territorial aggression and herbivorous feeding habits (Ferreira et al., 1995). Through these characteristics, they can control the abundance and distribution of other herbivorous fishes (Schwamborn & Ferreira, 2002) and algae (Szmant, 2001; Hughes et al., 2007), respectively. Still, they are considered coral dependent fishes, having an intimate relationship with these ecosystems.

Pomacentrids are considered to be the most representative fish of the reef environment (Choat, 1991), being widely distributed and abundant throughout the world (Ceccarelli, 2001), and may settle in up to 90% of the area of some reefs (Ceccarelli, 2005; Ilarri et al., 2008; Medeiros et al., 2010) and contribute with up to 46% of the total numerical abundance of fishes (Letourneur, 2000). Thus, they present a great diversity of niches and consequently of morphology, behavior and color pattern. Because of this diversity, the family Pomacentridae has become a model for studies of reef fish ecology (Hixon, 2011), with genera and species being important objects of studies in ecology, behavior, diet and foraging and recruitment (e.g. Thresher, 1984; Foster, 1987; Ferreira et al., 1998; Hoolbrook & Schmitt, 2002; Ceccarelli, 2007; Souza et al., 2011; Feitosa et al., 2012).

Coral reefs are considered biodiversity hotspots and concentrate about 25% of all ichthyofauna in the oceans (Spalding et al., 2001); they protect coastal areas against wave action, storms and tropical cyclones (Bryant et al., 1998) and represent a major source of income and food for millions of people in coastal regions (Wilkinson, 2008). Despite all the importance of the reef ecosystem its environmental quality is threatened by local anthropogenic stressors (pollution, unplanned tourism, disorganized urban development, overfishing and outbreaks of invasive species) (Elliff & Kikuchi, 2017) and by global stressors such as climate change, which cause mass bleaching and mortality of corals (Wilkinson, 2008). The main consequence of these effects is the decrease in coral cover and its associated biodiversity (Hughes et al., 2010). Today, it is estimated that about 75% of the world's reefs are already damaged (Haas, 2016) with 29% of shallow water corals lost in 2016 alone (GBRMPA, 2017) and that in the next 40 years about 60% will be fully degraded (Wilkinson, 2008). In Brazil, an estimated 40% of reefs are threatened (Magris et al., 2018).

The global loss of corals raises questions about the future of fish associated with coral reefs. Today, we know that just like the reefs, their associated diversity and abundance will also suffer the consequences of global warming (Purkis & Riegl, 2005; Baker et al., 2008; Bradbury, 2008). Taking into consideration that the last decade (2010-2020) was the warmest in history, registering a 0.2°C increase in temperature, with 2015/2016 and 2019 being the warmest years (Dunn, 2020), several studies have emerged warning about how climate change threatens marine ecosystems. The number of papers on the effects of ocean acidification on fish behavior nearly doubled between the years 2012 and 2015 (Browman, 2016), with the vast majority reporting altered behaviors under elevated CO² (Esbaugh, 2018; Tresguerres & Hamilton, 2017). Other studies also warn of the changes that coral bleaching can cause in the oceans, associated individuals, and their interactions (Clavel et al., 2011). Another documented issue is the global redistribution of species, causing migration and expansion of geographic range to higher latitudes (Poloczanska, 2013), causing new biological interactions between previously separate species, altering trophic structures and food webs (Scheffers et al., 2016).

Systematic reviews are important to integrate a set of studies conducted separately on a given issue, summarizing and comparing results, identifying new themes and helping to guide future research. The objective of this review was to assess the studies conducted on likely impacts of climate change on the family Pomacentridae, examining how foreseen changes will affect the growth, survival, behavior and reproductive success of individuals, as well as influence population dynamics and geographic distribution of the family.

2.2 Materials and methods:

2.2.1 Protocol/Methodology

The systematic review followed the guidelines and steps suggested in the PRISMA protocol (Main Items for Reporting Systematic Reviews and Meta-analyses) (Moher et al., 2015). A database of existing literature on the family Pomacentridae was produced from surveys and searches on the 'Web of Science' and 'Google Academic' platforms. The searches were concentrated in the period January 2020 to March 2020 and the keywords used were 'Pomacentridae' and then 'Pomacentridae + climate change'. The articles found were analyzed without date distinction.

2.2.2 Research platforms

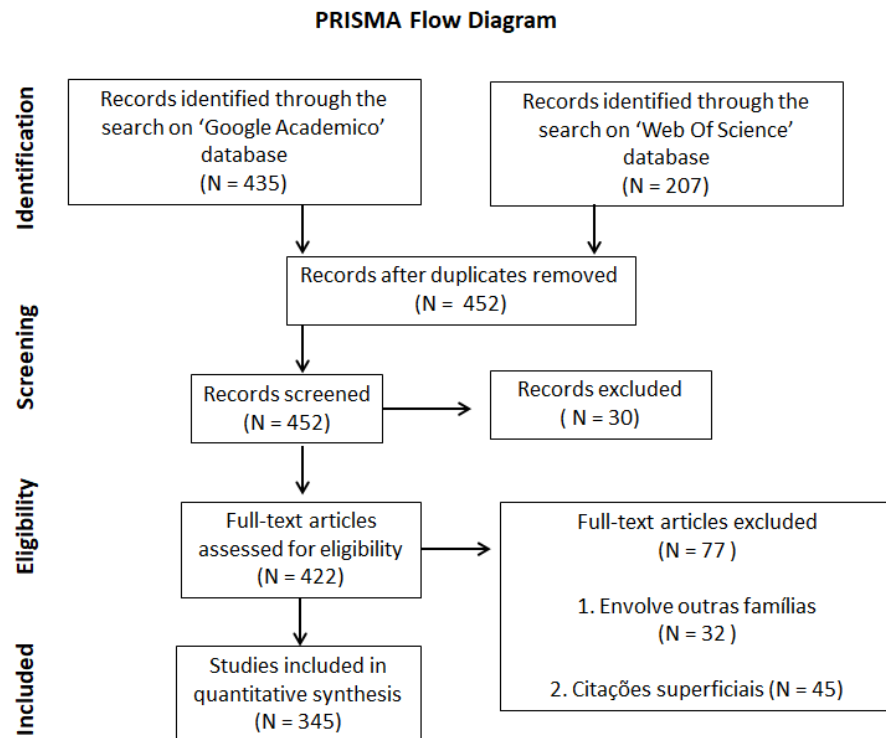
2.2.2.1 *Google Scholar*: All articles were downloaded until the point where the publications began to lose the focus of the search, appearing for example, publications with primary focus on other families. Thus, using 'Pomacentridae' as a keyword the first step was to search without a specific period. All articles up to the 15th page in the platform results were downloaded for further analysis. Next, a specific period from 1900 to 2000 was used. All articles up to the 10th page of search results were downloaded. Then a specific period from 2001 to 2020 was used, and all articles up to the 13th page of results were downloaded. The last step consisted of a search using the keywords 'pomacentridae' and 'climate change' together, with pertinent articles appearing up to the 6th page of results

2.2.2.2 *Web of Science*: Only the keyword 'Pomacentridae' was used. All publications from this platform up to the 21st page were downloaded for further analysis.

2.2.3 Selection and extraction of publications

Articles were excluded when (i) they contained superficial citations about the family; (ii) they contained as keywords or title of the article the words: checklist, listing, ichthyofauna, new record, diversity, annotation and community structure, given that the family Pomacentridae was again only cited in these types of studies as they involved the entire local fish fauna (iii) those that involved families other than the Pomacentridae; and (iiii) those publications that were repeated in the search for the two keywords 'Pomacentridae and Pomacentridae + Climate change' and also in the two platforms 'Web of Science' and 'Google Scholar'.

Figura 1: Flowchart of the result of the literature search, analysis and exclusion process



Fonte: A autora (2021)

2.2.4 Data Analysis

The articles selected after the first phase were then analyzed spatially (location of the research site), temporally (time of publication) and considering area and sub-area of study (e.g. ecology, taxonomy, reproduction, among others).

To facilitate visualization of the main information obtained through the literature review, graphs were built in Microsoft Excel 2010 software. In addition, maps of the geographic distribution of the studies were made in ArcMap 10.4 software in order to know how the studies are spatially distributed.

2.3 Results

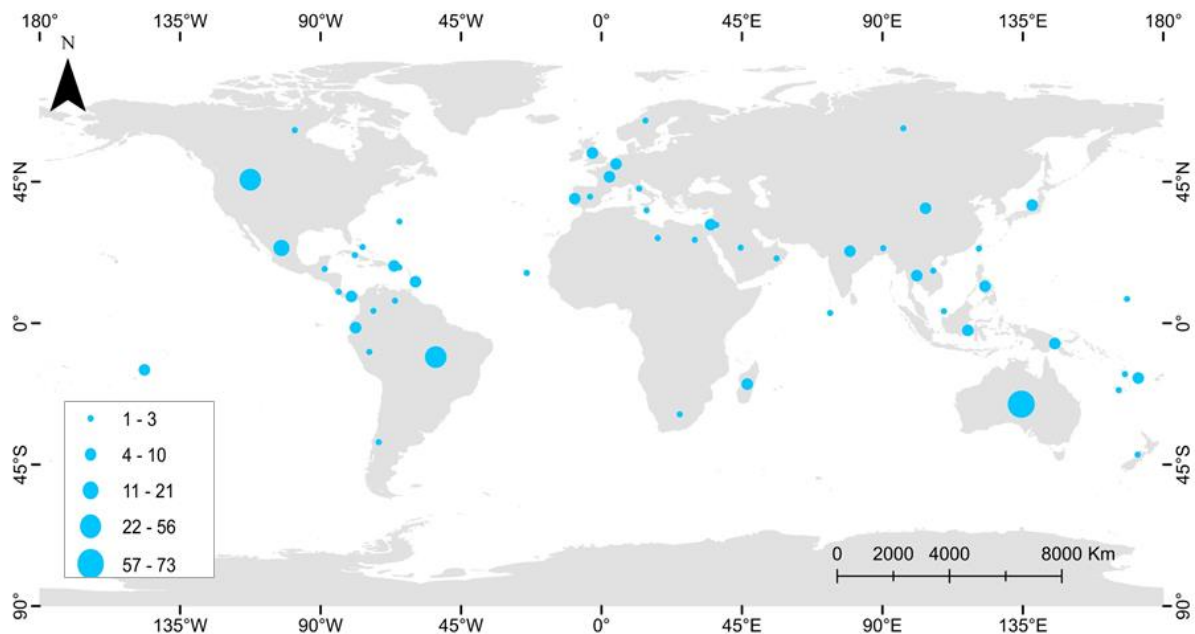
On the Google Academic search platform, 148 articles were downloaded in the first stage of the search (i.e., without specification of initial - final period). 100 publications were found using the specific period 1900 to 2000. The later period (2001 to 2020) resulted in 127 articles. Searching for the words 'Pomacentridae' and 'climate change' together resulted in 60 publications. On the Web Of Science platform 207 publications were found. The two platforms together resulted in 642 publications. Of these, 297 were removed following the parameters previously defined in the methodology. After exclusion, 345 articles remained for

data analysis. Of these articles, only 13 are about the effects of climate change on the family Pomacentridae.

2.3.1 Spatial Analysis - Study Countries

Studies of the family Pomacentridae have been found in all oceans except the Arctic and Antarctic. This shows how diverse and well distributed the family is around the world (Figure 2). Studies were conducted in 54 countries, with Australia (73), USA (56), Brazil (43), and Mexico (21) having the most studies.

Figura 2: Map showing where studies on the family Pomacentridae were conducted. Using Coordinate system: GCSWGS194, Datum: WGS1984, Unit: Degrees



Fonte: A autora (2021)

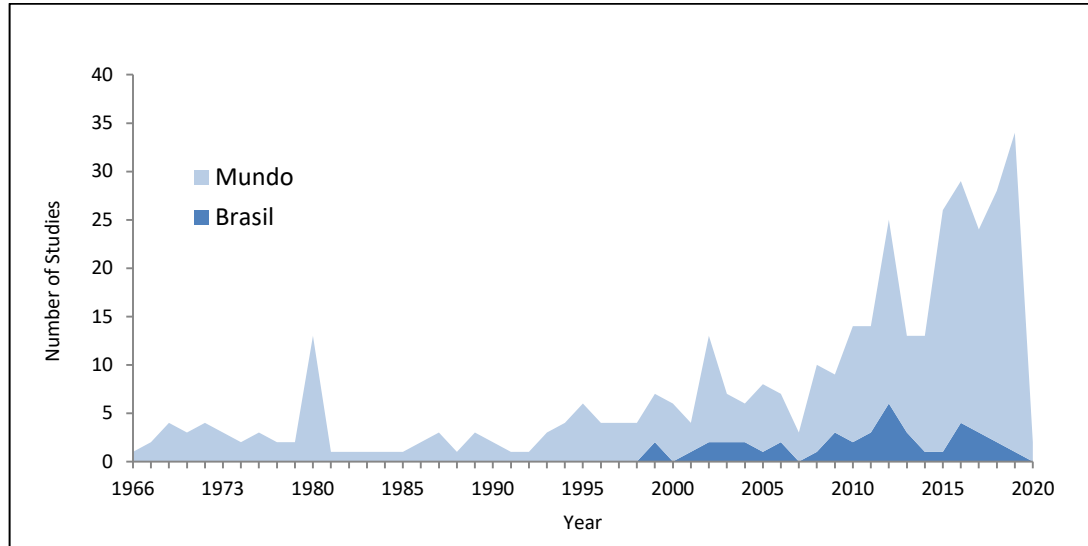
2.3.2 Temporal Analysis

Publications on the family Pomacentridae started in 1966 and remained low (maximum around 5) until the 2000's when it started to steadily rise from less than 10 to over 30 (Figure 3). In 1980 there was an isolated peak due to a special issue of the Bulletin of Marine Science (dealing with several aspects of the population and community ecology) (Hixon, 2011).

In Brazil the first study of the family Pomacentridae was only a few years later, more specifically in 1999 (Figure 3). From then on, the number of studies oscillates over time, with 1 or 2 publications per year. In 2012 there was a significant increase in the number of studies,

with a total of 6 publications, most of them on feeding behavior and conducted with the genus *Stegastes*, which is very common in northeastern Brazil (Ferreira et al., 2004; Schwamborn & Ferreira, 2002).

Figura 3: World scientific production in number of studies per year in the World (light blue) and in Brazil (dark blue) since 1966.



Fonte: A autora (2021)

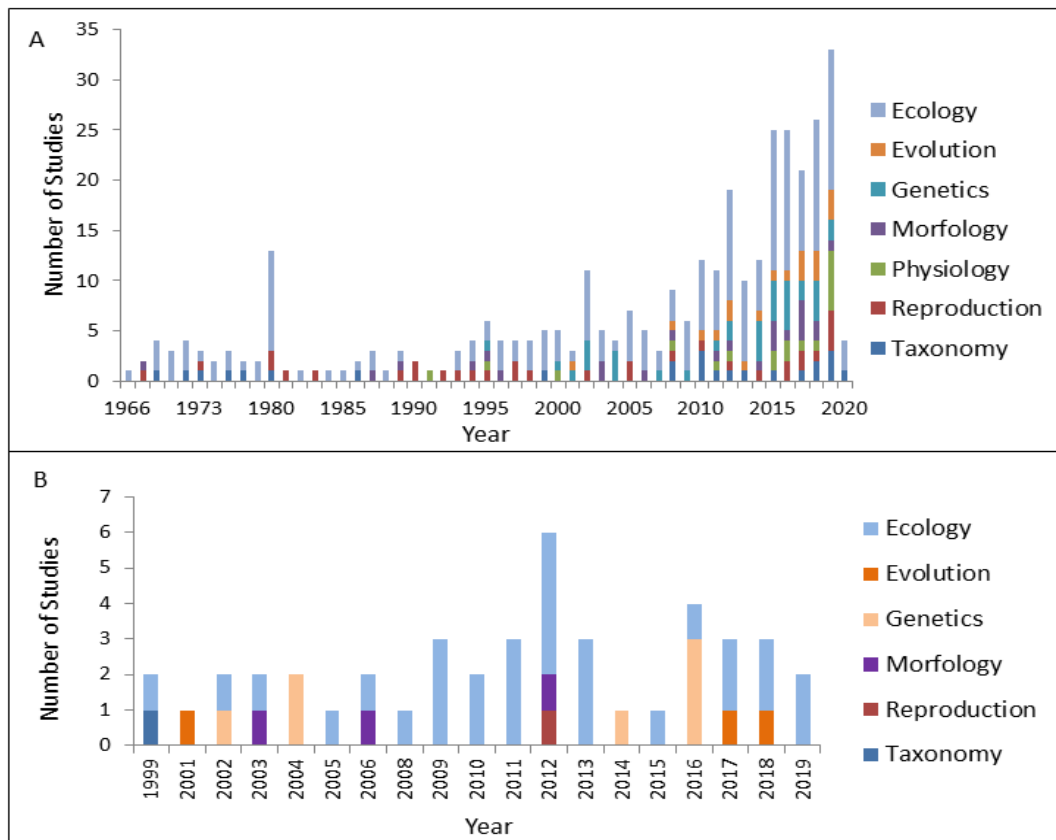
2.3.3 Study areas and sub-areas

The studies were divided into 7 main areas, namely: ecology, evolution, physiology, genetics, morphology, reproduction and taxonomy. The area of 'taxonomy' refers exclusively to studies with new species. It is possible to see that there are taxonomic studies from the 1970s to the 2020s.

The area with the largest number of studies in all years was ecology, occupying more than half of the studies (55.36%) (Figure 4 A). The area of study 'genetics' (10%) appears only in 1995 and becomes common from the 2000s; the area of evolution (5.5%) appears a little later, after the 2000s, and becomes common from 2008, while the area of taxonomy (6.95%) despite being present in all decades, also advances after the 2000s, indicating that these areas of study are co-related and have evolved together. With the advance of genetics there was also an advance in taxonomy and evolution.

In Brazil (Figure 4B) the largest area of study found was also ecology (66%), with some years such as 2008 to 2011 assuming a totality of studies on the subject. The field of study physiology did not appear even once in studies in Brazil. The area of 'genetics' was the second largest.

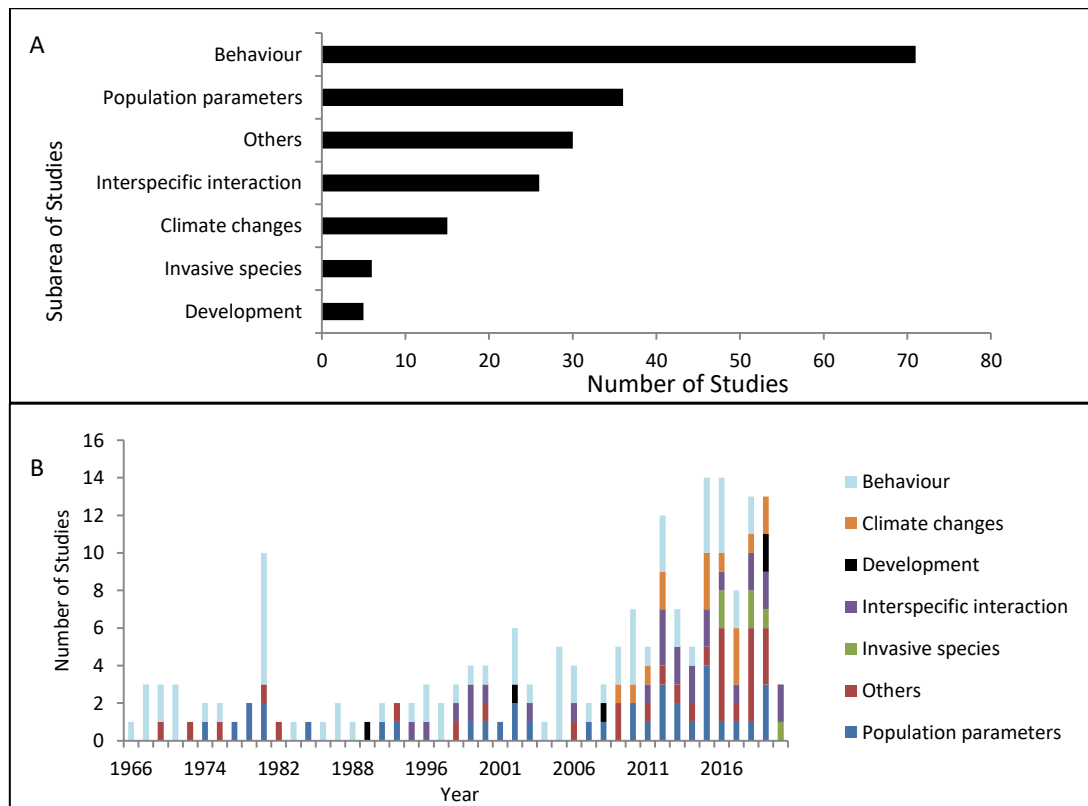
Figura 4: Study area of the articles from the world and Brazil. The studies were divided into seven main areas. In the World (A): Ecology (54.30%), evolution (5.6%), physiology (5.3%), genetics (10%), morphology (7.1%), reproduction (9.4%) and taxonomy (7.1%). The study area 'taxonomy' refers exclusively to records of new species. In Brazil (B): ecology (66%), evolution (6.8%), physiology (0%), genetics (16%), morphology (6.8%), reproduction (2.2%) and taxonomy (2.2%).



Fonte: A autora (2021)

Because the study area 'ecology' had a much higher proportion than the other areas (55.36%), it was subdivided into 6 subareas: (I) behavior (37.5%) being very common in all decades; (II) population parameters (19%) also common in all decades; (III) interspecific interaction (13%), (IV) climate change (7.0%) appearing only in 2009 and taking larger proportions over time; (V) invasive species and (VI) development (Figure 5).

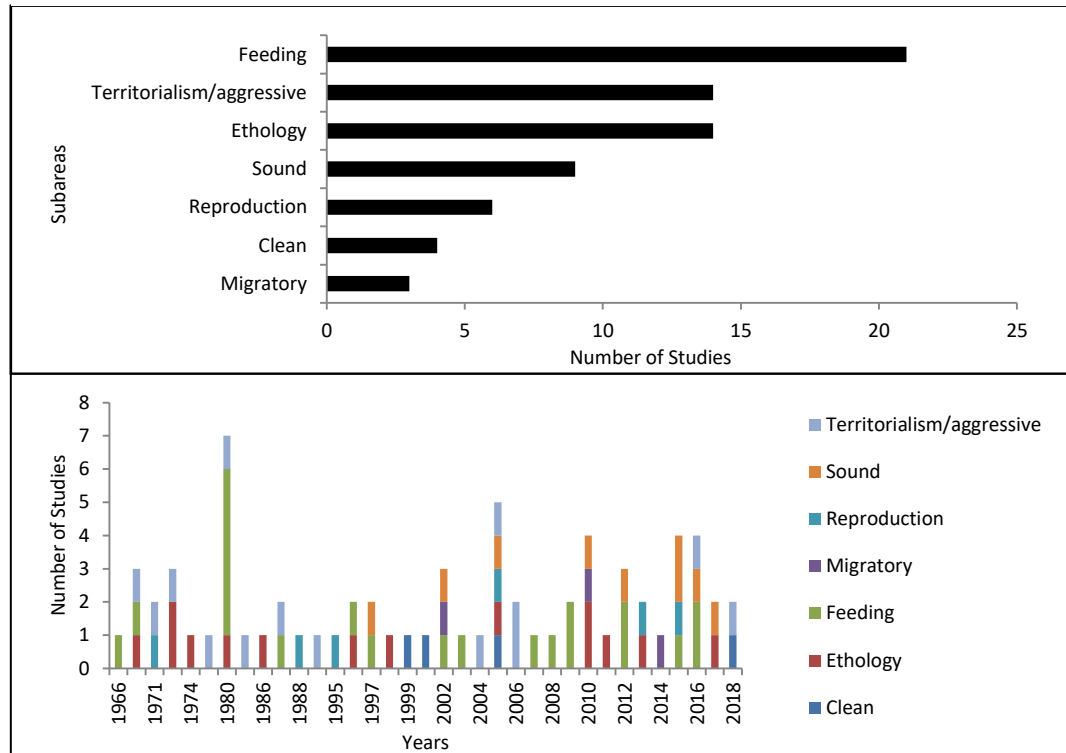
Figura 5: Subdivision of the ecology study area, being subdivided into: behavior (38.5%), climate change (7.0%), population parameters (19.5%), development (2.7%), first appearance of the species (4.8%), interspecific interaction (13%), invasive species (3.2%) and other (10%) which is included: habitat alteration, first appearance of the species, intraspecific interaction, anomaly: A) Shows the amount of number of studies of ecology subfields; B) Shows the amount of number os studies of ecology subfields during the years.



Fonte: A autora (2021)

Since the subarea of 'behavior' was the largest in all decades, this subarea was subdivided once again in feeding, ethology, territorialism, sound, reproduction, (Figure 6). Feeding and aggressive territorialist behaviors have been the most well studied to date.

Figura 6: Subdivision of the behavior subarea, resulting in 7 more subareas being: feeding (29.5%), ethology (21.1%), territorialism (19.7%), sound/communication (12.6%), reproduction (7.0%), gardening (5.6%), and movement (4.2%).

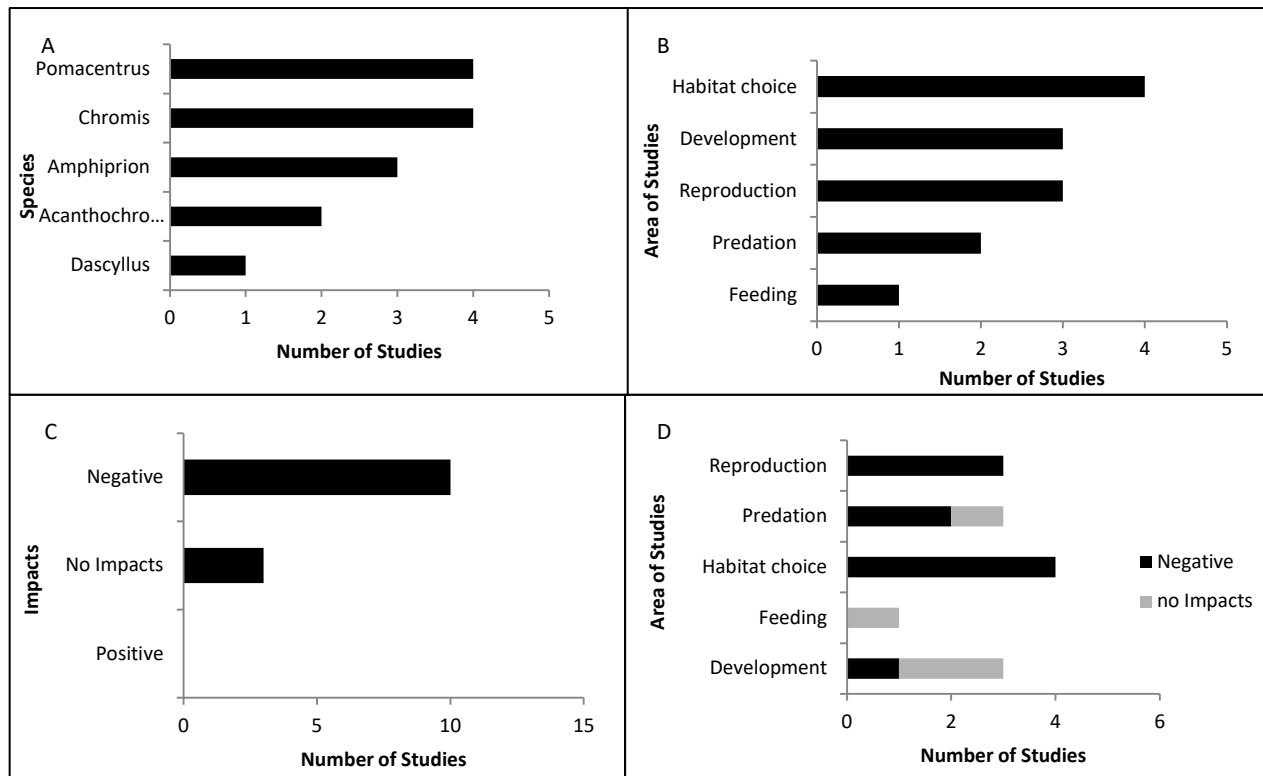


Fonte: A autora (2021)

2.3.4 Climate Change

Effects of climate change were studied in only 5 of the 30 Pomacentridae genera: *Pomacentrus*, *Chromis*, *Amphiprion*, *Acanthochromis*, *Dascyllus* (figure 9 A). The articles discussed the effects of global warming on: habitat choice, reproduction, development, predation and feeding (figure 9 B). Most of these studies reported that global warming generates negative impacts on the family Pomacentridae (figure 9 C). Only 4 studies reported neither negative nor positive impacts. The only areas where neither positive nor negative impacts were reported were development, feeding, and predation (figure 9 D).

Figura 7: Climate change literature. A) Genres that have been covered to date. B) Study areas of impact with climate change. C) Types of impacts that have been reattained. D) Positive and negative impacts on study areas



Fonte: A autora (2021)

2.4 Discussion

The beginning of in situ studies of reef environments is closely connected to the creation of scuba diving devices in 1940 by Jacques Cousteau and Emile Gagnan. Around 20 years later in situ observations generated the first works focused on reef fish ecology (i.e. Randall, 1961; Hixon, 2011). The first study on Pomacentridae appeared 6 years later, in 1966 (Ciardelli, 1966), which indicates that since the onset of first studies, this abundant and characteristic group of coral reef fishes has been a study subject choice. In the 1980 a peak of publications derived from the emergence of revolutionary ideas that emerged in the 1970s, such as the lottery hypothesis (Hixon, 2011), resulting in a special issue in the Bulletin of Marine Science. The vast majority of studies from this year are from the area of behavioral ecology, testing species coexistence and intraspecific and interspecific competition (Emery & Thresher, 1980; Sale et al., 1980; Robertson & Brian, 1980; Waldner & Robertson, 1980). Since then the family Pomacentridae has become a model for studying ecology, behavior, foraging, and reproduction (Hixon, 2011).

After the peak in 1980, the number of publications remained stable until the early 2000s when it began to show steady growth and diversification in several areas of knowledge. The first decades of study (1966-1990) was dominated by publications on the areas of 'ecology' (54.30%), 'reproduction' (9.4%) and 'taxonomy' (7.1%). As of the 2000s, advancement occurs at a faster pace due to new technologies that began to emerge and assist in the work (Hixon, 2011). The greatest advances begin to occur in the area of genetics, with molecular sequencing (Quenouille et al., 2004; Molina & Galetti, 2004; Thiessen & Heath, 2007), in the area of evolution, with studies related to the biogeography of the family (McCafferty et al., 2002; Tang, 2001; Sorenson et al., 2014) and in the area of taxonomy, where new species were discovered (Allen et al., 2010; Allen & Drew, 2012; Liu et al., 2013). Despite this advance in taxonomy since the 2000s, there are studies in the area since the 1970s up to 2020, indicating how large and diverse the family is around the world and that, despite the large number of studies, much of it is still unknown.

Ecology was the most studied area of knowledge in all years, exhibiting variations only in subareas. In general, the most studied subarea throughout the analyzed period was behavioral ecology (38.5% of publications). Within behavioral ecology the studies focusing on feeding behavior (29.16%) and territorialism+aggressive behavior (19.4%) of the species were the most common. It is no wonder that the family Pomacentridae has become a model for reef fish ecology studies (Hixon, 2011), especially in behavioral and feeding ecology and recruitment (Thresher, 1984; Foster, 1987; Ferreira et al., 1998; Hoolbrook & Schimitt, 2002; Ceccarelli, 2007; Souza et al., 2011; Feitosa et al., 2012).

Studies on the effects of climate change on Pomacentridae emerged in 2009, focusing on survival (Scott & Dixon, 2016), reproduction (Donelson & Munday, 2015; Rodgers et al., 2017), development (Wismer et al., 2019), feeding behavior (Bender et al., 2015) and predator escape (Munday et al., 2010; Sundin et al., 2017). Those studies were conducted on the *Pomacentrus*, *Chromis*, *Amphiprion*, *Acanthochromis* and *Dascyllus* genus of the entire family. This paucity followed and overall trend for reef fishes (Magel et al., 2020). Virtually all of these studies reported that global warming impacts species in the family Pomacentridae in a negative way. No studies perceived positive impacts related to climate change and only 3 authors perceived no impact. These studies were related to the areas of development, feeding and predation. Revealing that in addition to climate change causing coral reef bleaching and mortality, it also affects all reef-associated biota (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Currently, it is known that species have an ideal temperature range where they can develop best, called 'optimum temperatures' (Kelsch & Neil, 1990). At temperatures higher or lower than their optimum range they suffer from a loss of capacity for some stimuli. This loss was reported in reduced egg production (39.3%) in anemone fish (*Amphiprion*) when females were present in bleached anemones, consequently there was also a decline in the total number of recruits (Saenz-Agudelo et al., 2011). Decreases in egg size and yolk (food reserve) have also been reported when parents of the species *Acanthochromis polyacantus* were exposed to temperatures only 1.5°C higher than today (Donelson et al., 2012). Thus, the recruits are more fragile, lighter and less healthy, and may suffer greater mortality. Still on reproduction, a significant increase in the proportion of male individuals was observed at 31.5°C (Donelson & Munday, 2015; Rodgers et al., 2017). Those individuals that were exposed to high temperatures since their births had a sex ratio of 90% of male individuals (Rodgers et al., 2017), indicating that global warming can cause damage to the reproductive population (Wright et al., 2012).

The literature states that increased CO₂ in the ocean causes a higher abundance of algae on reefs (Hughes et al., 2010). It is also expected that the feeding behavior of fish is modified (Bender et al., 2015). But, in a study with the species *Pomacentrus wardi* the abundance of algae on the reefs does not increase because the species does not change its feeding behavior and continues to grow and select its preferred algal species (Bender et al., 2015). Despite this, it has been observed that with increasing temperature there is a decrease in the aggressive behavior of the family (Da Silva-Pinto et al., 2020), one of its main characteristics. This reduction affects their ability to maintain their territories and, therefore, to control the growth of some algal species through cultivation (Da Silva-Pinto et al., 2020). Thus, it was concluded that when these behavioral changes occur, it can affect all interaction on the reefs, such as competition, predation, and niche partitioning (Da Silva-Pinto, 2020).

Regarding the habitat choice of the family Pomacentridae, it has been observed that its larval stage can distinguish between a bleached and an unbleached habitat through olfactory (Scott & Dixon, 2016) and visual features (McCormick et al., 2010). There is a clear preference for settling on healthy corals, with bleached corals chosen only when no other option is available (McCormick et al., 2010; Saenz-Agudelo et al., 2011; Scott & Dixon, 2016). Thus, this preference for non-whitened corals may increase inter- and intraspecific competition within the family (Saenz-Agudelo et al., 2011) causing a shift in relationships between individuals in the family. This ability to recognize coral health is advantageous, especially for those habitat specialist species such as the genus *Amphiprion*, that

avoiding settling on bleached anemone prevents a possible loss of their symbiotic host (Scott & Dixon, 2016).

A possible reported effect of increasing temperature could affect habitat choice, with species considered habitat generalists becoming increasingly selective, with preferences for more complex corals (Matis et al., 2018). On the other hand, habitat specialist species that maintain their preferences would be more vulnerable to habitat loss and, consequently, population decline and extinction (Coker et al., 2014; Pratchett et al., 2012; Matis et al., 2018). One example was the species *Pomacentrus moluccensis* that had its population decrease on Lizard Island as a result of habitat degradation (Pratchett et al., 2012). Also, generalist species may begin to have a preference for the same habitats as specialists, so the two species begin to compete for the same resources and, therefore, there is an increase in interspecific competition in the family (Matis et al., 2018).

Escape from predators is one of the most important survival traits and most fish avoid their predators through chemical and physical signals (McCormick & Lonnstedt, 2013). With increasing CO₂ the ability of reef fish to avoid their predators was reported to be impaired (Munday et al., 2010; Ferrari et al., 2011; Munday et al., 2012; Chivers et al., 2014). *Pomacentrus wardi* larvae when exposed to high temperatures suffered 9 times more predation mortality than larvae at current temperatures (Munday et al., 2010). This is because an increase in swimming activity occurs in reef fish as temperature also increases (Cripps et al., 2011; Munday et al., 2013; Sudin et al., 2019). Later, similar results were observed, in a study with 6 species of the family Pomacentridae, where 3 of these species lost the ability to perceive predators (Ferrari et al., 2017). These 3 species could suffer severe consequences by becoming much more vulnerable to predation and consequently mortality, and therefore to population declines. In contrast, changes in responses to predators were not found for the species *A. polyacanthus* (Sudin et al., 2017). In fact, the species was found to exhibit a very similar routine at the different temperatures. Thus, it is clear that the effects of global warming on the family Pomacentridae differ among species.

In the analysis about the development of the species at high temperatures, no negative effects were found on the body growth rate of the species *P. moluccensis* (Munday et al., 2011), or in *A. polyacanthus* (Sudin et al., 2019) when occupying bleached corals. Despite this, another author observed a significant decrease in the growth rate of *A. polyacanthus* (Rodgers et al., 2017). These differences between the findings of Sundin (2019) and Rodgers (2017) may have occurred due to differences in the experiment such as, experimental design and high temperature exposure times. It was also observed that the species *Chromis viridis*

decreased its body mass by 30% when exposed to high temperatures (33°C). This is because when a 10°C increase in body temperature occurs, the individual expends 2-3 times more energy (Clarke & Johnston, 1999), thus they are unable to maintain the cost for basic maintenance (Habary et al., 2017). Thus, it is assumed that the increase in CO₂ only affects the growth of the family Pomacentridae if food resources are limited, because when they consume a lot of food, the increase in energy expenditure related to the increase in CO₂ can be compensated (Sudin et al., 2019).

Related to the survival of the species, some of them, such as *C. viridis* did not show the ability to acclimatize, that is, to adapt to high temperatures (Habary et al., 2017). Thus, these individuals moved in search of a habitat with their optimal temperature (Habary et al., 2017). This may be one explanation of the rapid expansion to the poles by thermally sensitive species around the world (Feary et al., 2014). It has been pointed out that 365 tropical reef fish species are expanding their latitudes, at a distance of 26Km per decade (Figueira & Booth, 2010; Feary et al., 2014; Nakamura et al., 2013). This expansion may cause new biological interactions between previously separate species, altering trophic structures and food webs. Thus, it may be possible to find a completely new ecosystem in the future.

Although some authors have not found negative impacts in some biological processes, it can be said that in general global warming generates an unfavorable environment for the survival of reef fish. For (i) it generates direct impacts on reproduction, decreasing the quantity and quality of eggs and, consequently, larvae; (ii) Although each species reacts differently to climate change (e.g. habitat specialists may become extinct with the extinction of corals and generalists have a preference for certain habitats) the decrease in habitat availability causes an increase in intra and interspecific competition; (iii) Individuals may migrate to higher latitudes to find less stressful environments (Feary et al., 2014); (iiii) There is a thermal threshold for each biological process, i.e. each process is affected at different temperatures (e.g. the species *A. polyacanthus* had a decrease in body growth at 30°C, but the effects on its reproductive population was only observed at 31.5°C) (Rodgers et al., 2017). Thus, climate change can affect reef relationships in very subtle ways and overall, a completely new reef environment may be found in the future. With individuals possessing new habitat preferences, new housing latitudes, and new interactions such as, increased competition.

Although the family Pomacentridae is a well-studied family and serves to date as a model in the study of behavioral, feeding, and recruitment ecology, it is a family that has been to this date poorly used for studies related to climate change impacts. In fact, how reef fish

respond to the effects of climate change is still largely unknown, but considering that responses to these changes are related to the life history characteristics of each species, such as habitat specialization and dispersal ability, a well studied family such as Pomacentridae may serve as an ideal study model to evaluate such impacts.

2.5 REFERÊNCIAS:

- ALLEN, G.R.; ERDMANN, M.V. & HILOMAN, V.V. A new species of damselfish (Pomacentrus: Pomacentridae) from Brunei and the Philippines. **aquapress**, v.17, n.1, p.35-43, 2011. Disponível em: link.gale.com/apps/doc/A322782132/AONE?u=anon~bc59fd0e&sid=googleScholar&xid=05c72878. Acesso em: 26 out. 2021.
- ALLEN, G.R. & DREW, J.A. A new species of Damselfish (Pomacentrus:Pomacentridae) from Fiji and Tonga. **Aquapress**, v.18, p.171-180, 2012. Disponível em: link.gale.com/apps/doc/A321900640/AONE?u=anon~3791ea15&sid=googleScholar&xid=7c82b67b. Acesso em: 26 out. 2021
- BAKER, A.C.; GLYNN, P.W. & RIEGL, B. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. **Estuar. Coast. Shelf Sci**, v. 80, n. 4, p.435-471, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.003>. Acesso em: 26 out. 2021
- BENDER, D.; CHAMP, C.M.; KLINE, D.; DIAZ-PULIDO, G.; DOVE, S. Effects of “Reduced” and “Business-As-Usual” CO2 Emission Scenarios on the Algal Territories of the Damselfish *Pomacentrus wardi* (Pomacentridae). **PLoS ONE**, v.10, n.6, p.e0131442, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131442>. Acesso em: 26 out. 2021
- BRADBURY, J. Coral reefs and climate change. **Front Ecol Environ**, v. 6, n. 7, p. 352-352, 2008.
- BROWMAN, H.I. Applying organized scepticism to ocean acidification research. **ICES J.Mar. Sci**, v.73, n.3, p.,529–536, 2016. Disponível em: [10.1093/icesjms/fsw010](https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw010). Acesso em: 26 out. 2021
- BRYANT, D.; BURKE, L.; MCMANUS, J.; SPALDING, M. **Reefs at risk: a map-based indicator of threats to the world’s coral reefs**. World Resources Institute, 60p, Washington, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259481906_Reefs_at_Risk_A_Map-Based_Indicator_of_Threats_to_the_World's_Coral_Reefs. Acesso em: 26 out. 2021
- CECCARELLI, D.M.; JONES, G.P. & MCCOOK, L.J. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. **Oceanogr. Mar. Biol: Annual Review**, v. 39, p. 355-89, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261507503_Territorial_Damselfish_as_determinants_of_the_structure_of_benthic_communities_on_coral_reef. Acesso em: 26 out. 2021

CECCARELLI, D.M.; JONES, G.P.; MCCOOK, L.J. Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. **Coral Reefs**, v.24, n.4, p.606-620, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00338-005-0035-z>. Acesso em: 18 out. 2021

CECCARELLI, D.M. Modification of benthic communities by territorial damselfish: a multispecies comparison. **Coral Reefs**, v.26, p.853-866, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00338-007-0275-1>. Acesso em: 18 out. 2021

CHIVERS, D.P.; MCCORMICK, M.I. ET AL. Impaired learning of predators and lower prey survival under elevated CO₂: a consequence of neurotransmitter interference. **Glob Change Biol**, v. 20, n. 2, p. 515-522, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.12291>. Acesso em: 18 out. 2021

CHOAT, J.H. **The Biology of Herbivorous Fishes on Coral Reefs**. p. 120-155 In: SALE, P.F. (ed.). *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, 754 p., San Diego, 1991. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/CHAPTER-6-%E2%80%93-The-Biology-of-Herbivorous-Fishes-on-Choat/7d341b705fda0a8f3828528c87dbb90d615ce30c>. Acesso em: 18 out. 2021.

CIARDELLI, A. **Food and Feeding of Microspathodon Chrysurus (Pisces: Pomacentridae)**. Dissertação de mestrado, University of Miami, 1966.

CLARKE, A. & JOHNSTON, N.M. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. **J Anim Ecol**, v. 68, n. 5, p.893-905, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00337.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

CLAVEL, J.; JULLIARD, R. & DEVICTOR, V. Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? **Front Ecol Environ**, v. 9, n. 4, p.222-228, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/080216>. Acesso em: 18 out. 2021.

COKER, D.J.; WILSON, S.K. & PRATCHETT, M.S. Importance of live coral habitat for reef fisher. **Rev. Fish Biol. Fish**, v. 24, n. 1, p.89-126, 2014. Disponível em: 10.1007/s11160-013-9319-5. Acesso em: 18 out. 2021.

CRIPPS, I.L.; MUNDAY, P.L. & MCCORMICK, M.I. Ocean acidification affects prey detection by a predatory reef fish. **PLoS ONE**, v.6, n.7, p.e22736, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022736> .Acesso em: 18 out. 2021.

DA SILVA-PINTO, ET AL. Damselfish face climate changes: Impac of temperature and habitat structure on agonistic behavior. **PLoS ONE**, v.15, n.6, p. 0235389, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235389> .Acesso em: 18 out. 2021

DONELSON, J.M.; MUNDAY, P.L. & MCCORMICK, M.I. Climate change may affect fish through an interaction of parental and juvenile environments. **Coral Reefs**, v. 31, n. 3, p.753-762, 2012. Disponível em: 10.1007/s00338-012-0899-7. Acesso em: 18 out. 2021

DONELSON, J.M. & MUNDAY, P.L. Transgenerational plasticity mitigates the impact of global warming to offspring sex ratios. **Glob Chang Biol**, v. 21, n. 8, p.2954-2962, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.12912>. Acesso em: 18 out. 2021

DUNN, R.J.H.; STANITSKI, D.M.; GOBRON, N. & WILLETT, K.M. Global Climate, p.17-98, in Dunn, R.J.H.; Stanitski, D.M.; Gobron, N. & Willett, K.M.(eds), **State of the Climate in 2019**, Bull. Amer. Meteor, 499 p., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMSD-20-0104.1>. Acesso em: 18 out. 2021.

ELLIFF, C.I. & KIKUCHI, R.K.P. Ecosystem services provided by coral reefs in a Southwestern Atlantic Archipelago. **Ocean Coast Manag**, v. 136, p.49-55, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.021>. Acesso em: 18 out. 2021.

EMERY, A.R. & THRESHER, R.E. The biology of the damselfishes: forward. **Bull Mar Sci**, v.30, p.145–146, 1980. Disponível em: <https://www.libraryofbook.com/books/the-biology-of-damselfishes>. Acesso em: 18 out. 2021

ESBAUGH, A.J. Physiological implications of ocean acidification for marine fish: emerging patterns and new insights. **J Comp Physiol B**, v. 188, n. 1, p.1-13, 2018. Disponível em: 10.1007/s00360-017-1105-6. Acesso em: 18 out. 2021.

FEARY, D.A.; PRATCHETT, M.S.; EMSLIE, M.J.; FOWLER, A.M.; FIGUEIRA, W.F.; LUIZ, O.J.; NAKAMURA, Y. & BOOTH D.J. Latitudinal shifts in coral reef fishes: why some species do and others do not shift. **Fish Fish**, v. 15, n. 4, p.593-615, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/faf.12036>. Acesso em: 18 out. 2021.

FEITOSA, L.L.L.; CONCENTINO, A.M.; TEXEIRA, S.F.; FERREIRA, B.P. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: Stegastes) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **J. Sea Res.**, v.70, p.42-49, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2012.03.006>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERRARI, M.C.O. ET AL. Putting prey and predator into the CO₂ equation—qualitative and quantitative effects of ocean acidification on predator-prey interactions. **Ecol Lett**, v. 14, n. 11, p.1143-1148, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01683.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERRARI, M.C.; MCCORMICK, M.I.; ALLAN, B.J.; CHIVERS, D.P. Not equal in the face of habitat change: closely related fishes differ in their ability to use predation-related information in degraded coral. **Proc Biol. Sci**, v. 284, n. 1852, p. 20162758, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.6084/m9>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. & SOUZA, A.E.T. Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré - PE. **Bol. Técn. Cient. CEPENE, Tamandaré**, v. 3, n.1, p.211-230, 1995.

FERREIRA, C.E.L.; GONÇALVES, J.E.A.; COUTINHO, R. & PERET, A.C. Herbivory by the Dusky Damselfish *Stegastes fuscus* (Cuvier, 1830) in a tropical rocky shore: effects on the benthic community. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol**, v. 229, n. 2, p.241-264, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00056-2). Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, C.; FLOETER, S.; GASPARINI, J.; FERREIRA, B.; JOYEUX, J. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **J.Biogeogr**, v.31, p.1093-1106, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01044.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

- FIGUEIRA, W.F. & BOOTH, D.J. Increasing ocean temperatures allow tropical fishes to survive overwinter in temperate Waters. **Glob. Chang. Biol.**, v.16, n.2, p., 506-516, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01934.x>. Acesso em: 18 out. 2021.
- FOSTER, S.A. Diel and lunar patterns of reproduction in the Caribbean and Pacific sergeant major damselfishes *Abudefduf saxatilis* and *A. troschelii*. **Mar. Biol.**, v.95, n.3, p.333-345, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00409563>. Acesso em: 18 out. 2021.
- FROESE, R. & PAULY, D. **FishBase**. World Wide Web electronic publication. (version 04/2012). Disponível em: www.fishbase.org. 2012.
- HABARY, A.; JOHANSEN, J.L.; NAY, T.J.; STEFFENSEN, J.F. & RUMMER, J.L. Adapt, move or die- how will tropical coral reef fishes cope with ocean warming? **Glob. Chang. Biol.**, v.23, n.2, p.566-577, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13488>. Acesso em: 18 out. 2021.
- GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, **Crown-Of-Thorns Starfish Control Guidelines**, 2nd edition, GBRMPA, 2017, Townsville. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11017/3162> Acesso em: 25 maio. 2021.
- HAAS, A.; FAIROZ, M.; KELLY, L. ET AL. Global microbialization of coral reefs. **Nat. Microbiol.** v.1, n.6, p.1-7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.42>. Acesso em: 18 out. 2021.
- HIXON, M.A. 60 years of coral reef fish ecology: past, presente, future. **Bull. Mar. Sci.**, v.87, n.4, p.727-765, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5343/bms.2010.1055>. Acesso em: 18 out. 2021.
- HOEGH-GULDBERG, O.; MUMBY, P.J. ET AL. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **Science**, v. 318, n. 5857, p.1737-1742, 2007. Disponível em: [10.1126/science.1152509](http://dx.doi.org/10.1126/science.1152509). Acesso em: 18 out. 2021.
- HOOLBROOK, S.J. & SCHIMITT, R.J. Competition for shelter space causes density-dependent predation mortality in damselfishes. **Ecology**, v.82, n.10, p.2855-2868, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2855:CFSSCD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2855:CFSSCD]2.0.CO;2). Acesso em: 18 out. 2021.
- HUGHES, T.P.; RODRIGUES, M.J. ET AL. Phase Shifts, Herbivory, And The Resilience Of Coral Reefs To Climate Change. **Curr. Biol.**, v. 17, n. 4, p.360-365, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.12.049>. Acesso em: 18 out. 2021.
- HUGHES, T.P.; GRAHAM, N.A.J.; JACKSON, J.B.C.; MUMBY, P.J. & STENECK, R.S. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. **Trends Ecol Evol**, v. 25, n. 11, p. 633-642, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.011>. Acesso em: 18 out. 2021.
- ILARRI, M.I.; SOUZA, A.T.; MEDEIROS, P.R.; GREMPPEL, R.G. & ROSA, I.M.L. Effects Of Tourist Visitation And Supplementary Feeding On Fish Assemblage Composition On A Tropical Reef In The Southwestern Atlantic. **Neotrop. Ichthyol**, v.6, n.4, p.651-656,

2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000400014>. Acesso em: 18 out. 2021.

KELSCH, S.W. & NEIL, W.H. Temperature preference versus acclimation in fishes: selection for changing metabolic optima. **Trans. Am. Fish. Soc.**, v.119, n.4, p.601-610, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0601:TPVAIF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0601:TPVAIF>2.3.CO;2). Acesso em: 18 out. 2021.

LETOURNEUR, Y. Spatial and Temporal Variability in Territoriality of a Tropical Benthic Damselfish on a Coral Reef (Réunion Island). **Environ. Biol. Fishes**, v.57, n.4, p.377–391, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1007658830339>. Acesso em: 18 out. 2021.

LIU, SY.V.; HO, HC.H. & DAI, CF. A new species of Pomacentrus (Actinopterygii: Pomacentridae) from Micronesia, with comments on its phylogenetic relationships. **Zool. Stud.**, v. 52, n. 1, p.1-8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1810-522X-52-6>. Acesso em: 18 out. 2021.

QUENOUILLE, B.; BERMINGHAM, E. & PLANES S. Molecular systematics of the damselfishes (Teleostei: Pomacentridae): Bayesian phylogenetic analyses of mitochondrial and nuclear DNA sequences. **Mol. Phylogenet. Evol.**, v. 31, n.1, p.66-88, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1055-7903\(03\)00278-1](https://doi.org/10.1016/S1055-7903(03)00278-1). Acesso em: 18 out. 2021.

MAGEL, J. M.T.; DIMOFF, S.A.; BAUM, J.K. Direct and indirect effects of climate change-amplified pulse heat stress events on coral reef fish communities. **Ecol. Appl.**, v. 30, n. 6, p. e02124, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eap.2124>. Acesso em: 18 out. 2021.

MAGRIS, R.A.; GRECH, A. & PRESSEY, R.L. Cumulative human impacts on coral reefs: Assessing risk and management implications for Brazilian coral reefs. **Diversity**, v. 10, n. 2, p.26, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d10020026>. Acesso em: 18 out. 2021.

MATIS, P.A.; DONELSON, J.M.; BUSH, S.; FOX, R.J. & BOOTH, D.J. Temperature influences habitat preference of coral reef fishes: Will generalists become more specialised in a warming ocean? **Glob. Chang. Biol.**, v.24, n.7, p.3158-3169, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14166>. Acesso em: 18 out. 2021.

MCCAFFERTY S.; BERMINGHAM E.; QUENOUILLE B.; PLANES S.; HOELZER G. & ASOH K. Historical biogeography and molecular systematics of the Indo-Pacific genus *Dascyllus* (Teleostei: Pomacentridae). **Mol. Ecol.**, v.11, n.8, p.1377-92, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01533.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

MCCORMICK, M.I.; MOORE, J.A.Y. & MUNDAY, P.L. Influence of habitat degradation on fish replenishment. **Coral Reefs**, v. 29, n. 3, p.537-546, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0620-7>. Acesso em: 18 out. 2021.

MCCORMICK, M.I. & LÖNNSTEDT, O.M. Degrading habitats and the effect of topographic complexity on risk assessment. **Ecol. Evol.**, v.3, n.12, p.4221-4229, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.793>. Acesso em: 18 out. 2021.

MEDEIROS, P.R.; SOUZA, A.T. & ILARRI, M.I. Habitat use and behavioural ecology of the juveniles of two sympatric damselfishes (Actinopterygii: Pomacentridae) in the south-western

Atlantic Ocean. **Fish Biol**, v. 77, n. 7, p.1599-1615, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02795.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

MOLINA, W.F. & GALETTI, P.M. Karyotypic changes associated to the dispersive potential on Pomacentridae (Pisces, Perciformes). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol**, v.309, n.1, p.109-119, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.03.011>. Acesso em: 18 out. 2021.

MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M. ET AL. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Syst Ver**, v.4, p.1, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>. Acesso em: 18 out. 2021.

MUNDAY, P.L.; DIXSON, D.L.; MCCORMICK, M.I.; MEEKAN, M.; FERRARI, M.C.O. & CHIVERS, D.P. Replenishment of fish populations is threatened by ocean acidification. **Proc Natl Acad Sci**, v.107, n. 29, p.12930-12934, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1004519107>. Acesso em: 18 out. 2021.

MUNDAY, P.L.; GAGLIANO, M.; DONELSON, J.M.; DIXSON, D.L. & THORROLD, S.R. Ocean acidification does not affect the early life history development of a tropical marine fish. **Mar Ecol-Prog Ser**, v. 423, p.211-221, 2011. Disponível em: https://researchonline.jcu.edu.au/18830/1/Ocean_acidification_does_not_affect.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

MUNDAY, P.L.; MCCORMICK, M.I. ET AL. Selective mortality associated with variation in CO₂ tolerance in a marine fish. **Ocean Acidification**, v. 1, n.1, p.1-5, 2012. Disponível em: 10.2478/oac-2012-0001. Acesso em: 18 out. 2021.

MUNDAY, P.L.; PRATCHETT, M.S.; ET AL. Elevated CO₂ affects the behavior of an ecologically and economically important coral reef fish. **Mar Biol**, v.160, n.8, p.2137-2144, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00227-012-2111-6>. Acesso em: 18 out. 2021.

NAKAMURA, Y.; FEARY, D.A.; KANDA, M. & YAMAOKA, K. Tropical fishes dominate temperate reef fish communities within Western Japan. **PloS ONE**, v.8, n.12, p. e81107, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081107>. Acesso em: 18 out. 2021

POLOCZANSKA, E.S. ET AL. Global imprint of climate change on marine life. **Nature Climate Change**, v. 3, n.10, p. 919-925, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate1958>. Acesso em: 18 out. 2021

PRATCHETT, M.S.; COKER, D.J.; JONES, G.P. & MUNDAY, P.L. Specialization in habitat use by coral reef damselfishes and their susceptibility to habitat loss. **Ecol Evol**, v.2, n.9, p.2168-2180, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.321>. Acesso em: 18 out. 2021.

PURKIS, S.J. & RIEGL, B. Spatial and temporal dynamics of Arabian Gulf coral assemblages quantified from remote-sensing and in situ monitoring data. **Mar. Ecol. Prog. Ser**, v. 287, p., 99-113, 2005. Disponível em: 10.3354/meps287099. Acesso em: 18 out. 2021.

RANDALL, J.E. Overgrazing of algae by herbivorous marine fishes. **Ecology**, v.42, p.812, 1961. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1933510>. Acesso em: 18 out. 2021.

ROBERTSON, D.R. & LASSIG, B. Spatial distribution patterns and coexistence of a group of territorial damselfishes from the Great Barrier Reef. **Bull. Mar.Sci.** v.30, n.1, p.187-203, 1980. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1980/00000030/a00101s1/art00005>. Acesso em: 18 out. 2021.

RODGERS, G.G.; DONELSON, J.M. & MUNDAY, P.L. Thermosensitive period of sex determination in the coral-reef damselfish *Acanthochromis polyacanthus* and the implications of projected ocean warming. **Coral Reefs**, v.36, n.1, p.131-138, 2017. Disponível em: 10.1007/s00338-016-1496-y. Acesso em: 18 out. 2021.

SAENZ-AGUDELO, P.; JONES, G.P.; THORROLD, S.R. ET AL. Detrimental effects of host anemone bleaching on anemonefish populations. **Coral Reefs**, v.30, n.2, p. 497-506, 2011. Disponível em: 10.1007/s00338-010-0716-0. Acesso em: 18 out. 2021.

SALE, P.F.; DOHERTY, P.J. & DOUGLAS, W. A. Juvenile recruitment strategies and the coexistence of territorial pomacentrid fishes. **Bull. Mar. Sci.** v.30, n.1, p.147-158, 1980. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1980/00000030/a00101s1/art00002>. Acesso em: 18 out. 2021.

SCHEFFERS, B.R. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v. 354, n. 6313, 2016. Disponível em: 10.1126/science.aaf7671. Acesso em: 18 out. 2021.

SCHWAMBORN, S.H.L. & FERREIRA, B.P. Age structure and growth of the dusk damselfish, *Stegastes fuscus*, from Tamandare reefs, Pernambuco, Brazil. **Enviro Biol Fishes**, v.6, n.1, p.79-88, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013851532298>. Acesso em: 18 out. 2021.

SCOTT, A. & DIXSON, D.L. Reef fishes can recognize bleached habitat during settlement: sea anemone bleaching alters anemonefish host selection. **Proc Biol Sci**, v.283, n.1831, p. 20152694, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.2694>. Acesso em: 18 out. 2021.

SORENSEN, L.; ALLEN, G.R.; ERDMANN, M.V. ET AL. Pleistocene diversification of the *Pomacentrus coelestis* species complex (Pisces: Pomacentridae): historical biogeography and species boundaries. **Mar Biol**, v.161, n.11, p. 2495-2507, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2521-8>. Acesso em: 18 out. 2021.

SOUZA, A.T.; ILLARI, M.I.; MEDEIROS, P.R.; SAMPAIO, C.L.S.; FLOETER, S.R. Unusual colour patterns of territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) in the South-western Atlantic. **Mar. Biodivers. Rec.**, v.4, n.105, p.1-5, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1755267211001035>. Acesso em: 18 out. 2021.

SPALDING, M.D.; RAVILIOUS, C. & GREEN, E.P. **World atlas of coral reefs**. UNEP World Conservation Monitoring Center, 178 p., Univ of California Press, USA, 2001. Disponível em: <https://www.unep-wcmc.org/resources-and-data/world-atlas-of-coral-reefs-2001>. Acesso em: 18 out. 2021.

SUNDIN, J.; AMCOFF, M.; MATEOS-GONZÁLEZ, F.; RABY, G.D.; JUTFELT, F. & CLARK, T.D. Long-term exposure to elevated carbon dioxide does not alter activity levels of

a coral reef fish in response to predator chemical cues. **Behav Ecol Sociobiol**, v.71, n.8, p.108, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00265-017-2337-x>. Acesso em: 18 out. 2021.

SUNDIN, J.; AMCOFF, M.; MATEOS-GONZÁLEZ, F.; RABY, G.D. & CLARK, T.D. Long-term acclimation to near-future ocean acidification has negligible effects on energetic attributes in a juvenile coral reef fish. **Oecologia**, v.190, n.3, p.689-702, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04430-z>. Acesso em: 18 out. 2021.

SZMANT, A.M. Introduction to the special issue of Coral Reefs on “Coral reef algal community dynamics”. **Coral Reefs**, v.19, n.4, p.,299-302, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s003380000130>. Acesso em: 18 out. 2021.

TANG, K.L. Phylogenetic Relationships among Damselfishes (Teleostei: Pomacentridae) as Determined by Mitochondrial DNA Data. **Copeia**, v. 2001, n. 3, p.591-601, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2001\)001\[0591:PRADTP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2001)001[0591:PRADTP]2.0.CO;2). Acesso em: 18 out. 2021.

THIESSEN, R.J. & HEATH, D.D. Characterization of one trinucleotide and six dinucleotide microsatellite markers in bicolor damselfish, *Stegastes partitus*, a common coral reef fish. **Conserv Genet**, v. 8, n. 4, p. 983-985, 2007. Disponível em: [10.1007/s10592-006-9207-9](https://doi.org/10.1007/s10592-006-9207-9). Acesso em: 18 out. 2021.

THRESHER, R.E. **Reproduction in reef fishes**. THF Publications, New Jersey, 1984. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015042842>. Acesso em: 18 out. 2021.

TRESGUERRES, M. & HAMILTON, T.J. Acid–base physiology, neurobiology and behaviour in relation to CO₂-induced ocean acidification. **J Exp Biol**, v. 220, n. 12, p.2136-2148, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1242/jeb.144113>. Acesso em: 18 out. 2021.

WALDNER, R.E. & ROBERTSON, D.R. Patterns of habitat partitioning by eight species of territorial Caribbean damselfishes (Pisces: Pomacentridae). **Bull. Mar. Sci**, v. 30, n.1, p.171-186, 1980. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1980/00000030/a00101s1/art00004>. Acesso em: 18 out. 2021.

WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world: 2008**. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, 296p., Townsville, 2008.

WISMER, S.; TEBBETT, S.B.; STREIT, R.P. & BELLWOOD, D.R. Young fishes persist despite coral loss on the Great Barrier Reef. **Commun. Biol**, v.2, n.1, p.,1-7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0703-0>. Acesso em: 18 out. 2021.

WRIGHT, L.I.; STOKES, K.L.; FULLER, W.J.; GODLEY, B.J.; MCGOWAN, A.; SNAPE, R.; TREGENZA, T. & BRODERICK, A.C. Turtle mating patterns buffer against disruptive effects of climate change. **Proc R Soc Lond B Biol Sci**, v. 279, n. 1736, p., 2122-2127, 2012. doi:10.1098/rspb.2011.2285. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2285>. Acesso em: 18 out. 2021.

3 DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DA ESPÉCIE MICROSPATHODON CHRYSURUS E SUA RELAÇÃO COM O CORAL MILLEPORA ALCICORNIS NO COMPLEXO RECIFAL DE TAMANDARÉ

RESUMO:

A espécie *Microspathodon chrysurus*, pertencente à família Pomacentridae, possui uma estreita associação com o coral *Millepora alcicornis*. Poucos estudos foram voltados para a espécie *M. chrysurus*, especialmente no Brasil, onde a mesma sofreu com a coleta aquarista. e, hoje, vem sofrendo com impactos das mudanças climáticas, que ocasionam branqueamento e mortalidade do seu habitat, o coral *M. alcicornis*. O objetivo do estudo foi investigar a relação da espécie com o coral *M. alcicornis* avaliando a influência de impactos antrópicos nas colônias de ocorrência da espécie. Além de, mapear a distribuição e abundância pretérita e atual do *M. chrysurus* em Tamandaré, verificando as variáveis ambientais que influenciam para ocorrência da mesma. Para isso realizamos mergulhos livres com a técnica de busca intensiva. Quando um indivíduo era encontrado anotávamos informações corporais e o local que se encontravam no recife. Realizamos o mapeamento com dados de localização desde 1995 até 2021. E, utilizamos o software MaxEnt para verificar quais variáveis ambientais estão relacionadas com a distribuição da espécie. A distribuição do *M. chrysurus* esteve altamente associada à distribuição de *M. alcicornis* e, á variáveis ambientais como distância da costa e batimetria. Durante as atividades *in situ* observamos que a dependência pelo hidrocoral é inversamente proporcional ao tamanho do indivíduo e que maiores colônias de *M. alcicornis* proporcionam maiores abundâncias de *M. chrysurus*. O mapeamento mostrou a fidelidade territorial e a influência de impactos passados, como o El Niño em 1998, que levou a redução na cobertura de *Milleporas* ao sul da região de estudo, causando a redução na abundância de *M. chrysurus*. No entanto, a abundância da espécie aumentou ao longo dos anos, uma tendência relacionada à proibição da coleta de peixes ornamentais, enfatizando a importância de medidas regulatórias efetivas na recuperação de populações marinhas.

Palavra-chave: Associação ecológica, Mudanças climáticas, Paramentos populacionais, Recifes de coral

ABSTRACT

The species *Microspathodon chrysurus*, belonging to the Pomacentridae family, has a close association with the *Millepora alcicornis* coral. Few studies have been focused on the species *M. chrysurus*, especially in Brazil, where it suffered from aquarist collection and, today, it has been suffering from the impacts of climate change, which cause bleaching and mortality of its habitat, the coral *M. alcicornis*. The aim of the study was to investigate the relationship of the species with the coral *M. alcicornis*, evaluating the influence of anthropogenic impacts on colonies where the species occurs. In addition to mapping the distribution and past and current abundance of the species *M. chrysurus* in Tamandaré, verifying the environmental variables that influence its occurrence. For this we perform free dives with the intensive search technique. When an individual was found, we wrote down bodily information and the location on the reef. We carried out the mapping with location data from 1995 to 2021. And, we used the MaxEnt software to verify which environmental variables are related to the species distribution. The distribution of *M. chrysurus* was highly associated with the distribution of *M. alcicornis* and with environmental variables such as distance from the coast and bathymetry. During in situ activities, we observed that the dependence on the hydrocoral is inversely proportional to the size of the individual and that larger colonies of *M. alcicornis* provide greater abundances of *M. chrysurus*. The mapping showed the territorial fidelity and influence of past impacts, such as the El Niño in 1998, which led to a reduction in the cover of Milleporas south of the study region, causing a reduction in the abundance of *M. chrysurus*. However, the abundance of the species has increased over the years, a trend related to the prohibition of collecting ornamental fish, emphasizing the importance of effective regulatory measures in the recovery of marine populations.

Keyword: Ecological association, Climate changes, Population parameters, Coral reefs

3.1 Introdução

Uma das famílias de peixe mais características dos ambientes recifais é a família Pomacentridae (Choat, 1991), conhecida popularmente como peixe-donzela. A família é considerada espécie-chave nas comunidades recifais (Hixon & Brostoff, 1996), pois atua na estrutura de toda comunidade através de processos como herbivoria, competição e territorialidade (Ferreira et al., 1995), controlando, assim, a abundância e a distribuição das algas (Szmant, 2001; Hughes et al., 2007) e de outros peixes herbívoros (Schwamborn & Ferreira, 2002). A característica agressiva com que defendem seus territórios é considerada uma das mais importantes da família (Ogden & Lobel, 1978). Este comportamento agonístico está associado ao tamanho de seus territórios e a quantidade de algas dentro dos mesmos (Jan et al. 2003), uma vez que esses indivíduos cultivam algas em seus territórios retirando aquelas espécies mais indesejadas (Ferreira, 1995), expulsam outros herbívoros intrusos como Acanthurideos e Scarídeos (Sammarco et al. 1987).

Incluído na família Pomacentridae, o *Microspathodon chrysurus* (Cuvier & Valenciennes, 1830), conhecido popularmente como Fluorescente, é uma espécie cuja distribuição é restrita ao oeste do oceano atlântico (Choat, 1991), indo desde a Flórida, onde é muito abundante (Robertson, 1984) até o nordeste brasileiro (Ferreira, 2004). O *M. chrysurus* é considerado um dos maiores peixes-donzela em tamanho e mais agressivos nos recifes (Robertson 1984). Assim, os mesmos se aproveitam dessas características para ocupar grandes territórios e realizar movimentos de longa distância para reprodução ou atividades de alimentação (Sikkel & Kramer, 2006). A agressividade da espécie é tanta, que em períodos reprodutivos os machos induzem os ouriços a se afastar para longe do local de ninho, quebrando as pontas de seus espinhos (Pressley, 1980).

A espécie *M. chrysurus* mantém uma estreita associação com a espécie de coral *Millepora alcicornis* (Berumen & Rotjan, 2010; Pereira, 2012), podendo, essa associação variar desde alimentação do próprio tecido do coral (Ciardelli, 1967; Berumen & Rotjan, 2010; Pereira et al., 2012) até a utilização do mesmo como abrigo e proteção (Munday et al., 1997; Gibran et al., 2004). No Brasil o gênero de coral *Millepora* o único coral com forma galhada, e portanto com sistemas estruturalmente mais complexos formando abrigos (Leal, 2013). Essa complexidade aumenta, consequentemente, a diversidade de peixes e invertebrados (Garcia et al., 2008; Johnson et al., 2011; Pereira et al., 2012).

Poucos foram os trabalhos realizados sobre a biologia e ecologia do *M. chrysurus*, com a maioria sendo em regiões do Atlântico Central. No Brasil, são encontrados apenas os estudos de D'amico (2002), Leal (2013) e Pereira (2012). Além disso, o *M. chrysurus* sofreu com a coleta de juvenis para o aquarismo, ao longo de vários anos, diminuindo grandemente sua abundância nos recifes costeiros do Nordeste brasileiro (Ferreira et al., 2005). A partir de 1997 com a criação da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, foi proibida a coleta de peixes ornamentais em toda sua extensão (Ferreira et al., 2001), medida que passou a proteger a espécie. Além disso, foi criado em 1999 a primeira zona de preservação da vida marinha (ZPVM) em Tamandare, aonde todas as atividades extrativas são proibidas. No entanto, como em toda zona costeira, os recifes locais ainda sofrem processos de degradação constante com a crescente população costeira, o turismo, a poluição, a sobrepesca e impactos climáticos globais (Maida & Ferreira, 2003).

De fato, as mudanças climáticas se configuram atualmente como uma das maiores ameaças aos recifes de coral. Ano após ano há um aumento na intensidade e frequência de eventos anômalos (Dunn, 2020) e os eventos de branqueamento e mortalidade de corais se tornam mais comuns (Hughes et al., 2018). Só nas últimas 4 décadas os eventos de branqueamento severo quintuplicaram (Hughes et al., 2018). No Brasil pelo menos 40% dos recifes se encontram ameaçados por pressões antrópicas (Magris et al., 2018). Essa perda global de corais causa efeitos diretos em toda sua fauna associada, podendo acarretar desde diminuição da abundância até extinção de algumas espécies e, consequentemente, diminuição da diversidade de espécies recifais (Purkis & Riegl, 2005; Baker et al., 2008; Bradbury, 2008).

Em razão da estreita associação que a espécie *M. chrysurus* mantém com a *M. alcicornis*, os sucessivos eventos de branqueamento podem ocasionar efeitos diretos na abundância populacional do *M. chrysurus*. A espécie de coral *Millepora alcicornis* é extremamente suscetível a eventos de branqueamento (Banaszak et al. 2003), sendo, geralmente, os primeiros corais a apresentarem esses sintomas (Cook et al. 1990, Glynn 1993) com elevadas mortalidades registradas em eventos extremos.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi investigar a relação da espécie com o coral *M. alcicornis* ao longo de sua ontogenia e mapear os padrões de distribuição e abundância no complexo recifal de Tamandaré, face as medidas de manejo implementadas, analisando para isso tendências temporais a partir de observações históricas. Variáveis ambientais que podem influenciar a presença da espécie foram utilizadas para construir um Modelo de Distribuição (SDM), evidenciando locais de provável ocorrência de *M. chrysurus* na região.

3.2 Materiais e métodos:

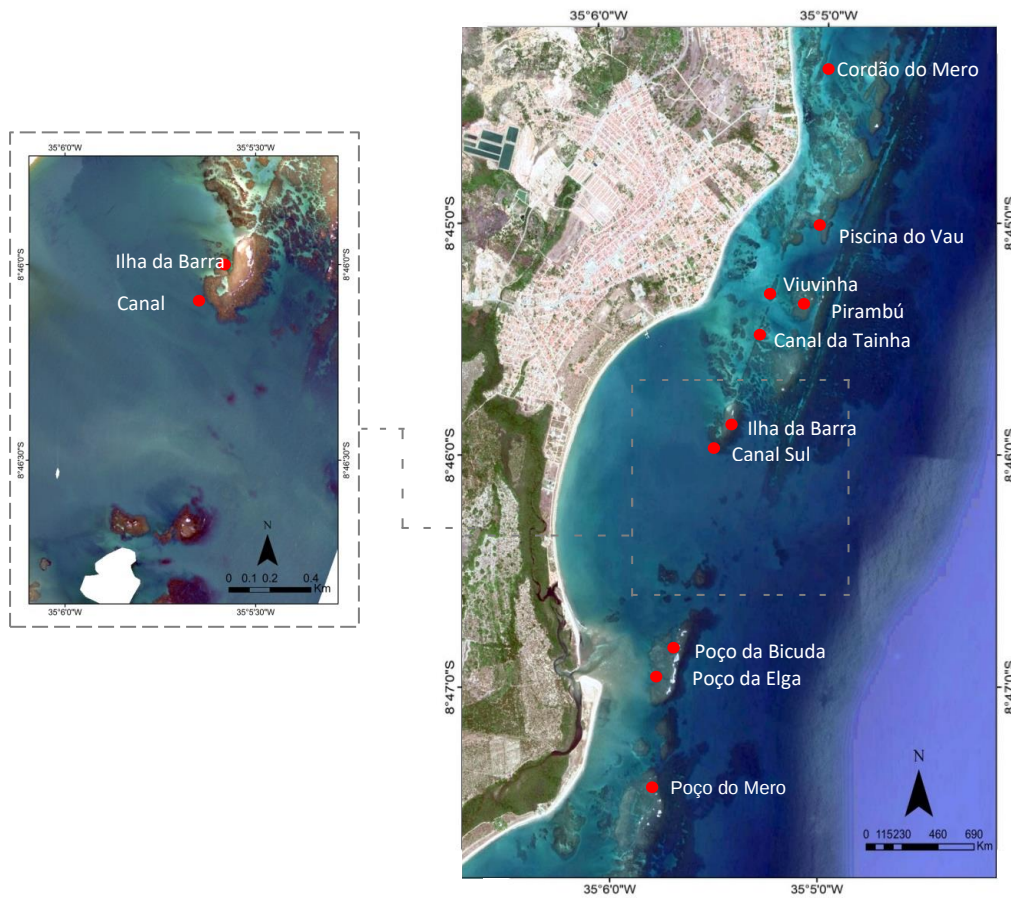
3.2.1 Área de estudo:

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais, uma unidade de conservação de uso sustentável que busca conciliar a conservação da área com usos diretos e indiretos dos recursos naturais. O estudo foi concentrado, mais precisamente, no município Tamandaré, Pernambuco (Figura 1) que engloba uma área de aproximadamente 9 km de costa e possui grandes colônias de corais de fogo, *Millepora alcicornis* e *M. braziliensis* (Ferreira & Maida, 2006), com quem a espécie *M. chrysurus* possui uma associação estreita (D'amico 2002; Pereira, 2012).

O estudo foi realizado em 10 áreas recifais, sendo duas dessas áreas, Ilha da Barra e Canal Sul, localizadas dentro da área de recuperação recifal onde são proibidos, desde 1999, atividades náuticas, pesqueiras e turísticas, sendo permitido apenas estudos e monitoramento científico. As outras oito áreas estão inseridas na área recifal aberta à essas atividades.

Dados históricos, disponíveis através de censos realizados desde 1995 pelo Projeto Recifes Costeiros/Peld-Tams e desde 2003 pelo Reef Check Brasil, foram incluídos, trazendo informações sobre a ocorrência de *M. Chrysurus* em 8 destes sítios. Apenas no Canal da Tainha e na Viuvinha não havia registros históricos.

Figura 1: Área de estudo nos recifes de coral de Tamandaré e a localização da área fechada. A área está localizada dentro dos limites da APA Costa dos Corais



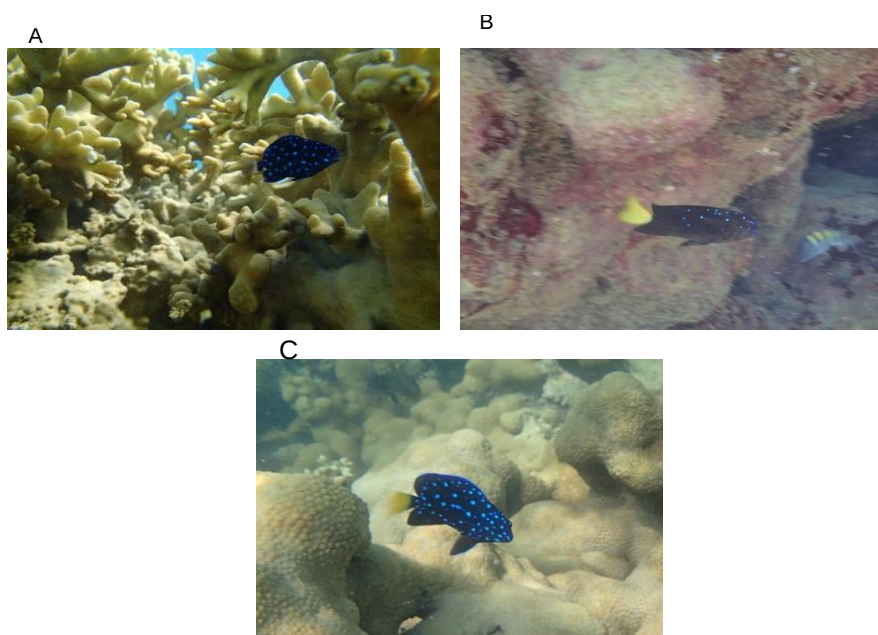
Fonte: A autora (2021)

3.2.2 Desenho amostral

Realizamos o levantamento de ocorrência do *M. chrysurus* nos pontos indicados em dois períodos: janeiro a março de 2020 e novembro de 2020 a janeiro de 2021. A metodologia utilizada foi a de mergulhos livres devido a sua baixa interferência ambiental (Bortone *et al.*, 1989). Em cada área recifal visitada realizamos uma busca intensiva pela espécie, com auxílio de um GPS, uma câmera fotográfica, uma prancheta e um relógio. Sempre que um indivíduo era encontrado, utilizamos a técnica de animal focal (Altmann, 1974). Essa técnica consiste em observações dos indivíduos durante um tempo determinado, anotando-se seu comportamento durante o momento da observação. Aqui os indivíduos eram observados sempre em torno de 5 minutos e concomitantemente, anotávamos na prancheta seu comportamento na hora da observação, seu tamanho, suas cores corporais e fase de vida e

o local em que o mesmo se encontrava no recife. Esse último foi dividido em (A) *Millepora*, quando os indivíduos estavam dentro das ramificações do coral *Millepora alcicornis*; (B) Caverna, quando os indivíduos eram vistos entrando e/ou saindo de cavernas; e (C) Nadando, aqueles que não estavam nem nas ramificações da *Millepora*, nem foram vistos entrando/saindo de cavernas (Figura 2).

Figura 2: Indivíduos da espécie *Microspathodon chrysurus* (A) dentro das ramificações da *Millepora alcicornis*; (B) entrando em cavernas e (C) nadando pelos recifes

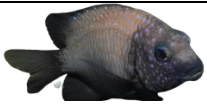


Fonte: A autora (2021)

A fase de vida de cada indivíduo (Tabela 1) foi detectada através das cores corporais dos mesmos e, foi dividida em três categorias:

Tabela 1: Diferença nas cores corporais entre as fases de vida da espécie *Microspathodon chrysurus*

	FASES	CARACTERÍSTICAS
	Juvenil	Coloração corporal azul-violeta escuro com pintas azul-claro em todo o corpo. Nadadeira caudal transparente
	Intermediário	Mesma coloração corporal da categoria anterior com nadadeira caudal amarela
	Adulto	Coloração corporal marrom escuro com pintas azul-claro fluorescente apenas na região superior do corpo. Nadadeira caudal amarela Ou coloração corporal preta também com pintas azul-claro

		fluorescente na região da cabeça.
---	--	-----------------------------------

Fonte: A autora (2021)

Ainda, observamos o tamanho em diâmetro das colônias de *M. alcicornis* das áreas visitadas e a quantidade de indivíduos de *M. chrysurus* estavam dentro das suas ramificações e/ou por perto das mesmas (mantinham território). As colônias eram medidas através de um artefato denominado “rodinho”. O mesmo é composto por um cano de PVC onde constitui uma régua na sua base e no seu topo possui um local para câmera fotográfica. Através dessa régua na base do “rodinho” sabíamos o diâmetro das colônias.

Sempre que um indivíduo era encontrado, tirava-se uma foto do mesmo e/ou anotava-se o horário do relógio na prancheta. Através do horário da foto/relógio comparado com o horário dos pontos do GPS foi possível saber as coordenadas dos indivíduos no momento do registro. Essa etapa foi importante para realizar o mapeamento atual da espécie *M. chrysurus*.

3.2.3 Análise de dados

No programa Past 4.0 realizamos uma análise de regressão linear simples para entendermos a relação da abundância da espécie *M. chrysurus* com o tamanho das colônias do coral *Millepora alcicornis*.

Analizamos, por frequência de ocorrência simples, a distribuição e habitat preferencial dos indivíduos nas suas fases de vida, usando tamanho e padrões de coloração como referência.

Para realizar o mapeamento da espécie, utilizamos o programa ArcMap 10.4. As coordenadas de cada indivíduo, adquiridas através dos mergulhos livres com GPS, foram utilizadas para revelar a distribuição atual do *M. chrysurus*. Os dados desde o ano 1995, disponibilizados pelo Projeto Recifes Costeiros e Reef Check, também foram mapeados, a fim de observar a fidelidade com os sítios. Os registros foram divididos em períodos de 5 anos devido a irregularidade dos censos. Para sítios com mais de uma visita durante o período, utilizamos o dado referente ao ano onde a maior quantidade de indivíduos pôde ser observada.

A fim de identificar as variáveis ambientais que influenciam na presença do *M. chrysurus* utilizamos a ferramenta de Modelo de Distribuição de Espécies (SDM) que fornece informações sobre as interações de variáveis ambientais e espécies-alvo, assim, indica o quão

adequado um determinado local é para a presença de uma determinada espécie (Elith *et al.*, 2011). A ferramenta de SDM aqui utilizada foi o MaxEnt (Philips, Dudík e Schapire, 2017; versão 3.4.1), que prediz onde é mais provável que uma espécie ocorra, através de dois conjuntos de dados. O primeiro conjunto de dados são os pontos de ocorrência da espécie e o segundo são dados topográficos, físicos e/ou biológicos do ambiente. Com base nas semelhanças entre os pixels de presença da espécie-alvo com os pixels de outras áreas, o programa gera um mapa de ‘adequabilidade ambiental’ indicando quais os locais mais adequados para a ocorrência da espécie-alvo. Além disso, o software MaxEnt também disponibiliza um teste de jackknife indicando quais variáveis ambientais influenciam para ocorrência da espécie-alvo e, curvas de resposta individual, mostrando o papel de cada variável. Escolhemos esse software devido a sua boa capacidade de trabalhar apenas com dados de presença da espécie, mesmo em pequenos números (Philips e Dudík, 2008; Bridge *et al.*, 2012).

Neste trabalho, os pontos onde foram encontrados indivíduos da espécie *M. chrysurus* através da técnica de mergulhos livres, foram utilizados como dados de presença da espécie (primeiro conjunto de dados). Os dados topográficos e biológicos (segundo conjunto de dados) do complexo recifal de Tamandaré foram fornecidos e descritos por Da Silveira *et al.* (2021).

3.2.3.1 Variáveis ambientais

As variáveis biológicas foram a cobertura bentônica, a cobertura majoritária e a diversidade de habitats. As variáveis físicas e topográficas foram: Aspecto, Índice de Posição Batimétrica (BPI), rugosidade, inclinação, batimetria, distância da costa e turbidez.

A diversidade de habitat e as principais camadas de cobertura foram derivadas em três tamanhos de janela 30 x 30 m (900m²), 50 x 50 m (2500 m²) e 100 x 100 m (10.000 m²). Já as variáveis topográficas foram derivadas de resolução fina e média (2 e 30 m / pixel, respectivamente).

A cobertura majoritária foi utilizada para testar se a cobertura bentônica dominante nos recifes influencia na distribuição do *M. chrysurus* na área. O BPI compara a profundidade de cada pixel com a profundidade média da área circundante (Yamamoto *et al.*, 2012; Secomandi *et al.*, 2016). Ou seja, onde o pixel está em comparação com seus arredores. Os valores positivos do BPI refletem o quão raso é um pixel, em relação à média (ex. cristas de recifes). Ao contrário, os valores negativos do BPI refletem a profundidade de um pixel (ex.

canais, lagoas intra-recife). A rugosidade indica a complexidade estrutural da área. A inclinação indica a inclinação da borda recifal. A turbidez, derivada de uma imagem de satélite (Landsat 8), mostra o aumento do fluxo de sedimentos para a área. E a distância da costa é um fator que pode afetar a saúde do habitat, já que áreas mais próximas da costa geralmente sofrem mais impactos devido ao pisoteio, erosão costeira, poluição e danos relacionados ao turismo (Davenport e Davenport, 2006; Halpern et al., 2008; Selig et al. , 2014).

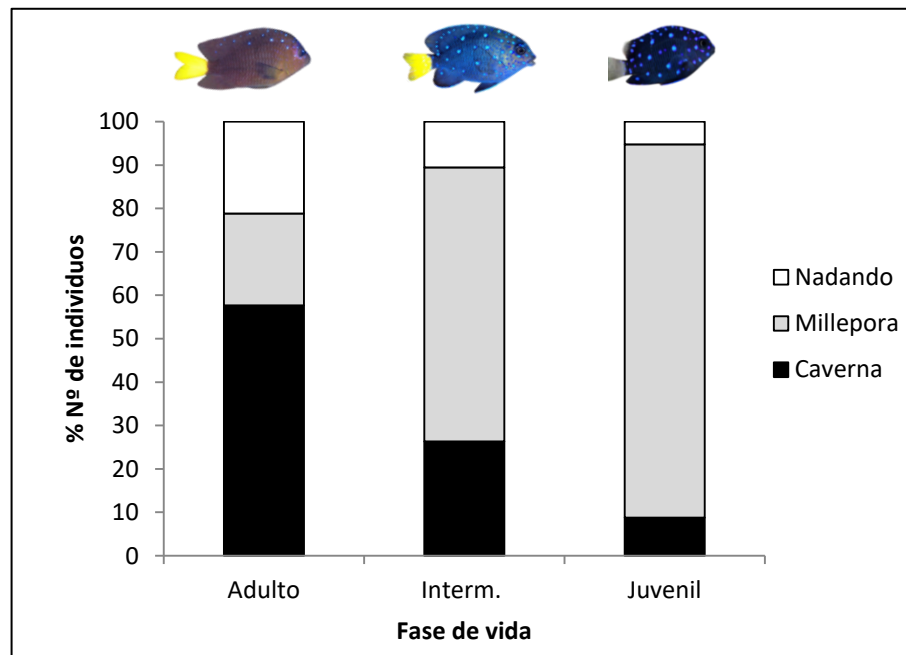
3.3 Resultados

Durante a realização dos censos subaquáticos contabilizamos 128 indivíduos da espécie *Microspathodon chrysurus*, os quais foram divididos, para essa etapa, em adultos (52), intermediários (19) e juvenis (57).

3.3.1 Fase de vida e preferência de habitat

Observamos que existem diferenças significativas entre os comprimentos dos indivíduos e o local que eles ocupam no recife (Figura 3). Os juvenis de *M. chrysurus* possuem uma preferência por estarem presentes nas ramificações da *M. alcicornis*, com quase nenhuma saída de dentro dessas ramificações. Os intermediários ainda possuem essa preferência por estarem dentro das ramificações da *M. alcicornis*, mas, os mesmos passam a sair com frequência, sendo assim, são vistos de forma mais recorrente entrando em cavernas e nadando pelos recifes. Por outro lado, os adultos possuem preferências por cavernas, assim como, possuem costume de nadar bastante pelos recifes. Portanto, a dependência da espécie *M. chrysurus* com a *M. alcicornis* é inversamente proporcional ao tamanho dos indivíduos. Ou seja, quanto menor o indivíduo de *M. chrysurus* maior é a sua necessidade de estar junto ao hidrocoral.

Figura 3: Preferência de habitat entre as fases de vida da espécie *M. chrysurus*. Onde os juvenis e intermediários possuem preferência por habitar os hidrocorais *M. alcicornis* e os adultos possuem preferência por habitar cavernas

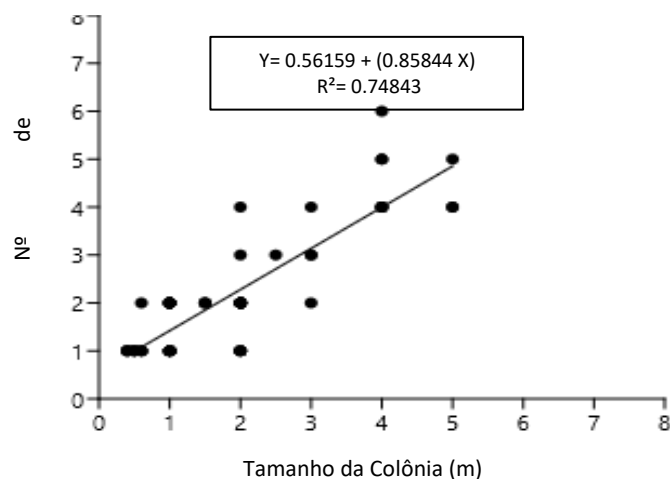


Fonte: A autora (2021)

3.3.2 Associação com as colônias do hidrocoral *Millepora alcicornis*

De 100 colônias de *Millepora alcicornis* que foram medidas/registradas, apenas 58 tinham presença de fluorescentes. Uma relação positiva entre o diâmetro da colônia de *Millepora alcicornis* e o número de indivíduos de *M. chrysurus* no local foi observada através de uma Regressão Linear Simples ($R^2 = 0.7484$) (Figura,4). Quanto maior o tamanho da colônia de Millepora, maior será o número de indivíduos de *M. chrysurus* encontrados nas áreas.

Figura 4: Resultado da regressão linear simples entre o tamanho da colônia de *M. alcicornis* com a abundância de *M. chrysurus* na área recifal



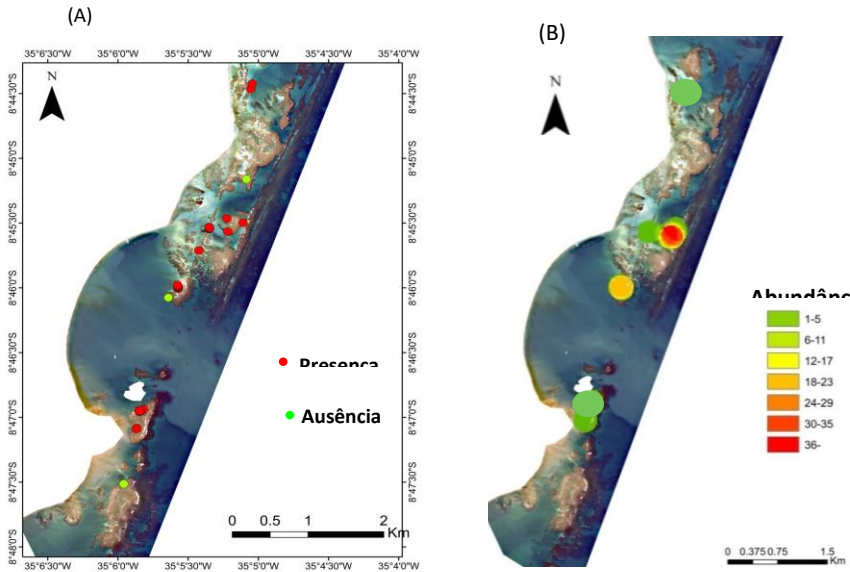
Regressão Linear Simples: Relação entre o tamanho da colônia de <i>M. alcicornis</i> com a abundância de <i>M. chrysurus</i>				
Slope a:	0.85844	Std. error a:	0.066508	
t:	12.907	p (slope):	2.018E-18	
Intercept b:	0.56159	Std. error b:	0.15353	
95% bootstrapped confidence intervals (N=1999):				
Slope a:	(0.71623, 0.98414)			
Intercept b:	(0.33869, 0.79789)			
Correlation:				
r:	0.86512			
r2:	0.74843			
t:	12.907			
p (uncorr.):	2.018E-18			
Permutation p:	0.0001			

Fonte: A autora (2021)

3.3.3 Distribuição e abundância

Realizando o mapeamento da espécie percebemos que a mesma se distribui ao longo de todo o complexo, desde o norte até o sul (Figura 5A), diferindo apenas na abundância entre as áreas (figura 5B). Considerando as dez áreas recifais visitadas, a espécie não foi encontrada em apenas 3 recifes, sendo eles: Piscina do Vau, Canal Sul e Poço do Mero de Mamucabas. Por outro lado, o Pirambú (área aberta) e a Ilha da Barra (área fechada) foram as áreas com maior abundância da espécie *M. chrysurus*. Assim como, também são as áreas que possuem as maiores colônias de *M. alcicornis*.

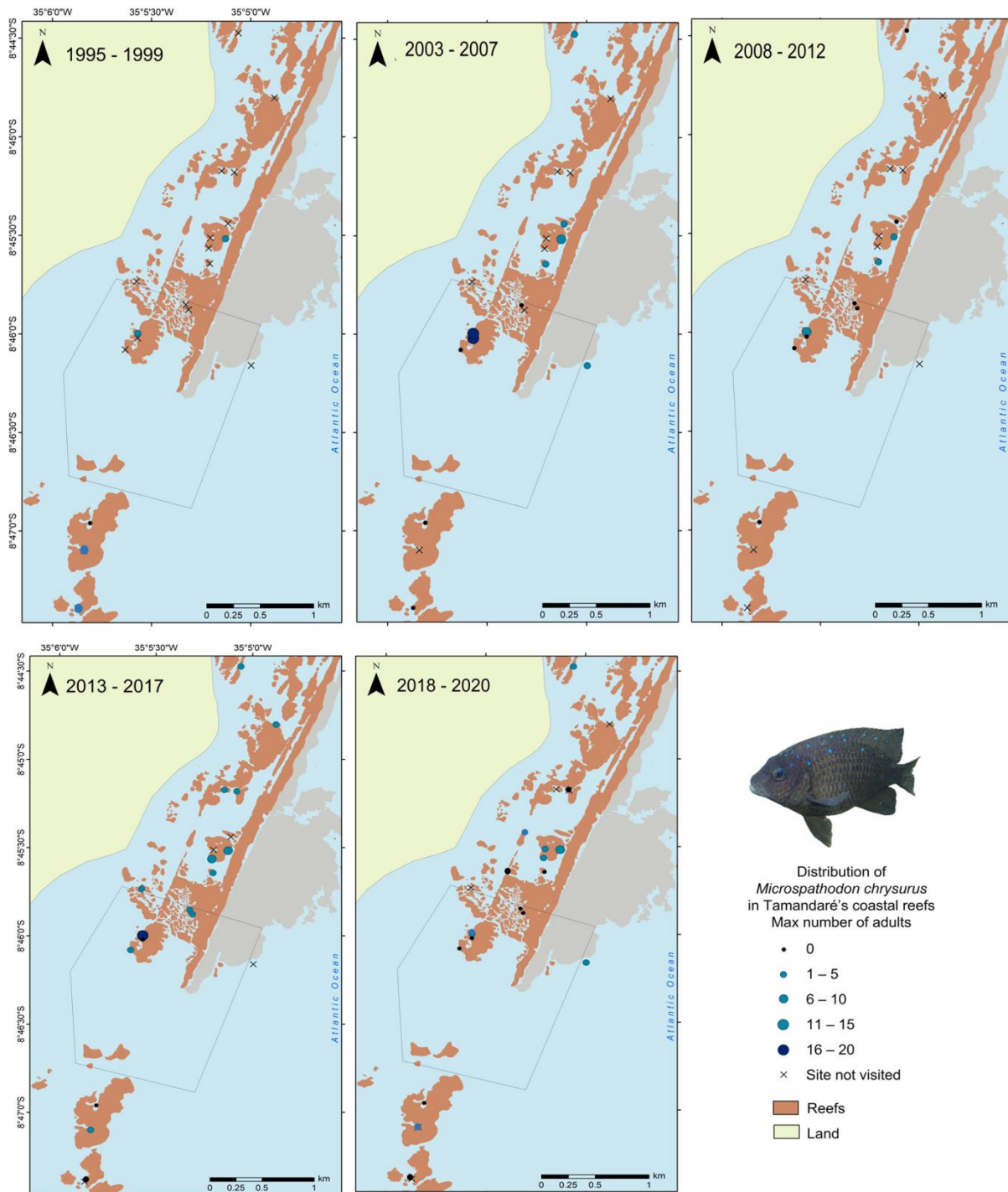
Figura 5: Mapeamento da espécie *M. chrysurus* no complexo recifal de Tamandaré (PE). (A) Mapa da distribuição da espécie. Onde os pontos em vermelho representam a presença e os pontos em verde à ausência da espécie (B) Mapa de Kernel nos recifes visitados. Onde a cor vermelha representa os locais com a presença da espécie e a cor verde represent a ausência da espécie.

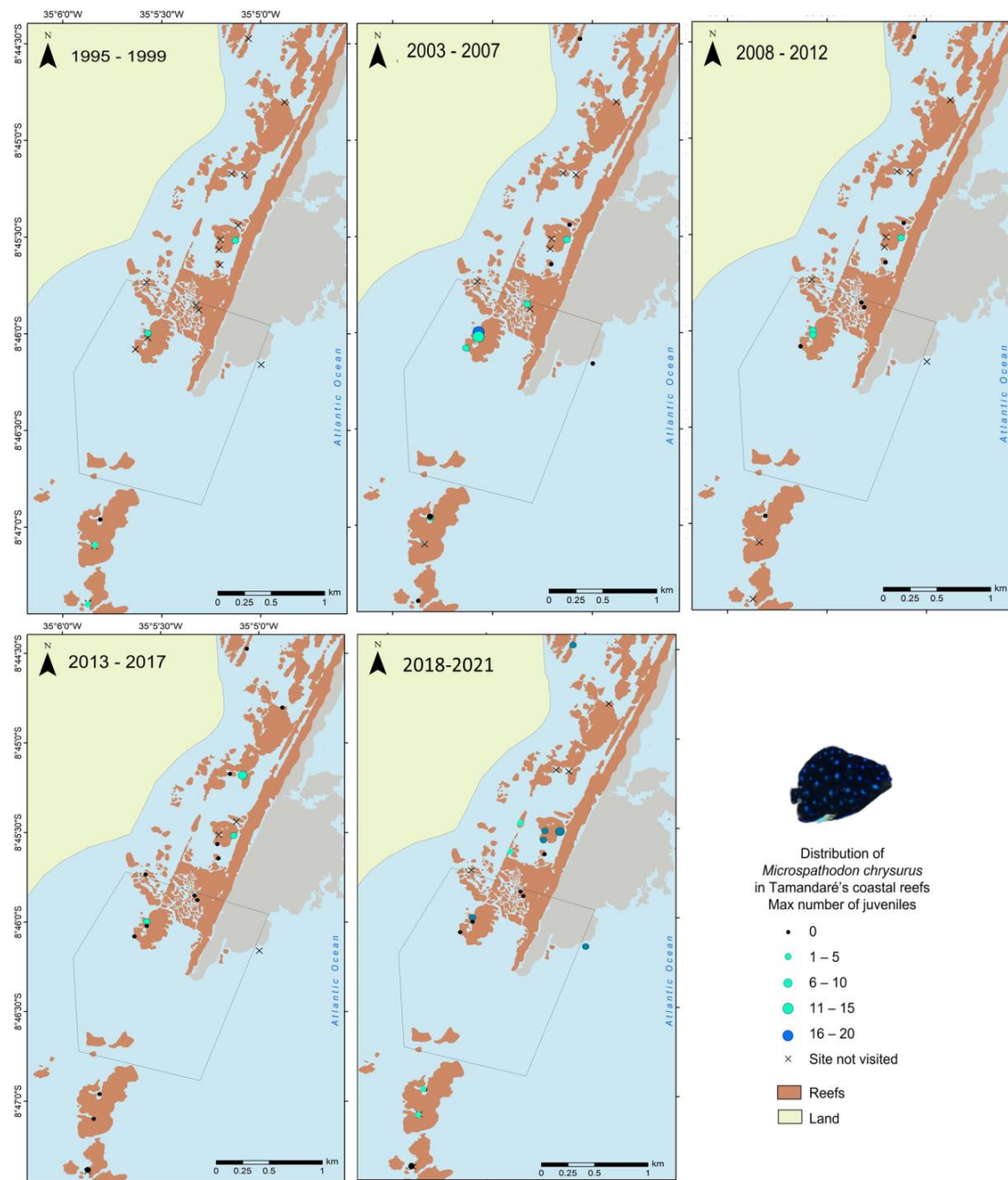


Fonte: A autora (2021)

Comparando as distribuições desde 1995 à 2021 foi denotada uma forte fidelidade espacial, pois a espécie foi encontrada na maioria dos sítios onde foi inicialmente registrada e até onde foi possível determinar, nas mesmas colônias. Áreas de maiores abundâncias também se mantiveram ao longo do tempo, especialmente os recifes da Ilha da Barra e Pirambu. Porém houve variações importantes, como a observada na área de Mamucabas. Os recifes desta área foram fortemente afetados pelo forte fenômeno El Niño que ocorreu em 1998, e que ocasionou a mortalidade em massa da *M. alcicornis* em toda região, tendo sido esta uma região com a menor recuperação dos corais (Da Silveira et al., 2021; BPF pers obs). Dos três sítios monitorados, para dois haviam registros prévios a 1998. No Poço do Mero de Mamucabas, a morte do coral de fogo levou ao desaparecimento completo de exemplares de *M. chrysurus* enquanto no Poço da Elga, outro recife localizado na região, o retorno de indivíduos ocorreu apenas em anos recentes, porém ainda em pequenas abundâncias. Já no Poço da Bicuda observamos pela primeira vez a presença de indivíduos.

Figura 6: Comparação dos registros históricos desde 1995-2021. Os registros foram divididos em períodos de 5 anos devido a não regularidade dos censos. (A) Distribuição e abundância de indivíduos adultos ao longo dos anos (B) Distribuição e abundância de indivíduos juvenis ao longo dos anos.





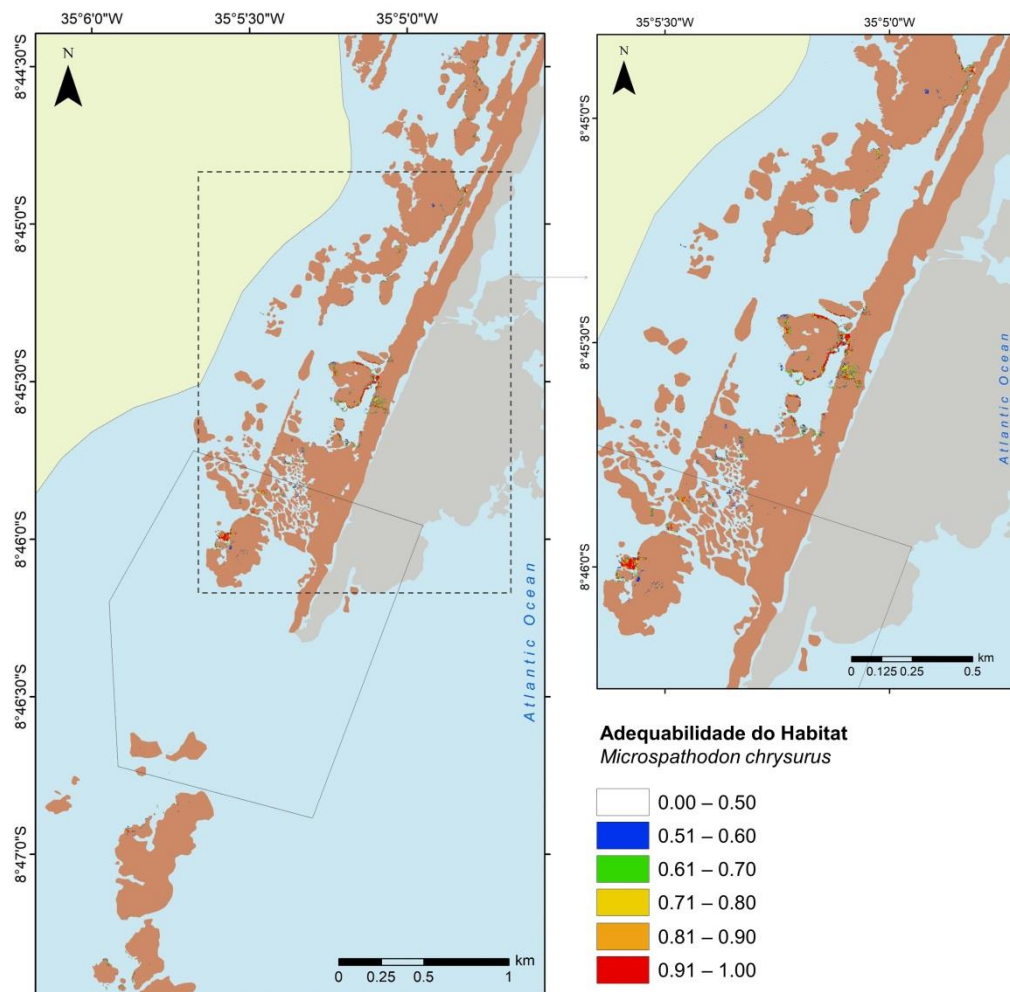
Fonte: A autora (2021)

3.3.4 Variáveis ambientais

Os resultados gerados pelo software MaxEnt forneceram informações acerca das variáveis ambientais que influenciam na ocorrência da espécie *M. chrysurus*. O software apresenta os resultados em modelo AUC, ou seja, em escala de 0.0 a 1.0, sendo aqueles mais próximos de 0.0 um modelo com predições erradas e, aqueles mais próximos de 1.0 com predições ótimas. Aqui, o modelo AUC para “training” e “testing” foi considerado alto (0.98 e 0.93 respectivamente) indicando ótimas predições.

O mapa de adequabilidade de habitats resultante das análises realizadas no MaxEnt (Figura 7) evidencia áreas mais adequadas para a ocorrência do *Microspathodon chrysurus*, considerando as variáveis ambientais de entrada. É possível observar alta adequabilidade nas regiões da área fechada e do Pirambu, onde de fato encontramos o maior número de indivíduos.

Figura 7: Resultado georreferenciado gerado pelo MaxEnt mostrando a adequabilidade do habitat para peixes da espécie *Microspathodon chrysurus* nos recifes costeiros de Tamandaré. A imagem da direita mostra uma aproximação na área onde os melhores resultados foram obtidos.

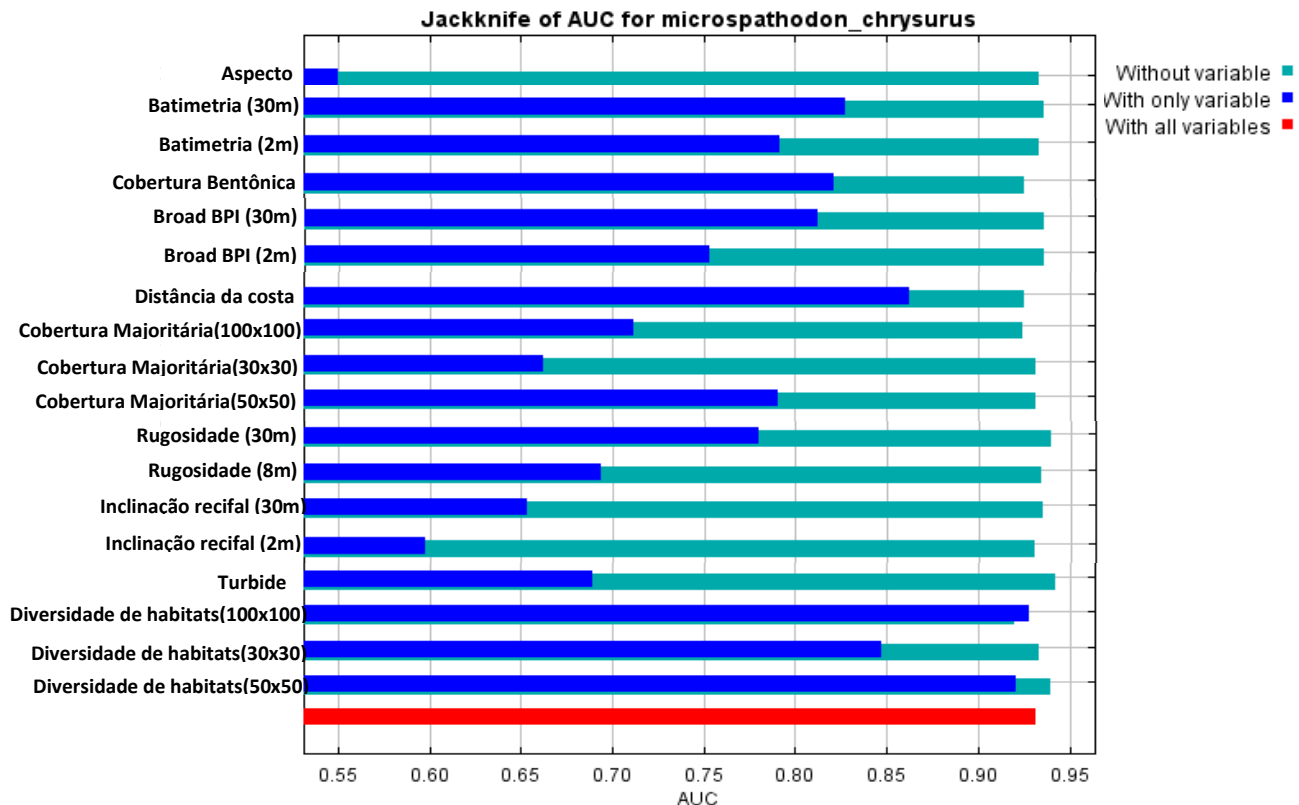


Fonte: A autora (2021)

O *Maxent* disponibiliza, ainda, o teste de Jackknife (Figura 8) utilizado para análise do teste AUC e, as curvas de resposta individuais (figura 9) utilizadas para analisar como cada variável influencia na ocorrência da espécie.

As principais variáveis biológicas que influenciam na presença do *M.chrysurus* são: cobertura bentônica e a diversidade de habitats. Para as variáveis topográficas são a batimetria, o BPI e a distância da costa (figura 8).

Figura 8: Resultado do teste Jackknife mostrando a influência de cada variável na ocorrência da espécie *Microspathodon chrysurus*. As variáveis que mais influenciaram foram a batimetria, a cobertura bentônica, o Broad BPI, a distância da costa e a diversidade de habitat. A variável que teve menos influencia foi o Aspecto



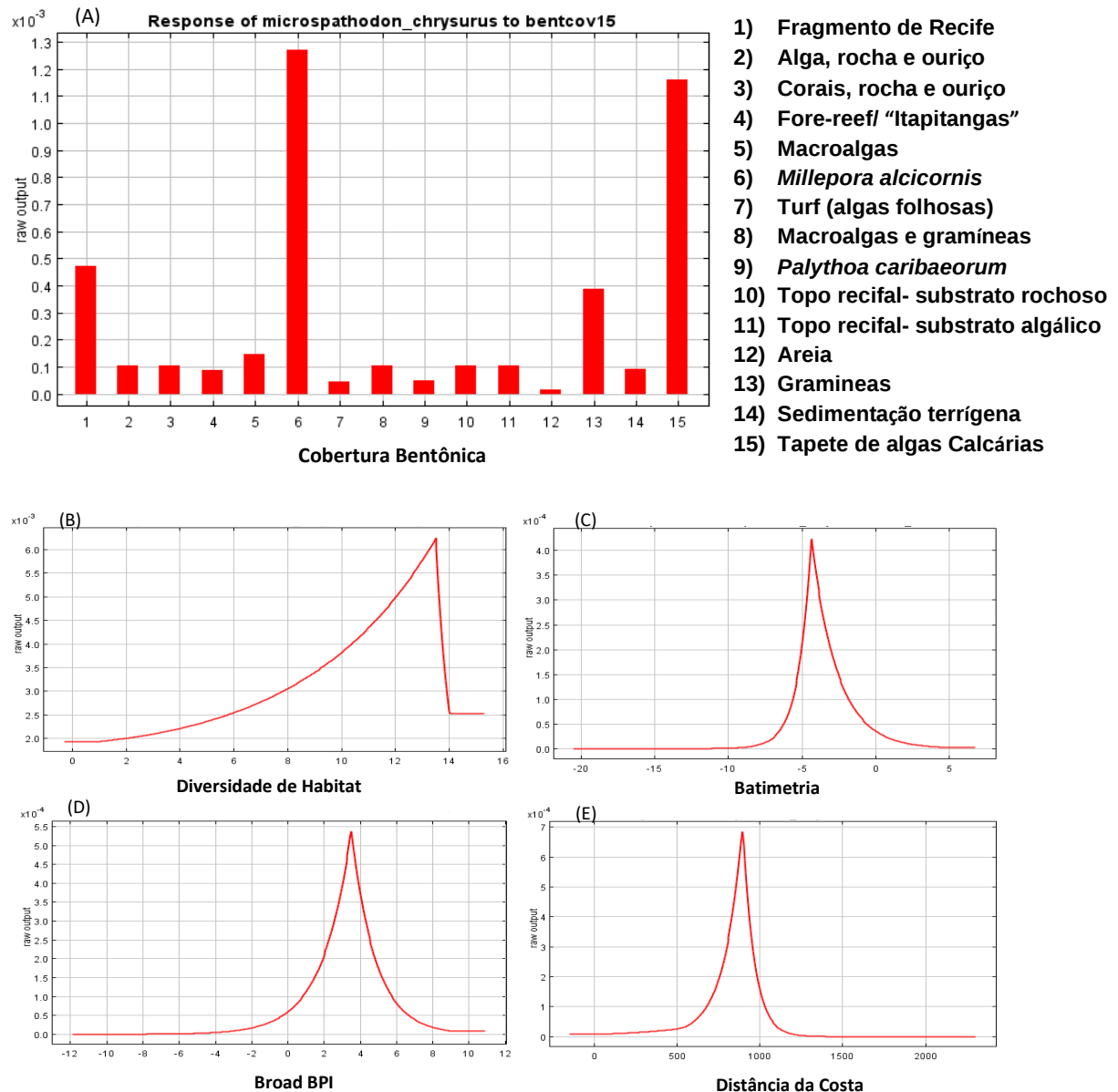
Fonte: A autora (2021)

Como esperado as classes de cobertura bentônica que mais influenciam na presença de *M. chrysurus* foram: a *Millepora alcicornis* e os tapetes de algas calcárias (Figura 9A). A *M. alcicornis* representa a preferência do habitat do juvenil e seu recurso alimentar. Já as algas calcárias representam a principal fonte de alimento dos adultos.

As curvas de resposta individual mostram que a espécie *M. chrysurus* é mais provável de ocorrer em áreas com maior variedade de habitat (Figura 9B), ou seja, em ambientes mais diversos (e.g. vários tipos de substrato em uma única área). A curva batimétrica (Figura 9C) apresentou uma profundidade ótima de -3m para ocorrência de *M. chrysurus*, sendo as profundidades adequadas de -5 a -1m. O BPI (Figura 9D) mostrou a preferência da espécie por áreas de cristas/bordas dos corais, com quase nenhuma probabilidade de ocorrência da espécie em canais e vales. E para a distância da costa (Figura 9E), áreas muito próximas ou

muito distantes da costa têm menor probabilidade de ocorrência de *M. chrysurus*, com uma faixa ideal de ocorrência de 600-650m.

Figura 9: Curvas de resposta individuais para as variáveis mais influentes do modelo: (A) Cobertura bentônica; (B) Diversidade de habitat; (C) Batimetria; (D) Índice de posição batimétrica (BPI); e (E) Distância da costa.



Fonte: A autora (2021)

3.4 Discussão

O presente estudo representa o estado mais atual de conhecimento sobre a distribuição e abundância do fluorecente, *Microspathodon chrysurus*, no complexo recifal de Tamandaré. Aqui, assim como nos trabalhos de D'amico (2002) e Pereira (2012) também registramos a dependência do *M. chrysurus* com o hidrocoral *Millepora alcicornis*.

No presente estudo observamos diferenças na preferência de habitat de acordo com a fase de vida da espécie *M. chrysurus*. Notamos que o estágio juvenil possui preferência por habitar o hidrocoral *M. alcicornis*. Essa preferência ocorre, pois o coral *M. alcicornis* possui uma propriedade urticante que protege os indivíduos contra predadores (Munday et al., 1997; Gibran et al., 2004). Além disso, o estágio juvenil possui hábitos alimentares carnívoros, assim, se alimentam dos tecidos moles e mucos da própria *M. alcicornis* (Ciardelli, 1967; Berumen & Rotjan, 2010; Pereira et al., 2012). Apesar dessa preferência, alguns juvenis foram vistos fora das ramificações da *M. alcicornis*, o que pode denotar parte da movimentação diária ou que alguns indivíduos escolhem habitats fora dos hidrocoral, neste caso tendo menor chance de chegar à vida adulta, assumindo que os mesmos ficam vulneráveis à predação. A escolha do micro-habitat para assentamento das larvas influencia em processos populacionais como, redução da mortalidade por predação, facilidade para se alimentar e aumento do crescimento para chegar a fase adulta (Booth, 1991; Booth, 1994). Assim, acreditamos que o micro-habitat ideal para o *M. chrysurus* seja na *M. alcicornis*, pois é nesse habitat que os mesmos se protegem contra predadores e conseguem se alimentar para chegar à fase adulta. Dessa forma, podemos inferir que há uma dependência do estágio juvenil o *M. chrysurus* pela *M. alcicornis*, com o fluorescente sendo uma espécie especialista de habitat, pois depende do coral, pelo menos em uma fase da vida, para sobreviver.

Indivíduos na fase intermediária, ainda ocupam as colônias de *M. alcicornis*, porém tendem a se deslocar mais pelos recifes, sempre próximos às colônias. Já na fase adulta, indivíduos expandem seus territórios e ocupam também as cavernas formadas sob os recifes. Em razão dos indivíduos adultos de *M. chrysurus* serem os maiores e mais agressivos Pomacentrideos (Robertson, 1984), não precisam mais da proteção fornecida pela *M. alcicornis*, embora seus territórios ainda as incluam. Esta mudança de comportamento e expansão de território se deve também a uma mudança de hábito alimentar, pois os indivíduos adquirem um comportamento herbívoro (Emery, 1973), com preferência por algas. Também verificamos que a fase adulta realiza movimentos de natação até longas distâncias do seu território, observando um deslocamento único de dois indivíduos por aproximadamente 15 a 20 metros. Segundo Sikkel & Kramer (2006) a espécie se aproveita das suas características de maior tamanho e agressividade, para nadar a longas distâncias para realizar atividades como reprodução e alimentação. A presença de adultos pode induzir o recrutamento ou a subsequente sobrevivência de juvenis a Milleporas localizadas nesses territórios. Registros

de interações onde a presença de conspecíficos pode funcionar como estímulo, facilitando o recrutamento ou sobrevivência de juvenis tem sido reportado (Almany, 2003).

Observamos ainda que o diâmetro da colônia de *M. alcicornis* influencia na abundância de *M. chrysurus* nos recifes. Nossos dados indicam que quanto maior a colônia, maior a abundância da espécie. Portanto, colônias maiores, que evidentemente possuem maior complexidade, fornecem mais abrigos. É possível também que o aumento da quantidade de abrigos contribuam para a diminuição de competição interespecífica no *M. chrysurus*. Inclusive, foi possível observar que os dois recifes com as maiores abundâncias de *M. chrysurus* (i.e. Ilha da Barra e o Pirambú) foram também os locais onde registramos as maiores colônias de *M. alcicornis*.

A associação de *M. chrysurus* com colônias de *M. alcicornis*, como observamos no presente estudo, têm sido relatadas para a espécie na Jamaica, Flórida, Bahamas e Panamá (Waldner & Robertson, 1980; Robertson, 1984) e no Brasil (Ferreira et al., 2005; Pereira et al., 2012). Estudos no Caribe relatam ainda a associação dos juvenis da espécie *M. chrysurus* em corais como *Acropora* spp. (Tolimieri, 1998; Lirman, 1999; Wilkes et al., 2008; Caterham et al., 2019), o que indica uma maior diversidade de preferências. O hidrocoral *M. alcicornis*, no entanto, é o único coral ramificado no Brasil, diferente da diversidade coralínea do Caribe que apresenta outros gêneros ramificados. É razoável inferir, portanto, que esta relação no Brasil é mais exclusiva, com uma maior dependência de *M. chrysurus* à *M. alcicornis*, que dependem das mesmas para se proteger, se alimentar e, portanto, chegar à vida adulta.

Apesar da espécie *M. chrysurus* ter sido encontrada em praticamente toda extensão do complexo recifal de Tamandaré, desde o norte até o sul, a mesma teve baixa abundância na maioria dos recifes. Esse resultado é bem diferente do apresentado para os recifes do Caribe, onde autores afirmam que o *M. chrysurus* é bastante abundante, chegando a ser mais abundante que o *Stegastes* spp. (Gutiérrez, 1998). Dos recifes visitados o *M. chrysurus* não foi encontrado em apenas 3, sendo eles: Poço do Mero de Mamucabas, Piscina do Vau e Canal Sul. Esses recifes têm como característica possuir pequenas colônias de *M. alcicornis*. Indicando, mais uma vez, que a presença de *M. alcicornis* é essencial para ocorrência do *M. chrysurus*.

A maior abundância de *M. chrysurus* foi encontrada na parte central, na baía de Tamandaré, onde estão localizados os recifes Ilha da Barra, uma área de recuperação recifal, e os recifes de seu entorno norte, Pirambú e Viuvinha. Esses recifes possuem a maior

quantidade e tamanho de colônias de *M. alcicornis* de todo complexo recifal de Tamandaré, corroborando com o resultado que o tamanho da colônia interfere na abundância da espécie. Outro recife localizado na parte média é o Canal da Tainha, que apesar de apresentar muitas colônias de *M. alcicornis* a abundância de *M. chrysurus* encontrada foi muito baixa, totalizando apenas um indivíduo. Esse resultado sugere que apesar da forte associação entre o *M. chrysurus* e a *M. alcicornis*, outras variáveis ambientais são importantes para ocorrência da espécie.

O mapeamento temporal da espécie apresentou uma mudança na sua distribuição ao longo dos anos, principalmente, na área de Mamucabas, ao Sul da área de estudo. Há registros da presença de *M. chrysurus* em dois sítios dessa área nos anos 90, o Poço do Mero de Mamucabas e no Poco da Elga. Com o El Niño, que ocorreu em 1998, provocando um excessivo aumento da temperatura superficial, as colônias de *M. alcicornis* ali presentes sofreram grande mortalidade, ocasionando a diminuição da população de *M. chrysurus* dessa região até que a espécie se tornou extinta localmente. No Poço da Elga, uma recuperação das colônias de *M. alcicornis* tem sido observada nos últimos anos, e neste sítio observamos indivíduos adultos e semi-adultos na proximidade de onde se localizava uma grande colônia (atualmente em regeneração estimada de 10% do tamanho original). Esse resultado mostra a relação entre a fidelidade ao sítio mediado pela presença de coespecíficos e também à presença de *M. alcicornis*. O Poço do Mero possivelmente sofre com uma recuperação mais lenta, devido ao constante impacto dos rios Mamucabas e Una que causam estresse nos corais por sedimentação e eutrofização (Macedo e Maida, 2012).

A comparação das abundâncias entre os anos de 1995 a 2021 ainda revelou uma manutenção geral e um aumento da abundância na espécie *M. chrysurus* em alguns pontos ao longo dos anos. Esse resultado aponta para os efeitos positivos de medidas locais de gestão como a proibição de coleta de ornamentais e o estabelecimento da área fechada. A espécie *M. chrysurus*, por possuir cores brilhantes na fase juvenil, foi alvo de coleta para aquarismo durante vários anos, o que ocasionou diminuição populacional da espécie (Ferreira et al., 1995). No ano 1997 foi criada a APA Costa dos Corais e assim, proibida a coleta de peixes ornamentais em toda sua extensão (Ferreira et al., 2001). Essa proibição da coleta de peixes ornamentais ocasionou a recuperação da espécie ao longo dos anos no complexo recifal de Tamandaré. Assim, devido à dependência da espécie ao coral-de-fogo, possivelmente a maior ameaça ao *M. chrysurus* é o aquecimento global, tendo em vista recentes previsões de cenários de aumento de temperatura (IPCC, 2021) e considerando que o hidrocoral *M.*

alcicornis é extremamente frágil em relação ao aumento de temperatura como já observado no mundo (Cook et al., 1990; Glynn, 1993) e no Brasil (Duarte et al., 2020).

O branqueamento em si possivelmente não ocasiona diminuição da população de *M. chrysurus*, pois, nessas condições, o coral ainda pode se recuperar. Trabalhos realizados com outras espécies da família Pomacentridae afirmam que os corais apenas branqueados não causam diminuição populacional da família, mas se esses corais vierem a morrer, as espécies especialistas podem também sofrer graves consequências, como a extinção local (Coker et al., 2014; Matis et al., 2018). De fato, durante nossas atividades de campo em 2019 e 2020, observamos colônias completamente branqueadas que ainda abrigavam indivíduos de *M. chrysurus*. Esse resultado aponta para a importância de estudos acerca dos efeitos do branqueamento e mudanças climáticas em toda a família, assim como a importância das áreas de conservação do habitat, pois para as espécies especialistas de habitat a saúde do mesmo é essencial.

O modelo de distribuição preditiva da espécie, fornecido pelo MaxEnt revelou a associação de variáveis biológicas e topográficas com a presença de *M. chrysurus*. Das variáveis biológicas, a diversidade de habitats foi a mais importante. Outra variável biológica significativa foi a cobertura bentônica. Como esperado, as coberturas bentônicas com *M. alcicornis* e tapete de algas calcárias foram as principais. Sendo esses resultados mais uma evidência da associação entre a *M. alcicornis* e o *M. chrysurus*. A cobertura bentônica com *M. alcicornis* sendo muito importante na fase juvenil e a cobertura de algas calcárias, sendo extremamente importantes da fase adulta. Além disso, essas coberturas foram as coberturas de substrato majoritária (Da Silveira et al., 2021) nas áreas recifais onde os indivíduos de *M. chrysurus* foram observados.

As variáveis topográficas limitantes para presença de *M. chrysurus* foram: a batimetria, o Broad BPI e a distância da costa. As curvas batimétricas mostraram que a batimetria ideal para ocorrência do *M. chrysurus* foi entre -5 e -1m de profundidade, corroborando com estudos que afirmam que essa espécie é de águas rasas (Pressley, 1980). De fato, nas atividades realizadas in situ, apesar dos adultos estarem sempre em maiores profundidades que os juvenis, escondidos em cavernas, não presenciamos esses indivíduos em profundidades maiores que 5m, os mesmos sempre estavam em recifes rasos. Ademais, no recife de maior profundidade que visitamos (Canal Sul) também não foi possível observar nenhum indivíduo da espécie.

O Broad BPI mostrou a maior ocorrência do *M. chrysurus* em áreas mais rasas que os arredores, ou seja, nas cristas de recife. Realmente, esses indivíduos raramente eram vistos em *Milleporas* presente no fundo dos recifes, os mesmos estavam sempre presente nas *Milleporas* da crista recifal. A preferência do *M. chrysurus* por áreas de cristas também foi observado por D'amico (2002). A distância da costa foi outra variável topográfica importante, indicando que áreas muito próximas ou distantes da costa se tornam inviáveis para presença de *M. chrysurus*. A faixa de ocorrência ideal (650m) coincide com a segunda linha de recife em Tamandaré, caracterizada por possuir a maior cobertura de coral e diversidade de habitats (principal fator limitante para presença da espécie).

Acreditamos que o fato da distância muito próxima ou muito distante da costa não ser favorável para presença de *M. chrysurus* está, em geral, relacionado com a presença de *M. alcornis* nessas distâncias. Aqueles recifes muito próximos à costa, que podem ser acessados com facilidade, inclusive a pé, sofrem mais com impactos antrópicos como turismo e pesca (Ferreira et al., 2004). Apesar de hoje ser proibida a pesca ornamental do *M. chrysurus* em todo complexo recifal de Tamandaré, as *M. alcornis* presentes nos recifes muito próximos à costa são constantemente danificadas sendo impedidas de crescer (Da Silveira, et al., 2021). Com esse hidrocoral sofrendo ininterruptas danificações se torna inviável a presença da espécie *M. chrysurus*. Aqueles recifes distantes da costa estão presentes em profundidades muito grandes, que não favorece a presença de *M. chrysurus*, já que o mesmo é uma espécie de pequenas profundidades. O crescimento das colônias de *M. alcornis* esta relacionado com áreas de baixa energia de ondas (Lewis, 2006; Dubé et al., 2017) e a terceira linha recifal de Tamandaré corresponde a uma área com alta energia de ondas e turbulência (Da Silveira et al., 2021), sendo assim, seu crescimento também desfavorecido nessas áreas.

Assim, a presença de *M. alcornis* apesar de ser uma das principais variáveis para a presença de *M. chrysurus*, não é o único fator limitante. As variáveis topográficas aqui apresentadas também são consideradas fatores limitantes na presença de *M. chrysurus*. Portanto, os recifes que apresentam *M. alcornis* localizadas muito próximos ou muito distantes da costa, bem como colônias isoladas localizadas no fundo de areia são menos propícias para a ocorrência de *M. chrysurus*. Essa, talvez, seja a razão pela qual só foi encontrado um indivíduo no recife 'Canal da Tainha'. Apesar desse recife apresentar muitas e grandes colônias de *M. alcornis*, as mesmas em geral estavam posicionadas sobre a areia do fundo.

Assim, concluímos que a distribuição do *M. chrysurus* está altamente associada à distribuição do hidrocoral *Millepora alcicornis*, ainda que mediada por outras condições como distância da costa e profundidade. Levando em consideração que a fase juvenil depende do coral para sobrevivência, acreditamos que no Brasil o *M. chrysurus* é uma espécie especialista de habitat. Portanto é necessário salientar que estudos de monitoramento do *M. chrysurus* são de extrema importância, pois os eventos de branqueamento e mortalidade de corais tem se intensificado na última década, levando a mortalidade em massa de corais no Brasil e no mundo. A mortalidade do coral *M. alcicornis* implica na diminuição populacional ou até extinção local da espécie *M. chrysurus*, fazendo desta espécie um dos primeiros peixes recifais diretamente ameaçados por mudanças climáticas na costa nordeste do Brasil. Logo, áreas com grandes colônias de *M. alcicornis* que favorecem a presença do *M. chrysurus* devem ser consideradas como prioritárias e acompanhadas de perto.

Ainda enfatizamos a importância de áreas de conservação ambiental na recuperação de populações marinhas, pois observamos que após a criação da APA Costa dos Corais e consequentemente, da proibição da pesca ornamental, houve uma recuperação na população de *M. chrysurus*, evidenciando a importância de medidas de manejo. Face a eminentes efeitos das mudanças climáticas sobre os recifes de coral, medidas locais de conservação se tornam ainda mais importantes para a manutenção da biodiversidade (Knowlton et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- ALMANY, G.R. Priority effects in coral reef fish communities. **Ecology**, v.84, n.7, p.1920-1935, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1920:PEICRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1920:PEICRF]2.0.CO;2). Acesso em: 18 out. 2021.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: Sampling methods. **Behaviour**, v.49, p.227-26, 1974. Disponível em: DOI: [10.1163/156853974x00534](https://doi.org/10.1163/156853974x00534). Acesso em: 18 out. 2021.
- BAKER, A.C.; GLYNN, P.W. & RIEGL, B. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. **Estuar. Coast. Shelf Sci**, v. 80, n. 4, p.435-471, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.003>. Acesso em: 18 out. 2021.
- BANASZAK, A.T.; AYALA-SCHIAFFINO, N.; RODRÍGUEZ-ROMÁN, A.; ENRÍQUEZ, S.; IGLESIAS-PRIETO, R. Response of *Millepora alcicornis* (Milleporina: Milleporidae) to two Amana Guedes Garrido 18 bleaching events at Puerto Morelos reef, Mexican Caribbean. **Rev Biol Trop**, v. 51, n.4, p.57-66, 2003

BERUMEN, M.; ROTJAN, R.D. New records of corallivory in the Red Sea. **Coral Reefs**, v.29, n.3, p.727, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-010-0615-4>. Acesso em: 18 out. 2021.

BRADBURY, J. Coral reefs and climate change. **Front Ecol Environ**, v. 6, n. 7, p. 352-352, 2008.

BOOTH, D.J. **Larval settlement and juvenile group dynamics in the domino damselfish (*Dascyllus albisella*)**. PhD thesis, Oregon State University p. 163-174, 1991. Disponível em: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/8k71nm24w?locale=en. Acesso em: 26 out. 2021.

BOOTH, D.J & BERETTA G.A. Seasonal recruitment and habitat associations in a guild of pomacentrid reef fishes at two sites around St Thomas, USVI. **Coral Reefs**, v.13, p. 81-89, 1994. Disponível em: DOI:[10.18785/gcr.2001.08](https://doi.org/10.18785/gcr.2001.08). Acesso em: 18 out. 2021.

BORTONE, S.A.; KIMMEL, J.J.; BUNDRICK, C.M. A. Comparison of three methods for visually assessing reef fish communities: time and area compensated. **Northeast Gulf Science**, v.10, n.2, p.85–96, 1989. Disponível em: <https://aquila.usm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1197&context=goms>. Acesso em: 18 out. 2021.

BRIDGE, T., BEAMAN, R., DONE, T., & WEBSTER, J. Predicting the location and spatial extent of submerged coral reef habitat in the Great Barrier Reef World Heritage Area, Australia. **PLoS One**, v.7, n.10, p.e48203, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23118952/>. Acesso em: 18 out. 2021.

BRYANT, D.; BURKE, L.; MCMANUS, J.; SPALDING, M. Reefs at risk: a map-based indicator of threats to the world's coral reefs. World Resources Institute, 60p, Washington, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259481906_Reefs_at_Risk_A_Map-Based_Indicator_of_Threats_to_the_World's_Coral_Reefs. Acesso em: 26 out. 2021.

CATERHAM, C.R., AN, N., WALTERS, S., MABAKA, A., JOHNSON, G., WIRTH, K.R., & GREER, L. The Response of Algae and Herbivores to *Acropora Cervicornis* Coral Decline: A Case Study in Coral Gardens, Belize. In AGU Fall Meeting Abstracts v. 2019, p. OS33B-1783, 2019.

CIARDELLI, A. The anatomy of the feeding mechanism and the food habits of *Microspathodon chrysurus* (Pisces: Pomacentridae). **Bul. Mar. Sci.** v.17, n.4, p.843–883, 1967. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1967/00000017/00000004/art00004>. Acesso em: 18 out. 2021.

CECCARELLI, D.M.; JONES, G.P. & MCCOOK, L.J. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. **Oceanogr. Mar. Biol: Annual Review**, v. 39, p., 355-89, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261507503_Territorial_Damselfish_as_determinants_of_the_structure_of_benthic_communities_on_coral_reef. Acesso em: 18 out. 2021.

CHOAT, J.H. The Biology of Herbivorous Fishes on Coral Reefs. p. 96-119 In: SALE, P.F. (ed.). The Ecology of Fishes on Coral Reefs. San Diego: Academic Press, 754 p. 1991.

COKER, D.J.; WILSON, S.K. & PRATCHETT, M.S. Importance of live coral habitat for reef fisher. **Rev. Fish Biol. Fish.**, v. 24, n. 1, p., 89-126, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255908802_Importance_of_live_coral_habitat_for_reef_fishes. Acesso em: 18 out. 2021.

COOK, C.B.; LOGAN, A.; WARD, J.; LUCKHURST, B.; BERG, B.J.J. Elevated temperatures and bleaching on a high latitude coral reef: The 1988 Bermuda event. **Coral Reefs**, v.9, p.45- 49, 1990. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF0068672>. Acesso em: 18 out. 2021.

D'amico, T.M. Padrões de Distribuição e Abundância de *Microspathodon chrysurus* nos recifes da APA Costa do Corais Região de Tamandaré-PE. Dissertação de Mestrado em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2002.

DA SILVEIRA, C.B.L., STRENZEL, G.M.R., MAIDA, M., GASPAR, A.L.B., & FERREIRA, B.P. Coral Reef Mapping with Remote Sensing and Machine Learning: A Nurture and Nature Analysis in Marine Protected Areas. **Remote Sensing**, v.13, n.15, p2907, 2021. Disponível em: DOI:[10.3390/rs13152907](https://doi.org/10.3390/rs13152907). Acesso em: 18 out. 2021.

DAVENPORT, J. & DAVENPORT, J.L. The Impact of Tourism and Personal Leisure Transport on Coastal Environments: A Review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.67, n.1-2, p.280–92, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.026>. Acesso em: 18 out. 2021.

DUBÉ, C.E.; MERCIÈRE, A.; VERMEIJ, M.J. & PLANES, S. Population structure of the hydrocoral *Millepora platyphylla* in habitats experiencing different flow regimes in Moorea, French Polynesia. **PloS one**, v.12, n.3, e0173513, 2017. Disponível em: [10.1371/journal.pone.0173513](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173513). Acesso em: 18 out. 2021.

DUNN, R.J.H.; D. M. STANITSKI, N. GOBRON, K. M. WILLETT, Eds., 2020: Global Climate [in “State of the Climate in 2019”]. **Bull. Amer. Meteor.**, v.101, n.8, p.S9–S127. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343985890_Global_Climate_in_State_of_the_Climate_in_2019. Acesso em: 26 out. 2021.

ELITH, J., PHILLIPS, S. J., HASTIE, T., DUDÍK, M., CHEE, Y. E., & YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and distributions**, v.17, n.1, p.43-57, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

EMERY, A.R. Comparative ecology and functional osteology of fourteen species of damselfish (Pisces: Pomacentridae) at Alligator Reef, Florida Keys. **Bull. Mar. Sci.** v.23, n.3, p.649-770, 1973. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1973/00000023/00000003/art00013>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, B.P.; MAIDA, M.; SOUZA, A.E.T. Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré - PE. **Boletim Técnico Científico do CEPENE, Tamandaré**, v. 3, n. 1, p. 211-230, 1995. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/287661891> Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré - PE. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, B.P.; CAVA, F. Ictiofauna Marinha da APA Costa dos Corais: Lista de Espécies através de Levantamento da Pesca e Observações Subaquáticas. **Boletim Técnico Científico do CEPENE, Tamandaré**, v.9, n.1, p.167-180, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/216900137> Ictiofauna marinha da APA Costa dos Corais Lista de espécies através de levantamento da pesca e observações subaquáticas. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, C.E.L.; FLOETER, S.R.; GASPARINI, J.L.; FERREIRA, B.P. & JOYEUX, J.C. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **J.Biogeogr.** v.31, n.7, p.1093-1106, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01044.x>. Acesso em: 18 out. 2021.

FERREIRA, B.P.; D'AMICO, T.M.; REINHARDT, M.H. Peixes Ornamentais dos Recifes de Tamandaré (PE): Padrões de Distribuição, Conservação e Educação Ambiental. **Boletim Técnico Científico do CEPENE, Tamandaré**, v.13, n.1, p.9-23, 2005.

GARCIA, T.M.; MATTHEWS-CASCON, H. & FRANKLIN-JUNIOR W. Macrofauna associated with branching fire coral *Millepora alcicornis* (Cnidária: Hydrozoa). **Thalassas**, v.24, n.1, p.11-19, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/260671002> Macrofauna associated with the Branching fire coral *Millepora alcicornis* Cnidaria Hydrozoa. Acesso em: 18 out. 2021.

GIBRAN, F.Z.; SANTOS, F.B.; SANTOS, H.F; SABINO, J. Courtship and spawning of the hairy blenny *Labrisomus nuchipinnis* (Labrisomidae) in southeastern Brazil. **Neotrop. Ichthyol.**, v.2, n.3, p.163–166, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ni/a/VDxbMKjNFhZ9wScrV4kHvRx/?format=pdf>. Acesso em: 18 out. 2021.

GLYNN, P.W. Coral reef bleaching: ecological perspectives. **Coral reefs**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 1993. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00303779>. Acesso em: 18 out. 2021.

GUTIÉRREZ, L. Habitat selection by recruits establishes local patterns of adult distribution in two species of damselfishes: *Stegastes dorsopunicans* and *S. planifrons*. **Oecologia**, v.115, n.1-2, p.268-277, 1998. Disponível em: DOI: [10.1007/s004420050516](https://doi.org/10.1007/s004420050516). Acesso em: 18 out. 2021.

HALPERN, B. S., WALBRIDGE, S., SELKOE, K. A., KAPPEL, C. V., MICHELI, F., D'AGROSA, C., FUJITA, R. A global map of human impact on marine ecosystems. **Science**, v.319, n.5865, p.948-952, 2008. Disponível em: DOI:[10.1126/science.1149345](https://doi.org/10.1126/science.1149345). Acesso em: 18 out. 2021.

HIXON, M.A. & BROSTOFF, W.N. Succession and Herbivory: Effects of Differential Fish Grazing On Hawaiian Coral-Reef Algae. **ESA**, v.66, n.1, p.67-90, 1996. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/2963481>. Acesso em: 26 out. 2021.

HUGHES, T.P.; RODRIGUES, M.J. ET AL. Phase Shifts, Herbivory, And The Resilience Of Coral Reefs To Climate Change. **Current Biology**, v.17, n.4, p. 360-365. 2007. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982207008822>. Acesso em: 26 out. 2021.

HUGHES, T. P. et al. Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. **Science**, v. 359, p. 80–83, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29302011/> . Acesso em: 26 out. 2021.

IPCC (2021) Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,. In Press

JAN, R.Q.; HO, C.T.; SHIAH, F.K. Determinants of territory size of dusky gregory. **J Fish Biol**, v.63, p.1589–1597, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2003.00270.x>. Acesso em: 26 out. 2021.

JOHNSON, M.K.; HOLBROOK, S.J.; SCHMITT, R.J.; BROOKS, A.J. Fish communities on staghorn coral: effects of habitat characteristics and resident farmerfishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 91, n. 4, p.429–448, 2011. Disponível em: [10.1007/s10641-011-9802-6](https://doi.org/10.1007/s10641-011-9802-6). Acesso em: 26 out. 2021.

KNOWLTON, N. Ocean optimism: Moving beyond the obituaries in marine conservation. **Annual Review of Marine Science**, v.13, p.479-499, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32503374/>. Acesso em: 26 out. 2021.

LEAL, I.C.S.; PEREIRA, P.H.C.; ARAUJO, M.E. Coral reef fish association and behaviour on the fire coral *Millepora* spp. In north-east Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v.93, n. 6, p. 1703-1711, 2013. Disponível em: [10.1017/S0025315413000234](https://doi.org/10.1017/S0025315413000234). Acesso em: 26 out. 2021.

LIRMAN, D. Reef fish communities associated with *Acropora palmata*: relationships to benthic attributes. **Bulletin of Marine Science**, v.65, n.1, p.235-252, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233509008_Reef_fish_communities_associated_with_Acropora_Palmata_relationship_to_benthic_attributes. Acesso em: 26 out. 2021.

FISHELSON L. Behaviour, socioecology and sexuality in damselfishes (Pomacentridae). **Italian Journal of Zoology**, v.65, n. S1, p.387-398, 1998. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11250009809386853>. Acesso em: 26 out. 2021.

LEWIS, J.B. Biology and ecology of the hydrocoral *Millepora* on coral reefs. **Marine Biology**, v.50, p. 1-55, 2006. Disponível em: [10.1016/S0065-2881\(05\)50001-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(05)50001-4). Acesso em: 26 out. 2021.

MACEDO E. & MAIDA, M. The Importance of Watershed Management for Coastal Coral Reefs in Brazil. 2011.

MAIDA, M. & FERREIRA, B.P. Coral reefs of Brazil: an overview. In: **proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium**. v.1, p.263-274, 1997.

MAIDA, M. & FERREIRA, B.P. Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais. In: Prates, A.P.L. (ed) Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 86-90, 2003.

MAGRIS, R.A.; GRECH, A. & PRESSEY, R.L. Cumulative human impacts on coral reefs: Assessing risk and management implications for Brazilian coral reefs. **Diversity**, v. 10, n. 2, p., 26, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d10020026>. Acesso em: 26 out. 2021.

MATIS, P.A.; DONELSON, J.M.; BUSH, S.; FOX, R.J. & BOOTH, D.J. Temperature influences habitat preference of coral reef fishes: Will generalists become more specialised in a warming ocean? **Glob. Chang. Biol**, v.24, n.7, p.,3158-3169, 2018. Disponível em: 10.1111/gcb.14166. Acesso em: 26 out. 2021.

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, p. 215-233, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9). Acesso em: 26 out. 2021.

MUNDAY, P.L.; JONES, G.P.; CALEY, M.J. Habitat specialization and the distribution and abundance of coral-dwelling gobies. **Marine Ecology Progress Series** v.152, n.1-3, p.227–239, 1997. Disponível em: <https://www.int-res.com/articles/meps/152/m152p227.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

NELSON, J. S. Fishes of the world. JOHN WILEY & SONS, Inc. 3a ed. 600 p. 1994. Disponível em:

OGDEN, J.C.; LOBEL, P.S. The role of herbivorous fishes and urchins in coral reef communities. **Environmental Biology of Fishes**, v.3, n.1, p.49-63, 1978. Disponível em: 10.1007/BF00006308. Acesso em: 26 out. 2021.

PEREIRA, P.H.C.; LEAL, I.C.S.; ARAUJO, M.E.; SOUZA, A.T. Feeding association between reef fishes and the fire coral *Millepora* spp. (Cnidaria: Hydrozoa). **Marine Biodiversity Records**, v. 5, n.42, p. 1–4, 2012. Disponível em: 10.1017/S1755267212000073. Acesso em: 26 out. 2021.

PHILLIPS, S. J., & DUDÍK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, v.31, n.2, p.161-175, 2008. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x?_cf_chl_jschl_tk_=pmd_L9bTsYFZAMIGLf1Nvcg3vfvmtaULIgOmRI2iR7hR4wU-1635261300-0-gqNtZGzNAICjcnBszQ29. Acesso em: 26 out. 2021.

PHILLIPS, S. J., DUDÍK, M., SCHAPIRE, R. E. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Disponível em: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Acesso em: 18 out. 2021.

PICCIANI, N. ET AL. Geographic patterns of Symbiodinium diversity associated with the coral *Mussismilia hispida* (Cnidaria, Scleractinia) correlate with major reef regions in the Southwestern Atlantic Ocean. **Marine Biology**, v. 163, p. 236, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00227-016-3010-z>. Acesso em: 26 out. 2021.

PRESSLEY, P.H. Lunar periodicity in the spawning of yellowtail damselfish, *Microspathodon chrysurus*. **Environ Biol Fish** v.5, p.155–159, 1980. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02391622>. Acesso em: 26 out. 2021.

PURKIS, S.J. & RIEGL, B. Spatial and temporal dynamics of Arabian Gulf coral assemblages quantified from remote-sensing and in situ monitoring data. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 287, p., 99-113, 2005. Disponível em: <https://www.int-res.com/articles/meps2005/287/m287p099.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

ROBERTSON, D.R. Cohabitation of competing territorial damselfishes on a Caribbean coral reef. **Ecology**, v.65, n.4, p.1121-1135, 1984. Disponível em: [10.2307/1938320](https://doi.org/10.2307/1938320). Acesso em: 26 out. 2021.

SAMMARCO, P.W.; RISK, M.J. & ROSE, C. Effects of grazing and damselfish territoriality on internal bioerosion of dead corals: indirect effects. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.112, n.2, p.185-199, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90072-9). Acesso em: 26 out. 2021.

SCHWWAMBORN, S.H.L.; FERREIRA, B.P. Age structure and growth of the dusk damselfish, *Stegastes fuscus*, from Tamandare reefs, Pernambuco, Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, v.63, n.1, p.79-88, 2002. Disponível em: [10.1023/A:1013851532298](https://doi.org/10.1023/A:1013851532298). Acesso em: 26 out. 2021.

SECOMANDI, M., OWEN, M.J., JONES, E., TERENCE, V., & COMRIE, R. (2016). Application of the Bathymetric Position Index Method (BPI) for the purpose of defining a reference seabed level for cable burial. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318672698_Application_of_the_Bathymetric_Position_Index_Method_BPI_for_the_purpose_of_defining_a_reference_seabed_level_for_cable_burial. Acesso em: 26 out. 2021.

SELIG, E. R., TURNER, W. R., TROËNG, S., WALLACE, B. P., HALPERN, B. S., KASCHNER, K., LASCELLER, B. G., CARPENTER, K. E. & MITTERMEIER, R. A. Global priorities for marine biodiversity conservation. **PloS one**, v.9, n.1, p.e82898, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082898>. Acesso em: 26 out. 2021.

SIKKEL, PAUL C.; KRAMER, DONALD L. Territory revisits reduce intrusion during spawning trips by female yellowtail damselfish, *Microspathodon chrysurus*. **Animal Behaviour**, v. 71, n. 1, p. 71-78, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.03.028>. Acesso em: 26 out. 2021.

SPALDING, M. ET AL. World atlas of coral reefs. Univ of California Press, 2001. Disponível em: <https://www.unep-wcmc.org/resources-and-data/world-atlas-of-coral-reefs-2001>. Acesso em: 26 out. 2021.

SZMANT, A.M. Introduction to the special issue of Coral Reefs on “Coral reef algal community dynamics”. **Coral Reefs**, v.19, n.4, p.299-302. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/298597713_Introduction_to_the_special_issue_of_Coral_Reefs_on_Coral_Reef_Algal_Community_Dynamics_-_Why_are_coral_reefs_world-wide_becoming_overgrown_by_algae_'Algae_algae_everywhere_and_nowhere_a_bite_to_eat'. Acesso em: 26 out. 2021.

TOLIMIERI, N. Contrasting effects of microhabitat use on large-scale adult abundance in two families of Caribbean reef fishes. **Marine Ecology Progress Series**, v.167, p.227-239, 1998. Disponível em: <https://www.int-res.com/articles/meps/167/m167p227.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

WALDNER, R.E. & ROBERTSON, D.R. Patterns of habitat partitioning by eight species of territorial Caribbean damselfishes (Pisces: Pomacentridae). **Bull. Mar. Sci**, v. 30, n.1, p.,171-186, 1980. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/233521243_Patterns_of_Habitat_Partitioning_by_Eight_Species_of_Territorial_Caribbean_Damselfishes_Pisces_Pomacentridae. Acesso em: 26 out. 2021.

WILKINSON, C. Status of coral reefs of the world: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, 296p., Townsville, 2008. Disponível em: <http://www.oceansatlas.org/item-details/en/c/325200/>. Acesso em: 26 out. 2021.

WILLIAMS, D.M.C.B. Patterns and processes in the distribution of coral reef fishes. In: Sale PF (ed) The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press, San Diego, pp 437—474, 1991. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=531434](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=531434). Acesso em: 26 out. 2021.

WILKES, A.A., COOK, M. M., DIGIROLAMO, A.L., EME, J., GRIM, J.M., HOHMANN, B.C. & BENNETT, W. A. A comparison of damselfish densities on live staghorn coral (*Acropora cervicornis*) and coral rubble in Dry Tortugas National Park. **Southeastern Naturalist**, v.7, n.3, p.483-492, 2008. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20204017>. Acesso em: 26 out. 2021.

YAMAMOTO, K.H., POWELL, R.L., ANDERSON, S., & SUTTON, P.C. Using LiDAR to quantify topographic and bathymetric details for sea turtle nesting beaches in Florida. **Remote Sensing of Environment**, v.125, p.125-133, 2012. Disponível em: [10.1016/j.rse.2012.07.016](https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.016). Acesso em: 26 out. 2021.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da revisão sistemática evidenciam a importância dos estudos sobre os impactos das mudanças climáticas na família Pomacentridae. Observamos que as mudanças climáticas podem causar efeitos negativos na reprodução, no comportamento social e na ocupação latitudinal da família. E ainda, que as espécie respondem de formas diferentes a esses efeitos. Apesar disso, fica claro ao longo do estudo, que a família, ainda que considerada um modelo para estudos de ecologia, tem sido pouco utilizada para estudos relacionados aos impactos das mudanças climáticas.

No segundo manuscrito observamos que a associação do *M. chrysurus* com a *M. alcicornis* é inversamente proporcional ao seu tamanho, onde indivíduos juvenis são extremamente dependentes desses corais e os indivíduos adultos apenas matêm seus territórios próximos das colônias. Além disso, observamos que existe uma relação positiva entre o tamanho da colônia e a abundância de indivíduos no coral.

No mapeamento da espécie observamos mudanças nas distribuições antigas e atuais. Hoje, não encontramos mais indivíduos no recife Poço do Mero de Mamucabas, sendo essa extinção local associada ao El Niño em 1998, que causou a mortalidade das colônias de *M. alcicornis* da área. Indicando, assim, a importância dos estudos acerca dos efeitos das mudanças climáticas em toda a família.

Também observamos que houve uma recuperação da população de *M. chrysurus*, com a proibição da pesca ornamental na área. Relatando a importância das áreas de conservação sobre as populações marinhas.

A utilização da modelagem preditiva do *M. chrysurus* evidenciou locais de provável ocorrência da espécie no complexo recifal de Tamandaré, e ainda revelou as principais variáveis ambientais associadas à distribuição da espécie, contribuindo para a compreensão dos padrões naturais de distribuição e abundância da mesma. Estes modelos são extremamente úteis para a seleção de áreas prioritárias para conservação da espécie.

Ainda, observamos a associação entre os corais *M. alcicornis* e *M. chrysurus*, visto que a distribuição da espécie de peixe está diretamente associada a distribuição do coral *M. alcicornis*.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, G., ROBERTSON, R., RIVERA, R., EDGAR, G., MERLEN, G., ZAPATA, F., BARRAZA, E. *Microspathodon dorsalis*. **The IUCN Red List of Threatened Species** 2010: e.T183825A8183561. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T183825A8183561.en>. Acesso em: 26 out. 2021
- BERUMEN, M.; ROTJAN, R.D. New records of corallivory in the Red Sea. **Coral Reefs**, v.29, n.3, p.727, 2010. Disponível em:
- BROWMAN, H.I. Applying organized scepticism to ocean acidification research. **ICES J.Mar. Sci**, v.73, n.3, p.,529–536, 2016. Disponível em:
- CECCARELLI, D.M.; JONES, G.P. & MCCOOK, L.J. Territorial damselfishes as determinants of the structure of benthic communities on coral reefs. **Oceanogr. Mar. Biol: Annual Review**, v. 39, p., 355-89, 2001. Disponível em:
- CIARDELLI, A. The anatomy of the feeding mechanism and the food habits of *Microspathodon chrysurus* (Pisces: Pomacentridae). **Bul. Mar. Sci.** v.17, n.4, p.843–883, 1967. Disponível em:
- CECCARELLI, D.M.; JONES, G.P.; MCCOOK, L.J. Effects of territorial damselfish on an algal-dominated coastal coral reef. **Coral Reefs**, v.24, n.4, p.,606-620, 2005. Disponível em:
- CLAVEL, J.; JULLIARD, R. & DEVICTOR, V. Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? **Front Ecol Environ**, v. 9, n. 4, p., 222-228, 2011. Disponível em:
- CLEMENTS, J.C. & HUNT, H.L. Marine animal behaviour in a high CO₂ ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v.536, p.259-279, 2015. Disponível em:
- CHOAT, J.H. The Biology of Herbivorous Fishes on Coral Reefs. p. 96-119 In: SALE, P.F. (ed.). *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. San Diego: Academic Press, 754 p. 1991. Disponível em:
- D'AMICO, T.M. **Padrões de Distribuição e Abundância de *Microspathodon chrysurus* nos recifes da APA Costa do Corais Região de Tamandaré-PE**. 2002. Dissertação de Mestrado em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Disponível em:
- DUNN, R.J.H.; STANITSKI, D.M.; GOBRON, N. & WILLETT, K.M. Global Climate, p.17-98, in Dunn, R.J.H.; Stanitski, D.M.; Gobron, N. & Willett, K.M.(eds), **State of the Climate in 2019**, **Bull. Amer. Meteor**, 499 p., 2020. Disponível em:
- EMERY, A.R. Comparative ecology and functional osteology of fourteen species of damselfish (Pisces: Pomacentridae) at Alligator Reef, Florida Keys. **Bull. Mar. Sci.**, v.23, n.3, p.649-770, 1973. Disponível em:
- ESBAUGH, A.J. Physiological implications of ocean acidification for marine fish: emerging patterns and new insights. **J Comp Physiol B**, v. 188, n. 1, p., 1-13, 2018. Disponível em:

- FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. & SOUZA, A.E.T. Levantamento inicial das comunidades de peixes recifais da região de Tamandaré - PE. **Bol. Técn. Cient. CEPENE, Tamandaré**, v. 3, n.1, p., 211-230, 1995. Disponível em:
- FERREIRA, B.P.; CAVA, F. Ictiofauna Marinha da APA Costa dos Corais: Lista de Espécies através de Levantamento da Pesca e Observações Subaquáticas. **Boletim Técnico Científico do CEPENE, Tamandaré**, v.9, n.1, p.167-180, 2001. Disponível em:
- FERREIRA, B.P.; D'AMICO, T.M.; REINHARDT, M.H. Peixes Ornamentais dos Recifes de Tamandaré (PE): Padrões de Distribuição, Conservação e Educação Ambiental. **Boletim Técnico Científico do CEPENE, Tamandaré**, v.13, n.1, p.9-23, 2005. Disponível em:
- FERREIRA, C.E.L.; FLOETER, S.R.; GASPARINI, J.L.; FERREIRA, B.P. & JOYEUX, J.C. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. **J.Biogeogr.** v.31, n.7, p.1093-1106, 2004. Disponível em:
- FERREIRA, C.E.L. **Ecologia da herbivoria por *Stegastes fuscus* (cuvier, 1830) (Pisces: Pomacentridae), na região do Arraial do Cabo, RJ.**1994. Dissertação de Mestrado. Ecologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP. Disponível em:
- FROESE, R. & PAULY, D. **FishBase**. World Wide Web electronic publication. (version 04/2012). www.fishbase.org. 2012. Disponível em:
- GARCIA, T.M.; MATTHEWS-CASCON, H. & FRANKLIN-JUNIOR W. Macrofauna associated with branching fire coral *Millepora alcicornis* (Cnidária: Hydrozoa). **Thalassas**, v.24, n.1, p.11-19, 2008. Disponível em:
- GIBRAN, F.Z.; SANTOS, F.B.; SANTOS, H.F; SABINO, J. Courtship and spawning of the hairy blenny *Labrisomus nuchipinnis* (Labrisomidae) in southeastern Brazil. **Neotrop. Ichthyol.**, v.2, n.3, p.163–166, 2004. Disponível em:
- GREAT BARRIER REEF MARINE PARK AUTHORITY, **Crown-Of-Thorns Starfish Control Guidelines**, 2nd edition, GBRMPA, 2017,Townsville. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11017/3162> Acesso em: 25 maio. 2021. Disponível em:
- HAAS, A.; FAIROZ, M.; KELLY, L. ET AL. Global microbialization of coral reefs. **Nat. Microbiol.** v.1, n.6, p., 1-7, 2016. Disponível em:
- HEUER, R.M. & GROSELL, M. Physiological impacts of elevated carbon dioxide and ocean acidification on fish. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.307, n.9, p. R1061-R1084, 2014. Disponível em:
- HIXON, M.A. 60 years of coral reef fish ecology: past, presente, future. **Bull. Mar. Sci**, v.87, n.4, p.,727-765, 2011. Disponível em:
- HOEGH-GULDBERG, O. ET AL. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **Science**, v.318, n. 5857, p.1737-1742, 2007. Disponível em:
- HUGHES, T.P.; RODRIGUES, M.J. ET AL. Phase Shifts, Herbivory, And The Resilience Of Coral Reefs To Climate Change. **Current Biology**, v.17, n.4, p. 360-365. 2007. Disponível em:

HUGHES, T.P.; GRAHAM, N.A.J.; JACKSON, J.B.C.; MUMBY, P.J. & STENECK, R.S. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. **Trends Ecol Evol**, v. 25, n. 11, p., 633-642, 2010. Disponível em:

HUMANN, P. **Reef Fish Identification**. Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publications, Inc. 2da ed., 396 pp 1994

ILARRI, M.I.; SOUZA, A.T.; MEDEIROS, P.R.; GREMPER, R.G. & ROSA, I.M.L. Effects Of Tourist Visitation And Supplementary Feeding On Fish Assemblage Composition On A Tropical Reef In The Southwestern Atlantic. **Neotrop. Ichthyol**, v.6, n.4, p.,651-656, 2008. Disponível em:

IPCC (2018) Global warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,. In Press

JAN, R.Q.; HO, C.T.; SHIAH, F.K. Determinants of territory size of dusky gregory. **J Fish Biol**, v.63, p.1589–1597, 1993. Disponível em:

JOHNSON, M.K.; HOLBROOK, S.J.; SCHMITT, R.J.; BROOKS, A.J. Fish communities on staghorn coral: effects of habitat characteristics and resident farmerfishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 91, n. 4, p.429–448, 2011. Disponível em:

LEAL, I.C.S.; PEREIRA, P.H.C.; ARAUJO, M.E. Coral reef fish association and behaviour on the fire coral *Millepora* spp. In north-east Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v.93, n. 6, p. 1703-1711, 2013. Disponível em:

LETOURNEUR, Y. Spatial and Temporal Variability in Territoriality of a Tropical Benthic Damselfish on a Coral Reef (Réunion Island). **Environ. Biol. Fishes**, v.57, n.4, p.,377–391, 2000. Disponível em:

MAIDA, M. & FERREIRA, B.P. **Coral reefs of Brazil**: an overview. In: proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium. v.1, p.263-274, 1997. Disponível em:

MAIDA, M. & FERREIRA, B.P. Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais. In: PRATES, A.P.L. (ed) Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 86-90, 2003. Disponível em:

MEDEIROS, P.R.; SOUZA, A.T. & ILARRI, M.I. Habitat use and behavioural ecology of the juveniles of two sympatric damselfishes (Actinopterygii: Pomacentridae) in the south-western Atlantic Ocean. **Fish Biol**, v. 77, n. 7, p. 1599-1615, 2010. Disponível em:

MUNDAY, P.L.; JONES, G.P.; CALEY, M.J. Habitat specialization and the distribution and abundance of coral-dwelling gobies. **Marine Ecology Progress Series** v.152, n.1-3, p.227–239, 1997. Disponível em:

OGDEN, J.C.; LOBEL, P.S. The role of herbivorous fishes and urchins in coral reef communities. **Environmental Biology of Fishes**, v.3, n.1, p.49-63, 1978. Disponível em:

PANDOLFI, J.M. ET AL. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. **Science**, v.301, n.5635, p. 955-958, 2003. Disponível em:

PAULAY, G. Diversity and distribution of reef organisms. Life and death of coral reefs, p.198-229, 1997. Disponível em:

PEREIRA, P.H.C.; LEAL, I.C.S.; ARAUJO, M.E.; SOUZA, A.T. Feeding association between reef fishes and the fire coral *Millepora* spp. (Cnidaria: Hydrozoa). **Marine Biodiversity Records**, v. 5, n.42, p. 1–4, 2012. Disponível em:

RANDALL, J.E. Caribbean reef fishes. T.F.H. Publications, 3ra ed., Jersey City, 318 pp. 1996. Disponível em:

ROBERTSON, D.R. Cohabitation of competing territorial damselfishes on a Caribbean coral reef. **Ecology**, v.65, n.4, p.1121-1135, 1984. Disponível em:

ROCHA, L.A. & MYERS, R. 2015. *Microspathodon frontatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015:e.T188622A1903771. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T188622A1903771.en>.

SAMMARCO, P.W.; RISK, M.J. & ROSE, C. Effects of grazing and damselfish territoriality on internal bioerosion of dead corals: indirect effects. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.112, n.2, p.185-199, 1987. Disponível em:

SPALDING, M.D.; RAVILIOUS, C. & GREEN, E.P. **World atlas of coral reefs**. UNEP World Conservation Monitoring Center, 178 p., Univ of California Press, USA, 2001. Disponível em:

SCHWAMBORN, S.H.L. & FERREIRA, B.P. A structure and role of the dusk damselfish, *Stegastes fuscus*, from Tamandare reefs, Pernambuco, Brazil. **Enviro Biol Fishes**, v.6, n.1, p.,79-88, 2002. Disponível em:

SZMANT, A. M. Introduction to the special issue of Coral Reefs on “Coral reef algal communities”. **Coral Reefs**, v.19, n.4, p.299-302. 2001. Disponível em:

TRESGUERRES, M. & HAMILTON, T.J. Acid–base physiology, neurobiology and behaviour in relation to CO₂-induced ocean acidification. **J Exp Biol**, v. 220, n. 12, p.2136-2148, 2017. Disponível em:

WILKINSON, C. Coral bleaching and mortality - the 1998 Event 4 years later and bleaching to 2002. In: Status of Coral Reefs of the World: 2002, edited by C.Wilkinson, pp. 33-44, Global Coral Reef Monitoring Network and Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia, 2002. Disponível em:

WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world**: 2008. Townsville: Global Coral Reef Monitoring Network, 2008. Disponível em: