



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

**EFEITOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL MARINHA EM PEIXES E
ZOANTÍDEOS DE RECIFES NO LITORAL DA PARAÍBA - BRASIL**

IGNÁCIO EVARISTO MONTEIRO NETO

CAMPINA GRANDE-PB

2019

IGNÁCIO EVARISTO MONTEIRO NETO

**EFEITOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL MARINHA EM PEIXES E
ZOANTÍDEOS DE RECIFES NO LITORAL DA PARAÍBA - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação como requisito necessário para a obtenção do grau de mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias

Coorientadora: Profa. Dra. Enelise Marcelle Amado

CAMPINA GRANDE-PB

2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M775e Monteiro Neto, Ignácio Evaristo.
Efeitos da temperatura superficial marinha em peixes e zoantídeos de recifes no litoral da Paraíba - Brasil [manuscrito] / Ignácio Evaristo Monteiro Neto. - 2019.
74 p. : il. colorido.
Digitado.
Dissertação (Mestrado em Pós Graduação em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."
"Coorientação: Profa. Dra. Enelise Marcelle Amado, Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."
1. Aquecimento global. 2. Peixes recifais. 3. Temperatura marinha. 4. Palythoa caribaeorum. I. Título
21. ed. CDD 577.7

IGNÁCIO EVARISTO MONTEIRO NETO

**EFEITOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL MARINHA EM PEIXES E
ZOANTÍDEOS DE RECIFES NO LITORAL DA PARAÍBA – BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação como requisito necessário para a obtenção do grau de mestre em Ecologia e Conservação.

Aprovado em 28 /02/2019

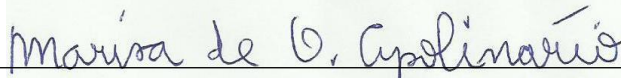
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
(Orientadora)



Profa. Dra. Anne Isabelley Gondim
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
(Examinador interno)



Profa. Dra. Marisa de Oliveira Apolinário
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
(Examinador externo)

À pessoa que me ajudou em vários sentidos durante o mestrado, DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, paz e saúde, pela força de resistir, persistir, insistir, pensar, agir, aguardar, se recompor e seguir firme pensando nas estratégias para tudo acontecer.

Agradeço por todas as dificuldades que a pesquisa me impôs, pois demonstrou a capacidade que fui adquirindo de superar as adversidades, com a perspectiva da benfeitoria e responsabilidade com o trabalho desenvolvido.

Obrigado a CAPES pelo financiamento do mestrado, tornando viável o desenvolvimento deste trabalho. Assim como agradeço ao PPGECC pela formação e toda amizade construída. Ao secretário, Júlio, valeu por sempre está ajudando nós alunos com os processos internos do programa.

Agradeço a minha família que é a base da minha existência. Em especial aos meus pais Irenildo Evaristo e Ana Lígia. Obrigado por todo apoio em educação que fizeram durante toda minha vida!

O meu muito obrigado a Antônio (Toni), Samuell, Iago, Camila, Diego, Jonh, Venycius, Eudes (dono da lancha avião de Picãozinho), os quais ajudaram de uma forma ou outra nos campos. Luis Carlos (Pop), obrigado pela amizade e todas as conversas a respeito dos campos e coleta de espécimes, seus conhecimentos contaram muito!

Em especial, agradeço a pessoa a quem dediquei esse trabalho, Camilla Rayane. Esteve presente em todos os campos e experimentos realizados me ajudando e dando força. Ela sabe o verdadeiro trabalho que foi dispendido para a realização dessa pesquisa. Obrigado pelo auxílio no que precisei para as estatísticas. Nesses dois anos o trabalho foi bem intenso, as vezes desgastante pela logística do campo, mas deu tudo certo!

Concluo agradecendo as orientadoras Thelma Dias e Enelise Amado. Obrigado, Thelma, pela confiança desde que aceitou me orientar no mestrado, és uma pessoa admirável enquanto profissional e pessoa. Obrigado pelo conhecimento passado nas reuniões, nas

disciplinas ministradas, e pela oportunidade que me deu de palestrar pela primeira vez em um evento científico (Um dia no mar). Enelise, agradeço por ser uma pessoa de grande importância na minha formação acadêmica, onde iniciei a estagiar teoricamente em setembro de 2012. Obrigado por ter deixado as portas do laboratório abertas para eu executar a experimentação do mestrado, foi imprescindível para que a logística desse certo. Obrigado por disponibilizar a aula de estratégias de navegação animal para que eu cumprisse o estágio de docência. Pudessem escolher 2 novos orientadores, escolheria vocês duas novamente! Vocês são demais.

“Tenho pensamentos que, se pudesse revelá-los e fazê-los viver, acrescentariam nova luminosidade às estrelas, nova beleza ao mundo e maior amor ao coração dos homens.”

Fernando Pessoa

RESUMO

As espécies marinhas, sobretudo aquelas de ambientes recifais, correm sério risco de sofrerem declínio populacional nos próximos anos, uma vez que a temperatura é ascendente devido as incessantes práticas humanas que lançam gases estufa na atmosfera. Organismos como peixes e cnidários por serem ectotérmicos são sensíveis a alterações na temperatura oceânica, o que traz uma preocupação para esses táxons em particular. Essa problemática é mais acentuada quando se trata de regiões tropicais, pois nessas áreas as espécies tendem a apresentar uma estreita faixa de tolerância térmica devido a relativa estabilidade da temperatura nos trópicos. Nessa perspectiva, há previsões para as próximas décadas que destacam o aquecimento térmico das águas oceânicas como causadora da diminuição da abundância de peixes e cnidários, como os zoantídeos, podendo chegar a extinção local de espécies. Desta forma, esse trabalho objetivou avaliar o efeito do aumento da temperatura das águas superficiais marinhas em peixes e zoantídeos de recifes tropicais situados no litoral da Paraíba (nordeste do Brasil), através de coletas de dados em campo e experimentação laboratorial explorando os limites de tolerância termal. Como resultados, foi observado que as colônias de *Palythoa caribaeorum* dos recifes dos Seixas demonstraram uma melhor saúde nos últimos meses de verão, com mais áreas sadias e menos pálidas e mortas. Por outro lado, nos recifes de Picãozinho, a saúde das colônias apresentaram uma estabilidade durante os meses de verão. Quanto aos peixes recifais, foi constatado que a temperatura crítica máxima (CT_{máx}) das três espécies (*Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum*, *Haemulon squamipinna*) não diferiram, ficando em torno de 37,4 °C, diferentemente da temperatura letal máxima (LT_{máx}) a qual *S.variabilis* registrou 40°C, representando mais de 1°C em relação aos haemulídeos. Visando esses resultados, os zoantídeos parecem ser bons indicadores das condições ambientais, assim como, os experimentos de tolerância térmica traz importantes perspectivas de possíveis previsões de impactos da elevação da temperatura oceânica na fauna.

Palavras-chave: Aquecimento global. *Palythoa caribaeorum*. *Stegastes variabilis*. *Haemulon aurolineatum*. *Haemulon squamipinna*

ABSTRACT

Marine species, particularly those in reef environments, are seriously at risk of population decline over the next few years, as temperatures rise due to endless human practices that release greenhouse gases into the atmosphere. Organisms such as fish and cnidarians for being ectothermic are sensitive to changes in ocean temperature, which brings a concern to these particular taxa. This problem is more accentuated when it comes to tropical regions, because in these areas the species tend to present a narrow range of thermal tolerance due to the relative temperature stability in the tropics. In this perspective, there are predictions for the next decades that emphasize the thermal heating of the ocean waters as the cause of the decrease of the abundance of fish and cnidarians, as the zoantídeos, being able to reach the local extinction of species. The objective of this work was to evaluate the effect of the increase of the temperature of the marine surface waters on fish and zoanths of tropical reefs located in the coast of Paraíba (northeastern Brazil), through data collection in the field and laboratory experimentation exploring tolerance limits thermal. As a result, it was observed that the colonies of *Palythoa caribaeorum* of Seixas reefs showed better health in the last months of summer, with more healthy and less pale and dead areas. On the other hand, in the reefs of Picãozinho, the health of the colonies presented a stability during the summer months. As for the reef fish, it was observed that the maximum critical temperature (CT_{max}) of the three species (*Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum*, *Haemulon squamipinna*) did not differ, being around 37,4 °C, unlike the maximum lethal temperature (LT_{max}) which *S. variabilis* recorded 40°C, representing more than 1°C in relation to the haemulídeos. Aiming at these results, zoanths appear to be good indicators of environmental conditions, as well as thermal tolerance experiments provide important perspectives for possible predictions of impacts of ocean temperature elevation on fauna.

Keywords: Global warming. *Palythoa caribaeorum*. *Stegastes variabilis*. *Haemulon aurolineatum*. *Haemulon squamipinna*

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1 - Colônia de *Palythoa caribaeorum* do recife de Picãozinho – PB. Foto: Ignácio E.M. Neto 19
- Figura 2 - Indivíduo jovem de *Stegastes variabilis* nos recifes do Seixas – PB. Foto: Ignácio E. M. Neto 21
- Figura 3 - Indivíduos jovens de *Haemulon aurolineatum* (A) e *H. squamipinna* (B) nos recifes do Seixas – PB. Foto: Ignácio E. M. Neto 22

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Mapa de localização dos pontos amostrais no litoral do município de João Pessoa, PB. Área do mapa em amarelo: recifes de Picãozinho; e em verde: recifes do Seixas. Mapa: Thelma L. P. Dias 37
- Figura 2: Coleta de dados da cobertura bentônica através de mergulho livre.....38
- Figura 3 - Área média de colônias sadias por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P – Picãozinho; aos meses: D – dezembro, J – janeiro, F – fevereiro e M – março; e à categoria: S – sadia. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) 38
- Figura 4 - Área média de colônias pálidas por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P – Picãozinho; aos meses: D – dezembro, J – janeiro, F – fevereiro e M – março; e à categoria: P – pálida. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) 41
- Figura 5 - Área média de colônias mortas por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P – Picãozinho; aos meses: D – dezembro, J – janeiro, F – fevereiro e M – março; e à categoria: M – morta. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) 41
- Figura 6 - Representação da cobertura bentônica. As siglas representam: AC – algas calcárias, MA – macroalgas, B – branqueada, S – sadia, CR – crescimento reprodutivo, Z – *Zoanthus*

sociatus, PT – *Protopalythoa variabilis*, D – doente, M – morta, T – turf, P – pálida, RE – rocha exposta, A – areia, CS – cascalho e N – necrose 44

CAPÍTULO II

Figura 1 - Ordem dos processos realizados para a experimentação do CTmax e LTmax.....

Figura 2 - Peso (A), comprimento padrão (B), temperatura crítica máxima (C) e temperatura letal máxima (D) de *Haemulon aurolineatum*, *H. squamipinna* e *Stegastes variabilis*. Letras diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$) 63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Área das categorias relacionadas à saúde dos zoantídeos *P. caribaeorum* em meses de verão (2017-2018) nos recifes do Seixas e Picãozinho, representadas como média \pm erro padrão. As categorias são apresentadas como siglas, as quais significam, respectivamente: S – sadia, P – pálida, CR – crescimento reprodutivo, B – branqueada, M – morta e (---) não houve ocorrência.....42

Tabela 2 - Porcentagem de cobertura bentônica dos recifes do Seixas e Picãozinho, durante meses de verão (Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março) 2017-2018. As categorias apresentadas por códigos são respectivamente: S – sadia, P – pálida, CR – crescimento reprodutivo, B – branqueada, M – morta, AC – algas calcárias, MA – macroalgas, T – turf, RE – rocha exposta, CS – cascalho, AR – areia, PT – *Protopalythoa variabilis* e Z – *Zoanthus sociatus* 45

Tabela 3 - Temperaturas e salinidades médias \pm erro padrão, dos pontos de amostragem entre os meses de verão 46

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Valores de comprimento padrão, peso, temperatura crítica máxima e temperatura letal das espécies, representados como média (\pm erro padrão) (min – máx) 61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CT _{máx}	Temperatura Crítica Máxima
<	Menor que
≤	Menor ou igual
≥	Maior ou igual
~	Aproximadamente
m	Metros
m ²	Metros quadrados
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS	24
2.1 Geral.....	24
2.2 Específicos.....	24
3. LITERATURA CITADA	25
4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	31
5. CAPÍTULO I: Avaliação da saúde do zoantídeo <i>Palythoa caribaeorum</i> (DUCHASSAING e MICHELOTTI, 1860) em recifes no litoral da Paraíba – Brasil.	33
5.1. INTRODUÇÃO.....	35
5.2. METODOLOGIA.....	37
5.2.1. Área de estudo.....	37
5.2.2. Coleta de dados dos Zoantídeos.....	38
5.2.3. Análise dos dados.....	39
5.3. RESULTADOS.....	40
5.4. DISCUSSÃO.....	46
5.5. CONCLUSÕES.....	49
5.6. REFERÊNCIAS.....	50
6. CAPÍTULO II: Tolerância térmica máxima de peixes recifais tropicais no nordeste do Brasil	56
6.1. INTRODUÇÃO.....	59
6.2. METODOLOGIA.....	60
6.2.1. Espécies-foco.....	60
6.2.2. Coleta e aclimação dos peixes.....	60
6.2.3. Determinação da temperatura crítica máxima (CT _{máx}).....	62
6.3. RESULTADOS.....	63
6.4. DISCUSSÃO.....	65
6.5. CONCLUSÕES.....	67
7 CONCLUSÕES GERAL	69
. REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Aumento da temperatura oceânica

As alterações climáticas em âmbito global são provocadas, principalmente, pelas várias atividades antrópicas que resultam no lançamento de gases do efeito estufa na atmosfera, em especial, o dióxido de carbono (CO₂) (MOLION, 2008), o qual têm a capacidade de alterar as características das propriedades físicas e químicas dos oceanos (STOCKER *et al.*, 2013). Uma das características físicas alteradas é a temperatura da água, onde seu aumento pode impactar substancialmente a biota aquática, e esses impactos podem ser acumulados ou ter efeitos maximizados quando somados à sobreexploração de recursos vivos, destruição de habitats e poluição (GATTUSO *et al.*, 2015).

Desde o período pós revolução industrial, o oceano experimentou aumentos na temperatura superficial e no nível do mar, assim como acidificação das águas (FEELY *et al.*, 2009). As projeções são de que mudanças oceanográficas perdurem e se agravem no século 21 trazendo uma taxa de mudança sem antecedentes, atingindo concentrações de dióxido de carbono que não ocorrem desde os tempos geológicos (GATTUSO *et al.*, 2015). Alguns organismos marinhos como os peixes e invertebrados são particularmente sensíveis às mudanças nas condições marinhas por serem ectotérmicos, tendo a temperatura corpórea e o desempenho biológico variável de acordo com o meio ambiente (PÖRTNER, 2002). As alterações climáticas que estão em andamento podem afetar os organismos a nível de indivíduo independente do estágio de vida, populações, comunidades, podendo chegar a comprometer o funcionamento dos ecossistemas (PÖRTNER e PECK, 2010).

Diferentemente de espécies que ocorrem em outras áreas do oceano, espécies marinhas que habitam a região tropical, em sua maioria, apresentam uma estreita faixa de tolerância à temperatura, devido à relativa estabilidade térmica tropical (CHEUNG *et al.*, 2016). Isso torna espécies tropicais mais sensíveis ao aquecimento e outras alterações oceanográficas (BURROWS *et al.*, 2014). A elevação da temperatura em ambientes recifais pode acarretar para a biota um aumento do estresse térmico, dessecação de organismos que ficam expostos na maré baixa, provocar uma distribuição latitudinal e alterar a abundância de espécies (POLUNIN, 2008).

No que diz respeito as mudanças climáticas globais, a exposição de cada espécie está vinculada a sua sensibilidade, nos quais os organismos passam por mudanças comportamentais e evolutivas em seu genoma para lidar com essa adversidade, sendo que ultimamente as elevações termais estão ocorrendo em um nível acelerado, exigindo assim uma maior adaptabilidade das espécies. Existe uma variedade de traços fenotípicos evidenciando a adaptação de invertebrados às alterações climáticas, dentre elas encontra-se a tolerância térmica (ver CARNICER *et al.*, 2017).

As previsões até o ano de 2100 destacam os peixes e cnidários sésseis como os organismos que possuem alto risco de serem afetados pelo aumento da temperatura (GATTUSO *et al.*, 2015). Os efeitos desse aumento possivelmente poderão ser mais expressivos em espécies que possuem, por exemplo, comportamento territorialista, como o caso do peixe recifal *Stegastes fuscus* (OSÓRIO *et al.*, 2006), tendo em vista que esses indivíduos possuem seu habitat restrito à determinada área, bem como os zoantídeos que são cnidários coloniais e de hábito sésstil. Previsões para 2100, nos ecossistemas marinhos de ilhas do Pacífico, indicam que a temperatura aumentará ≥ 3 graus, sendo essa, uma das alterações associadas à taxa de extinção local de espécies. Essa taxa poderá ser superior a 50% em algumas regiões devido à diminuição da abundância de peixes e invertebrados, ou devido a suas migrações para áreas com condições bioclimáticas mais favoráveis (ASCH *et al.*, 2018).

Distúrbios ambientais, como as mudanças climáticas globais, têm capacidade de gerar grandes extinções, em que durante extinções em massa, os grupos mais ativos foram menos impactados (CLAPHAM, 2017), destacando a importância de monitoramento e conservação dos atuais táxons de hábito sésstil.

1.1.1 Zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (DUCHASSAING e MICHELOTTI, 1860)

O gênero *Palythoa* está inserido na ordem Zoantharia, que inclui as espécies de cnidários sésseis, os quais se desenvolvem em colônias onde os pólipos não apresentam esqueleto carbonático (SINNIGER *et al.*, 2005). Assim como os corais, eles apresentam associação com algas simbiotes, sendo considerados zooxantelados, apresentando aquisição de matéria orgânica por meio autotrófico, bem como se alimentando heterotroficamente. Podem apresentar ampla plasticidade trófica, que possivelmente

está ligada à sua natureza competitiva, utilizando como recurso uma gama de microalgas, protistas, nematódeos, ovos de invertebrados e fragmentos de crustáceos (SANTANA *et al.*, 2015).

Palythoa caribaeorum apresenta grande importância na estruturação das comunidades recifais, por apresentar hábito alimentar suspensívoro, se alimentando de fitoplâncton e zooplâncton, permitindo o fluxo de energia para os níveis tróficos superiores, tendo em vista que podem ser predados por alguns peixes recifais como *Abudefduf saxatilis*, *Pomacanthus arcuatus*, *Pomacanthus paru* e *Cantherhines macrocerus* e tartarugas marinhas *Chelonia mydas* (SANTANA *et al.*, 2015; SPIER e GERUM, 2016; FRANCINI-FILHO e MOURA, 2010; LONGO *et al.*, 2012). Além desse fato, *P. caribaeorum* também atua como refúgio para diversas espécies de invertebrados, como poliquetas, crustáceos, nematódeos e moluscos, que foram observados vivendo sob suas colônias (PÉREZ *et al.*, 2005) e peixes como *S. fuscus*.

Os zoantídeos colonizam grande parte dos substratos nos ecossistemas recifais, consolidados ou não, os quais compreendem grande parte da biomassa animal desses habitats (RABELO *et al.*, 2015). A espécie-foco desse trabalho, *Palythoa caribaeorum* (Figura 1), possui distribuição ao longo de quase toda a costa do Atlântico ocidental (KEMP *et al.*, 2006) e é altamente abundante no litoral brasileiro. Formam colônias e se estendem desde a zona entremarés, região de recifes rasos, onde as densidades das zooxantelas são encontradas igualmente distribuídas no centro e na borda das colônias, até a zona infralitoral 3-15m de profundidade, onde as zooxantelas de maiores tamanhos foram encontradas em maiores profundidades, sendo responsáveis por aumentar a eficiência fotossintética desses organismos (SANTOS *et al.*, 2016).



Figura 1. Colônia de *Palythoa caribaeorum* do recife de Picãozinho – PB. Foto: Ignácio E. M. Neto.

Colônias de *P. caribaeorum* apresentam altas taxas de crescimento, 2.5-4.0 mm / dia, sendo considerada uma das maiores taxas conhecidas para antozoários (SUCHANEK e GREEN, 1981), sendo competitivamente superiores as outras espécies, como por exemplo *Zoanthus sociatus*, garantindo sua prevalência nos ambientes recifais (BASTIDAS e BONES, 1996).

No Brasil, *P. caribaeorum*, por apresentar a produção abundante de um muco que hidrata seu tecido e evita seu ressecamento durante exposição aérea em períodos de maré baixa, deu origem ao nome popular de “baba-de-boi” (PÉREZ *et al.*, 2005). Essa característica reflete uma adaptação dessa espécie a condições desafiadoras de habitats recifais, os quais apresentam variação de maré (ROSA *et al.*, 2016). Esse muco é utilizado por pescadores no Nordeste para fins terapêuticos, como analgésico e anti-inflamatório (MELO *et al.*, 2012). Essa utilização foi verificada por SOARES *et al.* (2006), que observaram que o muco apresenta apenas ação analgésica. Outros trabalhos verificam as possíveis ações terapêuticas dos zoantídeos e demonstraram a atividade da toxina presente no muco (palitoxina ou PTX) (ver ALENCAR *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2012).

Considerando todas essas características, a espécie torna-se vulnerável a alterações ambientais. Alguns impactos de origem antropogênica sobre os zoantídeos são descritos na literatura, tais como o sistema de ancoragem de embarcações em locais de mergulho (GIGLIO *et al.*, 2017), presença de espécies de bactérias patogênicas humanas causando doenças nas colônias e o aumento da temperatura representando o fator com maior capacidade de afetar grandes áreas de colônias desses cnidários em ecossistemas recifais (PAULINO *et al.*, 2017; ACOSTA, 2001). Os eventos de branqueamento de *Palythoa caribaeorum* estão associados ao aumento da temperatura da superfície da água do mar e radiação UV, onde em temperaturas elevadas ocorre a perda de associação com as zooxantelas, de forma que as colônias que experimentam maior variação natural de temperatura são mais resistentes a elevação térmica (LESSER *et al.*, 1990; KEMP *et al.*, 2006).

Os danos aos cnidários por exemplo, já têm sido relatados em vários trabalhos realizados, demonstrando um grande impacto do aumento da temperatura nesses organismos, como o declínio da calcificação dos recifes (SILVERMAN *et al.*, 2009), o branqueamento, surgimento de doenças e morte de muitas colônias, como observado, por exemplo, em recifes costeiros no nordeste do Brasil (e.g. DIAS e GONDIM, 2016; LEÃO *et al.*, 2010).

Nos meses de verão, estas áreas também podem apresentar temperaturas da água elevadas em pontos diversos da formação. As duas áreas já sofreram anomalias térmicas da água superficial, como relatado por AMORIM *et al.* (2011), COSTA *et al.* (2013) e DIAS e GONDIM (2016).

No recife de Picãozinho, a realização de atividade turística sem o adequado planejamento ambiental e turístico acontece há mais de quinze anos (AMORIM e SASSI, 2009) e no Seixas mais recentemente. A principal forma para os visitantes chegarem aos ambientes recifais são através de catamarãs que comportam em média de 40 a 100 usuários em busca de atividades de mergulho e de fotografar a beleza natural (DEBEUS, 2008). Atualmente, existem catamarãs de maior porte capazes de transportar um número bem superior de pessoas (>150), os quais ofertam o fornecimento de comidas e bebidas. Além dos catamarãs também ocorrem os passeios comerciais de lanchas para os ambientes recifais. Somando-se aos catamarãs e lanchas comerciais é possível a observação de embarcações particulares como lanchas, jet-skis e não motorizados como caiaques.

Esses ambientes recifais bastante utilizados pelo turismo apresentam especulação de “capacidade de carga” a qual é definida por STANKEY e MANNING (1986) como a determinação de uma quantidade máxima de usuários que uma área de visitação pode suportar sem que impactos significativos sejam gerados. Essas capacidades para Picãozinho e Seixas seriam respectivamente 242 pessoas/dia e 26 pessoas/dia (LOURENÇO, 2010).

Ao longo da formação nesses ambientes há variação na profundidade da coluna da água, onde nos locais mais rasos ela varia entre 50 cm a 1,50 m na maré baixa, em marés abaixo de 40 cm parte dela fica exposta, e nos locais mais profundos ela pode variar de 3 - 6m. O sedimento não recifal é caracterizado pela presença de material biogênico entre as formações recifais, principalmente cascalho o qual é composto por partes desintegradas de algas calcárias do gênero *Halimeda*. Esta formação é caracterizada como recife em franja, cuja base geológica ainda não foi registrada. Não é considerado um recife de coral verdadeiro por acreditar-se que assim como em outras formações recifais do nordeste, elas estejam sobre uma estrutura de recife de arenito (MAIDA e FERREIRA, 2004).

O pisoteio, a movimentação e ancoragem de embarcações, alimentação da fauna pelos banhistas e lixo representam os processos impactantes mais comuns gerados em Picãozinho pelas atividades de recreação/turismo (COSTA *et al.*, 2007). Atualmente, essas mesmas atividades e seus impactos são observados nos recifes do Seixas (obs pessoal).

Nesse contexto, os zoantídeos *P. caribaeorum* são bons indicadores de alterações térmicas por serem sensíveis ao branqueamento sob estresse fisiológico, apresentando maior sensibilidade que os próprios corais, podendo demonstrar essas alterações antes mesmo delas serem observadas nos corais. As colônias de menores tamanhos são menos susceptíveis ao branqueamento devido ao fluxo de massa abranger toda a colônia, assim como o branqueamento é menor nas bordas das colônias por apresentar maior efluxo de espécies reativas de oxigênio (ROS) (FUJIMURA e RIEGL, 2017).

1.1.2 Peixes

Os peixes são considerados organismos importantes para o funcionamento dos ecossistemas recifais, auxiliando na manutenção e estruturação das teias tróficas, em

contrapartida, encontram refúgio, alimentação e abrigo para reprodução (DE SOUZA *et al.*, 2007). Dentre os peixes recifais encontrados no Brasil, destacamos três espécies, *Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum* e *Haemulon squamipinna*, abundantes nos recifes costeiros do litoral brasileiro e mais especificamente no litoral da Paraíba (FLOETER, 2003; DE SOUZA *et al.*, 2007).

Stegastes variabilis (Figura 2) é membro de uma das maiores famílias de peixes recifais, a família Pomacentridae, na qual o gênero *Stegastes* compõe as principais espécies de herbívoros territorialistas (PARMENTIER e FRÉDÉRICH, 2016). A herbivoria os tornam espécies-chave no ecossistema, prevenindo a dominância das algas em relação aos corais e estruturando as comunidades bentônicas, tendo papel fundamental no ecossistema recifal (CECCARELI *et al.*, 2005; FEITOSA *et al.*, 2012; HATA e CECCARELLI, 2016). Já o comportamento territorialista restringe sua área de vida a seus territórios (OSÓRIO *et al.*, 2006), podendo apresentar maior suscetibilidade a alteração de temperatura, tendo em vista que esses indivíduos permanecem em sua área territorial.



Figura 2. Indivíduo jovem de *Stegastes variabilis* nos recifes do Seixas – PB. Foto: Ignácio E. M. Neto.

Já *Haemulon aurolineatum* e *H. squamipinna* (Figura 3), pertencentes à família Haemulidae, estão compreendidos dentre as 15 espécies do gênero *Haemulon*, a qual os representantes apresentam-se distribuídos ao longo da costa do Atlântico Ocidental e Pacífico Leste (ROCHA e ROSA, 1999). Esse gênero apresenta espécies que formam cardumes e possuem hábito alimentar onívoro (PEREIRA *et al.*, 2011; PEREIRA e FERREIRA, 2013), sendo espécies com ampla distribuição da área de vida, que

ocasionalmente apresentam deslocamentos para outras regiões recifais, caso haja alterações nas condições ideais para esses indivíduos.

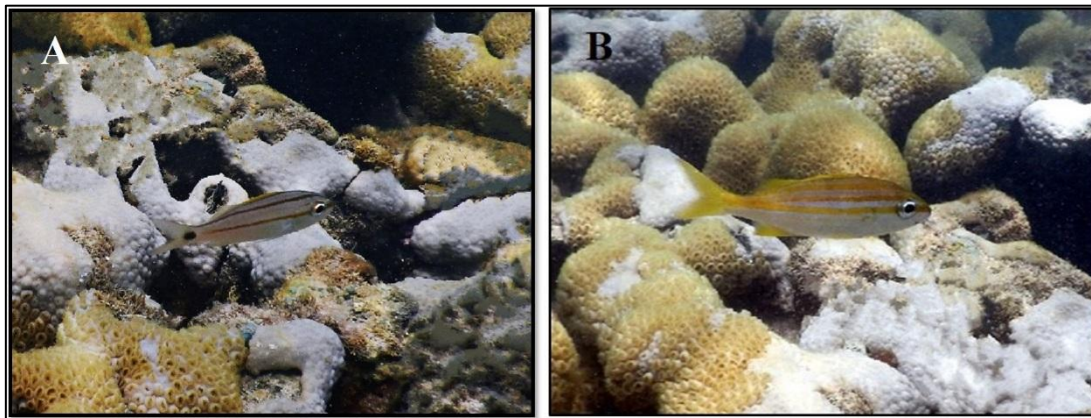


Figura 3. Indivíduos jovens de *Haemulon aurolineatum* (A) e *H. squamipinna* (B) nos recifes do Seixas – PB. Foto: Ignácio E. M. Neto.

Desta forma, as espécies utilizadas como modelo neste trabalho, vão desde indivíduos que possuem ampla área de vida (home range), quanto indivíduos com área territorial em ambientes rasos, podendo ser realizados experimentos que avaliem a vulnerabilidade intraespecífica à variação de temperatura em espécies de diferentes características biológicas, podendo assim, gerar modelos macrofisiológicos que avaliem respostas de animais a mudanças ambientais como elevação da temperatura.

É importante destacar que os táxons-foco deste trabalho (peixes e zoantídeos) apresentam interação ecológica quando pensamos no ecossistema como um todo, pois a diminuição dos zoantídeos e corais, que contribuem para a composição do ambiente, pode gerar alteração na estrutura das comunidades de peixes em termos de abundância, densidade e biomassa (GRAHAM e NASH, 2013; MENDONÇA-NETO *et al.*, 2008), dando origem a um efeito cascata para a estrutura trófica desse ambiente. Desta forma, torna-se extremamente importante verificar não apenas os efeitos que o aumento da temperatura pode causar nos organismos de interesse econômico e turístico como os peixes recifais, mas também verificar esses efeitos nos grupos que estruturam suas comunidades, como é o caso dos corais, bem como dos zoantídeos, que pensando a nível do Brasil, apresentam maior representatividade de área em relação aos corais (SANTOS *et al.*, 2016; MENDONÇA-NETO *et al.*, 2008).

1.1.2.1. Temperatura Crítica Máxima (CT_{máx})

O entendimento dos aspectos fisiológicos responsáveis pelas adaptações das espécies aos seus habitats naturais se deve ao estudo da fisiologia térmica. COWLES e BOGERT (1944) apresentaram uma das primeiras contribuições científicas, ao apresentarem a relação entre o comportamento de répteis do deserto e o controle da sua temperatura corpórea. Nos posteriores anos de estudos foram desenvolvidos conceitos aliados com propostas técnicas de averiguação das variáveis associadas à fisiologia termal, os quais foram incluídos em diferentes revisões como a de HUEY e STEVENSON (1979), que ressalta um resumo de métodos de avaliação do desempenho das espécies em resposta ao seu controle térmico. O processo de evolução do assunto até os nossos dias teve foco em descobrir e descrever uma conjuntura de mecanismos fisiológicos na área da fisiologia termal em alguns organismos ectotérmicos como répteis e anfíbios (ANGILLETTA *et al.*, 2002).

Em nível experimental, por exemplo, distintos desempenhos locomotores para respectivas temperaturas resultam em respostas diferentes nos animais, tornando importante o estudo da fisiologia térmica para a compreensão das relações comportamentais e ecológicas das espécies (HUEY e STEVENSON, 1979). Dentre as variáveis mais utilizadas para estudos de padrões na fisiologia termal em relação aos limites de tolerância térmica são as definidas por LUTTERSCHMIDT e HUTCHISON (1997), denominada temperatura crítica máxima (CT_{Max}). O CT_{Max} é de grande aplicabilidade para estudos de ecofisiologia, encontrando-se que alguns ectotérmicos são mais suscetíveis a ação de mudanças ambientais como variações de temperatura (DEUTSCH *et al.*, 2008).

O CT_{Max} nos peixes é determinado por um aumento gradativo na temperatura da água simulando uma elevação térmica ocorrente em seu ambiente natural, sendo considerado a temperatura crítica quando os indivíduos passam a apresentar alterações comportamentais como perda da resposta do endireitamento, quando o indivíduo apresenta movimento lateral da natação em relação ao eixo do corpo, e início súbito de espasmos musculares, quando demonstram contrações musculares involuntárias (MORA e OSPINA, 2001). Uma das estimativas do CT_{Max} é dado pela taxa de aumento de temperatura de 1°C/min, assim como recomendado por LUTTERSCHMIDT e HUTCHISON (1997) e utilizados em vários estudos que

analisaram CTMax de peixes (DÍAZ e BÜCKLE, 1999; HERNÁNDEZ *et al.*, 2002; MORA e MAYA, 2006; PÉREZ *et al.*, 2003 e VINAGRE *et al.*, 2015).

Apenas alguns trabalhos analisaram a temperatura crítica máxima (CTMax) de espécies de peixes de recifes tropicais (e.g. MORA e OSPÍNA 2001), bem como da região costeira do Brasil (e.g. VINAGRE *et al.*, 2015, 2016), que apresenta uma alta biodiversidade (REIS *et al.*, 2016). Nesse contexto, há uma necessidade de trabalhos que relacionem fisiologia termal com mudanças ambientais e conservação de peixes, uma vez que grande parte dos estudos de CTMax são realizados em países como Canadá, Estados Unidos e Índia com peixes de interesse econômico para o mercado alimentício como a truta, esturjão e robalo (SHARMA *et al.*, 2015; LEE *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2017; GALBREATH *et al.*, 2004).

Como destacado por ROESSING *et al.* (2004), sem o conhecimento fisiológico e ecológico das espécies não é possível prever como elas responderiam a perturbações, como as relacionadas à mudança climática global, sendo necessário esse tipo de investigação, tanto para haver possibilidade de manejo futuro para essas populações, como também para a comunidade que depende delas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito do aumento da temperatura das águas superficiais marinhas em peixes e zoantídeos de recifes situados no litoral da Paraíba, através de coletas de dados em campo e experimentação laboratorial explorando os limites de tolerância termal (CT_{máx}), com o intuito de gerar informações acerca dos efeitos do aumento da temperatura em espécies bentônicas e nectônicas de ecossistemas recifais rasos.

2.2 Específicos

- Comparar a saúde das colônias de zoantídeos dos recifes do Seixas e Picãozinho durante meses de verão (dezembro – março), avaliando a taxa de necrose, doenças e níveis de branqueamento das colônias de *Palythoa caribaeorum*;
- Compreender se a temperatura é um fator responsável por causar anomalias nos zoantídeos;
- Analisar a tolerância térmica máxima de indivíduos jovens de *Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum* e *Haemulon squamipinna*;
- Observar se indivíduos territorialistas (*S. variabilis*) suportam temperaturas mais elevadas em relação às outras espécies.

3. LITERATURA CITADA

ACOSTA, A. Disease in zoanthids: dynamics in space and time. **Hydrobiologia**, v. 460, n. 1-3, p. 113-130, 2001.

ALENCAR, D.B. et al. Antioxidant, hemolytic, antimicrobial, and cytotoxic activities of the tropical Atlantic marine zoanthid *Palythoa caribaeorum*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 1113-1123, 2015.

ALMEIDA, J.G.L. et al. Palyosulfonoceramides A and B: unique sulfonylated ceramides from the Brazilian zoanthids *Palythoa caribaeorum* and *Protopalythoa variabilis*. **Marine Drugs**, v. 10, n. 12, p. 2846-2860, 2012.

ANGILLETTA, M.J.; NIEWIAROWSKI, P. H. & NAVAS, C.A. The evolution of thermal physiology in ectotherms. **Journal of Thermal Biology**, v. 27, n. 4, p. 249-268, 2002.

ASCH, R.G.; CHEUNG, W.L. & REYGONDEAU, G. Future marine ecosystem drivers, biodiversity, and fisheries maximum catch potential in Pacific Island countries and territories under climate change. **Marine Policy**, v. 88, p. 285-294, 2018.

BASTIDAS, C. & BONE, D. Competitive strategies between *Palythoa caribaeorum* and *Zoanthus sociatus* (Cnidaria: Anthozoa) at a reef flat environment in Venezuela. **Bulletin of Marine Science**, v. 59, n. 3, p. 543-555, 1996.

BURROWS, M.T., et al. Geographical limits of species-range shifts are suggested by climate velocity, **Nature** 507 492–495, 2014.

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.

CHEUNG, W.W.L. & PAULY, D. Impacts and effects of ocean warming on marine fishes, in: D. Laffoley, J.M. Baxter (Eds.), *Explaining Ocean Warming: Cause, Scale, Effects and Consequences*, IUCN, Switzerland, pp. 239–253, 2016.

COWLES, R. B. & BOGERT, C. M. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles. **Iguana**, v. 83, p. 53, 1944.

- DE SOUZA, A.T. et al., Fishes (Elasmobranchii and Actinopterygii) of Picãozinho reef, Northeastern Brazil, with notes on their conservation status. **Zootaxa**, v. 1608, p. 11-19, 2007.
- DEUTSCH, C.A. et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.
- DIAS, T.L.P. & GONDIM, A.I. Bleaching in scleractinians, hydrocorals, and octocorals during thermal stress in a northeastern Brazilian reef. **Marine Biodiversity**, v. 46, n. 1, p. 303-307, 2016.
- DÍAZ, F. & BÜCKLE, L. F. Effect of the critical thermal maximum on the preferred temperatures of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures. **Journal of Thermal Biology**, v. 24, n. 3, p. 155-160, 1999.
- FEELY, R.A.; DONEY, S.C.; COOLEY, S.R. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO₂ world. **Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 36-47, 2009.
- FEITOSA, J. L. L. et al. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **Journal of Sea Research**. v.70, p.42-49, 2012.
- FLOETER, S. R. et al. Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks. **Brazilian Reef Fish Project**, 2003.
- FRANCINI-FILHO, R.B. & MOURA, R.L. Predation on the toxic zoanthid *Palythoa caribaeorum* by reef fishes in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 77-79, 2010.
- FUJIMURA, A.G. & RIEGL, B.M. Effects of water flow on intra-and intercolonial variability in bleaching of the zoanthid, *Palythoa caribaeorum*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 490, p. 29-33, 2017.
- GALBREATH, P.F.; ADAMS, N.D. & MARTIN, T.H. Influence of heating rate on measurement of time to thermal maximum in trout. **Aquaculture**, v. 241, n. 1, p. 587-599, 2004.
- GATTUSO, J.P. et al., Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios, **Science** 349 (6243) (aac4722-1-10), 2015.

GIGLIO, V.J. et al. Anchoring damages to benthic organisms in a subtropical scuba dive hotspot. **Journal of Coastal Conservation**, v. 21, n. 2, p. 311-316, 2017.

GRAHAM, N. A. J.; NASH, K. L. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. **Coral Reefs**, v. 32, n. 2, p. 315-326, 2013.

HATA, H. & CECCARELLI, D. M. Farming Behaviour of Territorial Damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), *Biology of damselfishes* (pp. 404–448). **Boca Raton: CRC press**. 2016.

HERNÁNDEZ, M. et al. Temperature tolerance polygon of *Poecilia sphenops* Valenciennes (Pisces: Poeciliidae). **Journal of Thermal Biology**, v. 27, n. 1, p. 1-5, 2002.

HUEY, R.B. & STEVENSON, R. D. Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: a discussion of approaches. **American Zoologist**, v. 19, n. 1, p. 357-366, 1979.

KEMP, D.W. et al. A comparison of the thermal bleaching responses of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* from three geographically different regions in south Florida. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 335, n. 2, p. 266-276, 2006.

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 224-235, 2010.

LEE, S. et al. Effects of feed restriction on the upper temperature tolerance and heat shock response in juvenile green and white sturgeon. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 198, p. 87-95, 2016.

LESSER, M. P. et al. Bleaching in coral reef anthozoans: effects of irradiance, ultraviolet radiation, and temperature on the activities of protective enzymes against active oxygen. **Coral Reefs**, v. 8, n. 4, p. 225-232, 1990.

LONGO, G. O. et al. First record of predation on reproductive *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa: Sphenopidae): insights on the trade-off between chemical defenses and nutritional value. **Marine Biodiversity Records**, v. 5, 2012.

LUTTERSCHMIDT, W. I. & HUTCHISON, V.H. The critical thermal maximum: history and critique. **Canadian Journal of Zoology**, v. 75, n. 10, p. 1561-1574, 1997.

- MELO, L.F.A. et al. Toxicity against *Artemia salina* of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) used in folk medicine on the coast of Pernambuco, Brazil. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 145-151, 2012.
- MENDONÇA-NETO, J.P. et al. Influence of *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) zonation on site-attached reef fishes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 3, p. 495-513, 2008.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2008.
- MORA, C. & MAYA, M. F. Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 4, p. 337-341, 2006.
- MORA, C. & OSPINA, F. Thermal tolerance and potential impact of sea warming on reef fishes from Gorgona Island (Eastern Pacific Ocean). **Marine Biology**, v. 139, p. 765–769, 2001.
- OSÓRIO, R.; ROSA, I. L. & CABRAL, H. Territorial defense by the Brazilian damsel *Stegastes fuscus* (Teleostei: Pomacentridae). **Journal of Fish Biology**, v. 69, n. 1, p. 233-242, 2006.
- PARMENTIER, E. & FRÉDÉRICH, B. Meet the damselfishes. In B. Frédérich & E. Parmentier (Eds.), **Biology of damselfishes** (pp. 29–62). Boca Raton: CRC press. 2016.
- PAULINO, G.V.B. et al. Compositional shifts in bacterial communities associated with the coral *Palythoa caribaeorum* due to anthropogenic effects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1024-1030, 2017.
- PEREIRA, P. H. C. & FERREIRA, B. P. Effects of life phase and schooling patterns on the foraging behaviour of coral- reef fishes from the genus *Haemulon*. **Journal of Fish Biology**, v. 82, n. 4, p. 1226-1238, 2013.
- PEREIRA, P.H.C.; FEITOSA, J.L.L. & FERREIRA, B.P. Mixed-species schooling behavior and protective mimicry involving coral reef fish from the genus *Haemulon* (Haemulidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 9, n. 4, p. 741-746, 2011.
- PÉREZ, C. D.; VILA-NOVA, D. A. & SANTOS, A. M. Associated community with the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing & Michelotti, 1860) (Cnidaria,

Anthozoa) from littoral of Pernambuco, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 548, n. 1, p. 207-215, 2005.

PÉREZ, E.; DÍAZ, F. & ESPINA, S. Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces: Cichlidae). **Journal of Thermal Biology**, v. 28, n. 8, p. 531-537, 2003.

POLUNIN, N.V.C. Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 482, 2008.

PÖRTNER, H.O. & PECK, M. A. Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. **Journal of Fish Biology**, v. 77, n. 8, p. 1745-1779, 2010.

PÖRTNER, H.O. Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals, **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, p. 739-761, 2002.

RABELO, E. F. et al. Distribution pattern of zoanths (Cnidaria: Zoantharia) on a tropical reef. **Marine Biology Research**, v. 11, n. 6, p. 584-592, 2015.

REIS, R. E. et al. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of Fish Biology**, v. 89, n. 1, p. 12-47, 2016.

ROCHA, L. A. & ROSA, I. L. New species of *Haemulon* (Teleostei: Haemulidae) from the northeastern Brazilian coast. **Copeia**, 447-452, 1999.

ROESSIG, J.M. et al. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 14, n. 2, p. 251-275, 2004.

ROSA, I. C. et al. Impact of air exposure on the photobiology and biochemical profile of an aggressive intertidal competitor, the zoanthid *Palythoa caribaeorum*. **Marine Biology**, v. 163, n. 11, p. 222, 2016.

SANTANA, E. F. C. et al. Trophic ecology of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) on tropical reefs. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 95, n. 2, p. 301-309, 2015.

SANTOS, G. S. et al. The impact of trampling on reef macrobenthos in northeastern Brazil: how effective are current conservation strategies? **Environmental Management**, v. 56, n. 4, p. 847-858, 2016.

SHARMA, N. K. et al. Seasonal variation in thermal tolerance, oxygen consumption, antioxidative enzymes and non-specific immune indices of Indian hill trout, *Barilius bendelisis* (Hamilton, 1807) from Central Himalaya, India. **Journal of Thermal Biology**, v. 52, p. 166-176, 2015.

SILVERMAN, J. et al. Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 5, 2009.

SINNIGER, F. et al. Phylogeny of the order Zoantharia (Anthozoa, Hexacorallia) based on the mitochondrial ribosomal genes. **Marine Biology**, v. 147, n. 5, p. 1121-1128, 2005.

SOARES, C.L.S. et al. Evaluation of the anti-inflammatory and analgesic activity of the crude hydroalcoholic extract of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing & Michelotti, 1860). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 4, p. 463-468, 2006.

SPIER, D. & GERUM, H. First record of predation on the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) and the fish *Scomberomorus brasiliensis* (Scombridae) by the green turtle (*Chelonia mydas*) in South Brazil. **Marine Biodiversity**, p. 1-2, 2016.

STOCKER, T. F. et al., Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **Cambridge University Press**, Cambridge, 2013.

SUCHANEK, T. H. & GREEN, D. J. Interspecific competition between *Palythoa caribaeorum* and other sessile invertebrates on St. Croix reefs, US Virgin Islands. In: **Proceedings of the 4th International Coral Reef Symposium**, p. 679-684, 1981.

VINAGRE, C. et al. Effect of warming rate on the critical thermal maxima of crabs, shrimp and fish. **Journal of Thermal Biology**, v. 47, p. 19-25, 2015.

VINAGRE, C. et al. Vulnerability to climate warming and acclimation capacity of tropical and temperate coastal organisms. **Ecological Indicators**, v. 62, p. 317-327, 2016.

ZHANG, Y. et al. Physiological and molecular responses of juvenile shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*) to thermal stress. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 203, p. 314-321, 2017.

4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após a parte inicial obrigatória, a dissertação foi dividida em dois capítulos de acordo com as publicações previstas:

CAPÍTULO I: Avaliação da saúde do zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (DUCHASSAING e MICHELOTTI, 1860) em recifes no litoral da Paraíba - Brasil

Perguntas:

1. A presença de doenças, branqueamento e necrose nos zoantídeos têm relação com meses em que a temperatura da água está mais elevada como no verão (dezembro – março)?
2. As colônias de zoantídeos estão mais afetadas em relação a sua saúde, nos recifes do Seixas ou Picãozinho (PB), e qual tipo de anomalia é mais frequente?

Hipóteses:

1. As altas temperaturas têm relação direta com o branqueamento, onde em meses de verão as colônias se apresentam mais branqueadas devido à perda de zooxantelas.
2. Os dois recifes por apresentarem profundidade parecidas, temperatura das águas equivalentes, e presença de turismo (embarcações, banhistas) demonstram impactos semelhantes sobre a saúde das colônias, sendo a temperatura um fator que têm variação na água superficial de ambos os recifes, o branqueamento se apresenta mais frequente que doenças e necroses.

CAPÍTULO II: Tolerância térmica máxima de peixes recifais tropicais no nordeste do Brasil

Perguntas:

1. Qual é o limite térmico máximo de *Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum* e *H. squamipinna* em recifes rasos no nordeste do Brasil?

Hipóteses:

1. As diferentes espécies de peixes apresentam variação nas tolerâncias térmicas, uma vez que *Stegastes variabilis* por ser um peixe territorialista apresenta uma temperatura crítica e letal máxima maior que *Haemulon aurolineatum* e *H. squamipinna*, pois possuem fidelidade ao seu território onde em maré baixa não busca termorregulação comportamental em grandes raios de distância.

CAPÍTULO I

Avaliação da saúde do zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (DUCHASSAING e MICHELOTTI, 1860) em recifes no litoral da Paraíba - Brasil

Manuscrito a ser submetido ao periódico Marine Ecology

Avaliação da saúde do zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (DUCHASSAING e MICHELOTTI, 1860) em recifes no litoral da Paraíba - Brasil

Monteiro-Neto, I. E.

Resumo

A elevação térmica da água em ambientes recifais rasos representa um importante fator de estresse para a biota em todo o mundo, podendo ocasionar declínio populacional e extinções locais de espécies. Organismos sésseis, como os zoantídeos, são mais suscetíveis a esse aumento, uma vez que por estarem fixos ao substrato não buscam termorregulação comportamental em outras áreas com temperaturas inferiores. Em resultado a essas elevações da temperatura, os zoantídeos, assim como os corais, perdem associação com as microalgas simbiotes gerando o branqueamento dos seus tecidos, e além do branqueamento, esses organismos ficam mais vulneráveis a infecções por bactérias patogênicas humanas, por exemplo. Nessa perspectiva, objetivamos avaliar a saúde das colônias de zoantídeos *Palythoa caribaeorum* durante o verão (dezembro – março) em dois ambientes recifais costeiros no estado da Paraíba, nordeste do Brasil, Seixas e Picãozinho. Para obtenção dos dados foram realizadas amostragens mensais através de fotoquadrado utilizando 15 transectos por ambiente, onde cada transecto contou com 5 quadrados de 1 m². Os dados foram registrados em área (m²) das categorias relacionadas a saúde de *P. caribaeorum* (sadia, pálida, branqueada, crescimento reprodutivo e morta) e demais componentes da cobertura bentônica. Com base na não normalidade e não homogeneidade dos dados foi efetuado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* e, quando necessário, a análise de comparações múltiplas (teste de *Dunn*) para analisar quais pares deram diferença através do programa Statistica 10. Os zoantídeos foram bem representativos em ambos recifes, sendo em Picãozinho mais estáveis em relação a saúde, diferentemente do Seixas em que foi observado um padrão onde em dezembro as áreas de colônias sadias foram menores e aumentaram com o avanço do verão; o contrário foi visto para áreas pálidas e mortas, as quais demonstraram diminuição ao decorrer dos meses. Em ambos ambientes foi registrada a presença de doenças, assim como áreas das colônias em estágio reprodutivo durante todo verão. Nessa vertente, os zoantídeos podem ser bons indicadores das alterações que ocorrem no ambiente.

Palavras-chave: Aquecimento global. Cnidários. Zooxantelas. Branqueamento. Doenças

Abstract

The thermal elevation of water in shallow reef environments represents an important stress factor for biota worldwide and may lead to population decline and local extinctions of species. As sessile organisms, such as zoanthids, are more susceptible to this increase, since, because they are fixed to the substrate, they do not seek behavioral thermoregulation in other areas with lower temperatures. As a result of these

temperature rises, zoanthids, as well as corals, lose association with symbiotic microalgae generating bleaching of their tissues, and in addition to bleaching, these organisms are more vulnerable to infections by human pathogenic bacteria, for example. In this perspective, we evaluated the health of the colonies of zoanthids *Palythoa caribaeorum* during the summer (December - March) in two coastal reef environments in the state of Paraíba, northeast Brazil, Seixas and Picãozinho. To obtain the data, monthly samplings were performed using photochromatography using 15 transects per environment, where each transect had 5 squares of 1 m². Data were recorded in area (m²) of the categories related to the health of *P. caribaeorum* (healthy, pale, bleached, reproductive and dead growth) and other components of the benthic cover. Based on non-normality and non-homogeneity of the data, the non-parametric Kruskal-Wallis test and, when necessary, the multiple comparisons analysis (Dunn's test) were performed to analyze which pairs gave a difference through the Statistica 10 program. The zoanthids were well in both reefs, being in Picãozinho more stable in relation to health, unlike Seixas, where a pattern was observed where in December the areas of healthy colonies were smaller and increased with the advance of the summer; the opposite was seen for pale and dead areas, which showed a decrease over the months. In both environments the presence of diseases, as well as areas of the colonies in the reproductive stage, were recorded throughout the summer. In this regard, zoanthids can be good indicators of the changes that occur in the environment.

Keywords: Global warming. Cnidarians. Zooxantelas. Bleaching. Diseases

5.1. INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura superficial oceânica pode gerar vários efeitos sobre as comunidades de organismos recifais por esse ecossistema apresentar baixa profundidade e alguns organismos apresentarem suscetibilidade à essa elevação (CHEUNG *et al.*, 2016; GATTUSO *et al.*, 2015; PÖRTNER e PECK, 2010; PÖRTNER, 2002), como por exemplo, os de hábito sésil e de baixa mobilidade. Dentre os organismos de hábito sésil destaca-se o grupo dos cnidários com as espécies de corais e zoantídeos, que são espécies abundantes nos recifes costeiros em todo mundo (RABELO *et al.*, 2015; SHEPPARD *et al.*, 2017).

Ambos os grupos apresentam relação de simbiose com microalgas dinoflageladas, as zooxantelas, que além de conferir a cor desses organismos através do

pigmento algal (CHENG *et al.*, 2017; ALEXANDER *et al.*, 2006), proporcionam a troca de carbono energético fornecido pelas algas (> 90%), por abrigo fornecido pelo tecido dos corais e zoantídeos, além de carbono inorgânico, nitrogênio e fósforo (McCLANAHAN *et al.*, 2018; MUSCATINE, 1990). No entanto, essa associação mutualística com as microalgas determina fatores limitantes para esses organismos, como a profundidade, luminosidade e sedimentação, que interferem na realização da fotossíntese, bem como alterações na temperatura da água, que podem fazer com que essas microalgas deixem o tecido dos organismos gerando o branqueamento (BESSELL-BROWNE *et al.*, 2017; HUGHES *et al.*, 2017; GLYNN *et al.*, 2017).

Espécies de corais e zoantídeos podem apresentar além do branqueamento resultante da quebra dessa simbiose com as microalgas, a presença de doenças que podem estar relacionadas às bactérias patogênicas humanas presentes na água resultante de lançamentos de esgotos (PAULINO *et al.*, 2017; ACOSTA, 2001), bem como ao uso de substâncias como protetor solar, que favorecem um ciclo viral nas zooxantelas podendo, também, gerar infecções latentes (DANOVARO *et al.*, 2008).

Esses impactos causados por alterações em características ambientais abióticas, assim como por influência antrópica direta e indireta, demandam preocupação devido à grande importância desses organismos bentônicos para o ecossistema recifal, demonstrada em diversos trabalhos que relatam alterações na teia trófica e na estrutura da comunidade recifal em regiões com diferenças na composição bentônica dessas espécies (CRUZ *et al.*, 2016; GRAHAM e NASH, 2013; MENDONÇA-NETO *et al.*, 2008).

Especificamente em relação aos zoantídeos, suas colônias desempenham a função de fornecer abrigo para diversas espécies, como por exemplo, moluscos, crustáceos e peixes, além de serem observados como parte da dieta de peixes e tartarugas marinhas (SANTANA *et al.*, 2015; SPIER e GERUM, 2016; FRANCINI-FILHO e MOURA, 2010; LONGO *et al.*, 2012; PÉREZ *et al.*, 2005), apresentando grande importância para a estruturação das comunidades de ecossistemas recifais.

Desta forma, este trabalho apresenta a avaliação da saúde de colônias de *Palythoa caribaeorum* - uma espécie de zoantídeo amplamente distribuída nos ambiente recifais em todo o mundo (RABELO *et al.*, 2015; KEMP *et al.*, 2006). O estudo foi realizado em dois recifes costeiros no período de verão, com o intuito de demonstrar

como essas colônias se comportam em relação a características morfológicas durante esse período do ano, gerando informações para esse grupo em uma região tropical com grande influência de radiação solar, o que é de grande importância quando se trata de alterações térmicas bruscas em curto período de tempo como às do atual contexto de aquecimento global.

5.2. METODOLOGIA

5.2.1. Área de estudo

As amostragens foram realizadas em dois ambientes recifais, de composição coral-algal, localizados no litoral de João Pessoa – PB, definidos a partir da sua distância da costa, de forma que o ponto mais próximo, situado a 500m, está localizado nos recifes do Seixas ($7^{\circ}9'21''\text{S}$, $34^{\circ}47'10''\text{W}$) e o ponto mais distante, situado a 1500m da praia localizado nos recifes de Picãozinho ($06^{\circ}42'05''\text{S}$, $34^{\circ}48'37''\text{W}$) (Figura 1).

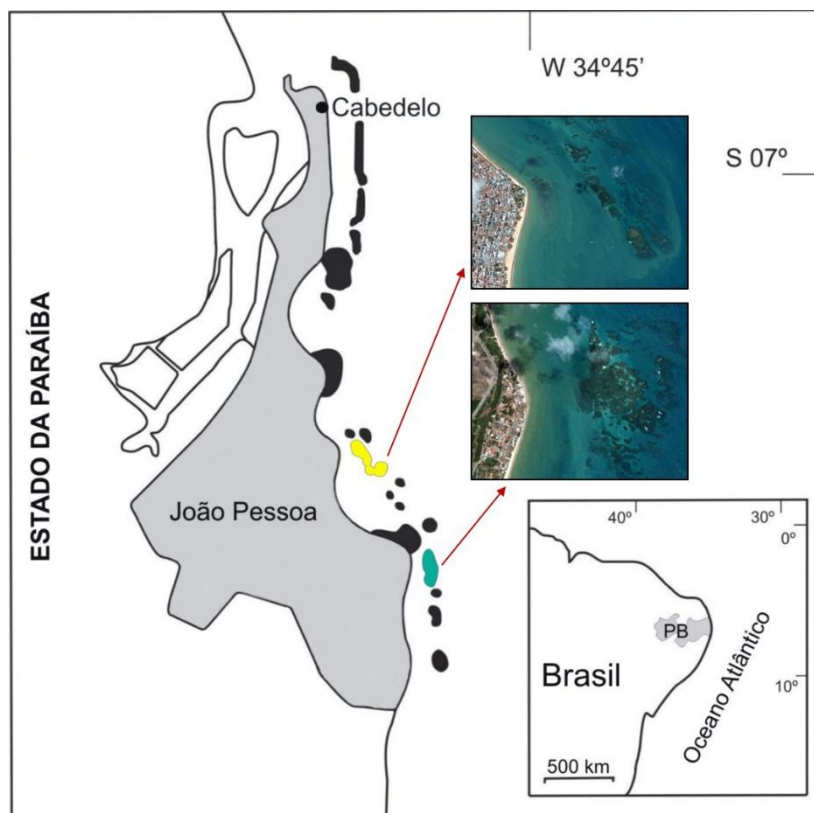


Figura 1. Mapa de localização dos pontos amostrais no litoral do município de João Pessoa, PB. Área do mapa em amarelo: recifes de Picãozinho; e em verde: recifes do Seixas. Adaptado: de GONDIM *et al.* (2011).

Ambos os ambientes recifais apresentam visitação turística, de modo que a disposição dos transectos fixos foi realizada o mais distante possível dessas áreas de visitação, garantindo nenhuma/baixa interferência dos visitantes aos transectos.

5.2.2 Coleta de dados de *Palythoa caribaeorum*

As coletas de dados de *Palythoa caribaeorum* ocorreram nos recifes do Seixas e Picãozinho, durante a maré baixa (0.1 – 0.4m), onde a maioria das colônias encontravam-se expostas. As amostragens foram realizadas em meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março de 2017-2018) através de mergulho livre (Figura 2). Para realização das amostragens foram empregados aleatoriamente 15 transectos em cada recife, os quais continuaram fixos durante todo o estudo. Cada transecto continha 20 metros onde durante cada mês houve o sorteio de 5 quadrados de 1 m² para obtenção dos dados. Em todos os quadrados amostrados foram obtidos os valores em área para as colônias de zoantídeos, além dos dados da cobertura bentônica. O uso de quadrados de 1m² têm sido utilizado em trabalhos com *P. caribaeorum* para representação em porcentagem de áreas da colônia, sendo um método prático e preciso (ver SUCHANEK e GREEN, 1981). Foi realizado o reconhecimento das áreas doentes, o qual seguiu a descrição de ACOSTA (2001), que afirma que a doença se espalha do centro para as bordas da colônia em um padrão circular, apresentando a modificação de pólipos normais para pólipos pálidos e inchados, posteriormente, estruturas remanescentes de espículas e, finalmente, matéria preta fina e substrato nu no meio da lesão. Os fatores abióticos, salinidade e temperatura, foram registrados em todas as coletas.



Figura 2: Coleta de dados da cobertura bentônica através de mergulho livre

As categorias doente e necrose, foram registradas como número de ocorrência e não como área de ocorrência, uma vez que os eventos foram pontuais.

5.2.3 Análise dos dados

Os dados foram testados quanto à normalidade através do teste de *Shapiro Wilks* e quanto à homogeneidade através do teste de *Levene*, os quais apresentaram não normalidade e não homogeneidade, sendo, a partir disso, determinado a escolha do teste não paramétrico para as análises.

Para verificar a diferença entre os tamanhos das áreas sadias, pálidas, branqueadas, mortas e com crescimento reprodutivo das colônias dos zoantídeos *Palythoa caribaeorum*, foram determinados códigos com os quais foi possível unir as informações dos pontos, meses e categorias (e. g. SDS – Seixas/dezembro/sadia; PJM – Picãozinho/ janeiro/morta) para realizar o teste de *Kruskal-Wallis* e, quando pertinente, a análise de comparações múltiplas (teste de *Dunn*) para verificar quais pares apresentaram diferença. Para as análises foi utilizado o programa Statistica 10, adotando-se o nível de significância $p < 0,05$.

5.3 RESULTADOS

Os dados das categorias relacionadas à saúde de *P.caribaeorum* nos recifes do Seixas demonstraram que a área de colônias sadias foi menor em dezembro comparada aos meses de fevereiro e março ($H(6, N= 105) = 27.76320$ $p = .0001$) (Figura 3). Em relação às pálidas foi obtido menor valor em março em relação a janeiro e dezembro, assim como fevereiro apresentou valor inferior a dezembro ($H(6, N= 99) = 44.17821$ $p = .0000$) (Figura 4). As áreas de colônias mortas foram maiores em dezembro em comparação a fevereiro e março, e maior em janeiro quando relacionado a março ($H(6, N= 100) = 31.32338$ $p = .0000$) (Figura 5). Não foi encontrada diferença significativa do crescimento reprodutivo entre os meses ($H(6, N= 96) = 11.79781$ $p = .0666$), assim como não houve entre as branqueadas ($H(4, N= 15) = 3.357826$ $p = .4998$). As categorias sadia, pálida, crescimento reprodutivo, branqueada e morta não apresentaram diferenças significativas entre os meses nos recifes de Picãozinho, assim como não se observou diferença significativa entre os dois pontos (Seixas e Picãozinho) em cada

mês. As médias \pm erro padrão das categorias de *P. caribaeorum* são apresentadas na Tabela 1.

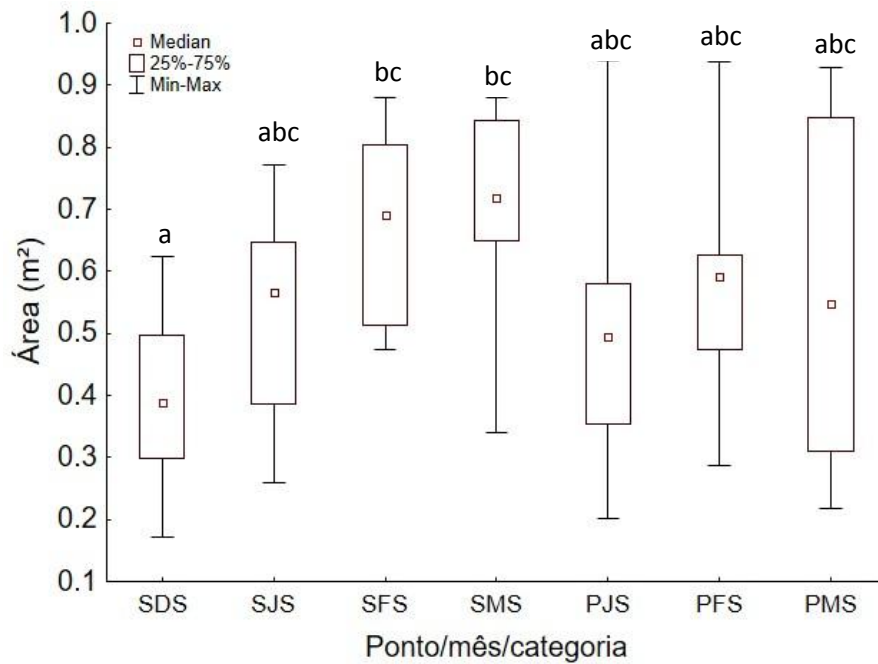


Figura 3. Área média de colônias saudias por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P - Picãozinho; aos meses: D - dezembro, J - janeiro, F - fevereiro e M - março; e à categoria: S - sadia. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$).

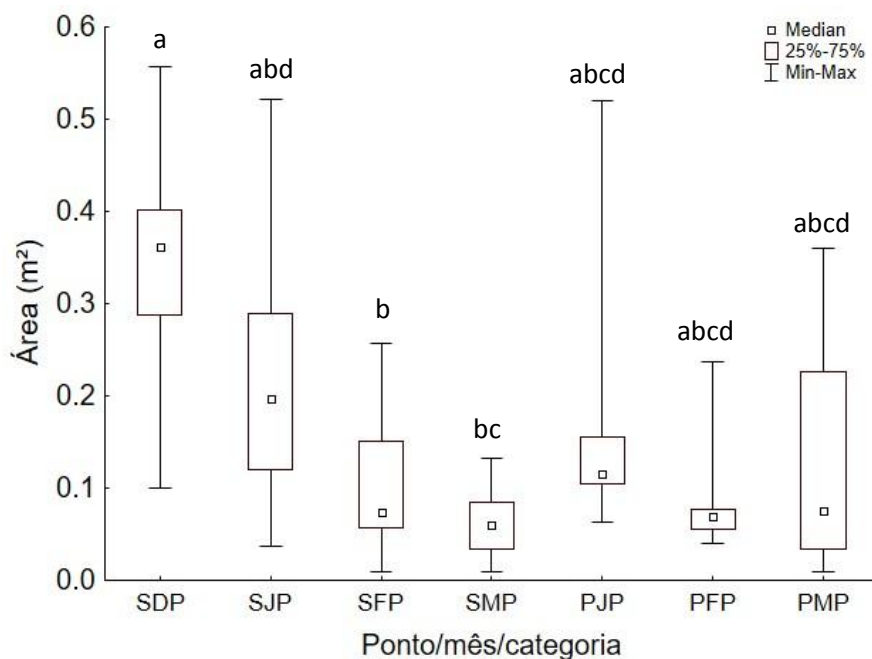


Figura 4. Área média de colônias pálidas por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P - Picãozinho; aos meses: D - dezembro, J - janeiro, F - fevereiro e M - março; e à categoria: P - pálida. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$).

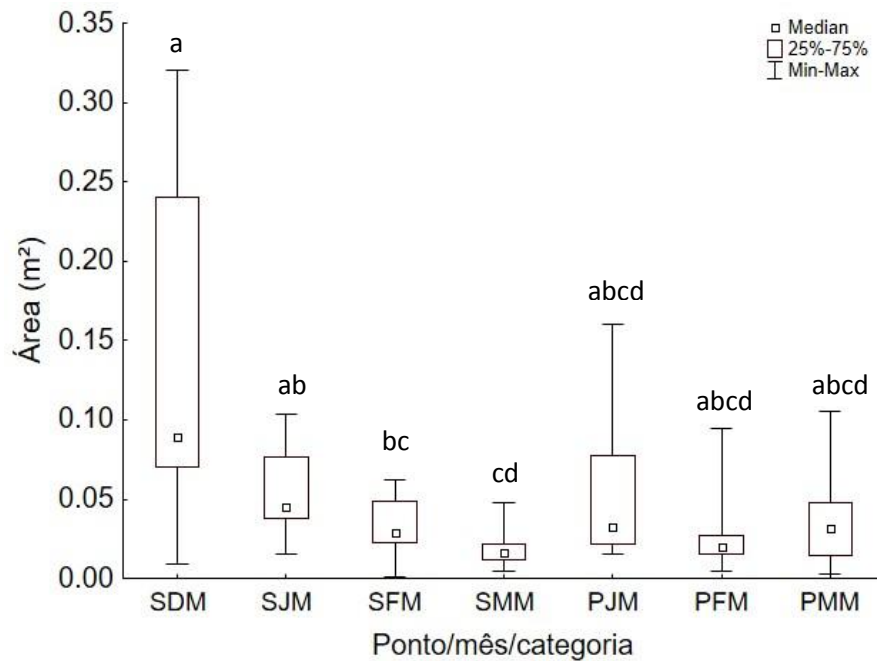


Figura 5. Área média de colônias mortas por quadrado nos recifes do Seixas e Picãozinho em meses de verão (2017-2018). As siglas referentes aos pontos são: S - Seixas e P - Picãozinho; aos meses: D - dezembro, J - janeiro, F - fevereiro e M - março; e à categoria: M - morta. Letras diferentes dispostas sob os box-plots apresentam diferença estatística ($p < 0,05$).

Tabela 1. Área das categorias relacionadas à saúde dos zoantídeos *P. caribaeorum* em meses de verão (2017-2018) nos recifes do Seixas e Picãozinho, representadas como média \pm erro padrão. As categorias são apresentadas como siglas, as quais significam, respectivamente: S – sadia, P – pálida, CR – crescimento reprodutivo, B – branqueada, M – morta e (---) não houve ocorrência.

Local / mês	Categorias				
	S	P	CR	B	M
Seixas					
Dezembro	0,39 \pm 0,03	0,34 \pm 0,03	0,15 \pm 0,05	0,04 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02
Janeiro	0,53 \pm 0,04	0,22 \pm 0,03	0,06 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,05 \pm 0,01
Fevereiro	0,67 \pm 0,04	0,1 \pm 0,02	0,06 \pm 0,01	0,01 \pm 0,01	0,03 \pm 0
Março	0,71 \pm 0,04	0,06 \pm 0	0,08 \pm 0,03	0,01 \pm 0	0,02 \pm 0
Picãozinho					
Janeiro	0,49 \pm 0,05	0,16 \pm 0,03	0,16 \pm 0,04	---	0,05 \pm 0,01
Fevereiro	0,56 \pm 0,04	0,08 \pm 0,01	0,12 \pm 0,03	---	0,03 \pm 0,01
Março	0,56 \pm 0,06	0,13 \pm 0,03	0,07 \pm 0,01	0,04 \pm 0,01	0,04 \pm 0,01

A cobertura bentônica nos transectos foi categorizada em quinze classes (Figura 6): sadia – que corresponde a área do quadrante que apresentou o zoantídeo *P. caribaeorum*, com coloração e morfologia da colônia sem alterações; pálida – que corresponde a área de *P. caribaeorum* com déficit de zooxantelas; crescimento reprodutivo – área de *P. caribaeorum* que apresentaram morfologia rugosa com a presença de pequenas elevações dispersas ao longo da colônia; branqueada – áreas de *P. caribaeorum* que apresentaram ausência de coloração pela perda da interação harmônica com as algas simbiontes (zooxantelas), de forma que a colônia apresenta coloração branca; doente – área da colônia de *P. caribaeorum* que apresenta a doença descrita por ACOSTA (2001); necrose – área morta que se propaga em formato de círculo do centro para as bordas da colônia; morta – área da colônia de *P. caribaeorum* que apresenta pólipos fechados e com desintegração tecidual; alga calcária – área do quadrante com a presença de *Halimeda* sp.; macroalga – área com presença predominante de *Dictyota* sp. e *Caulerpa racemosa*; turf – área que apresentou um tapete de algas filamentosas; *Protopalythoa* – área que apresenta espécies de outro gênero de zoantídeos (*Protopalythoa* sp.); *Zoanthus* – área que apresenta espécies de outro gênero de zoantídeos (*Zoanthus* sp.); areia – área que apresenta cobertura da rocha com sedimento de areia fina; rocha exposta – área que não apresentou cobertura bentônica; e cascalho – substrato resultante de algas calcárias mortas. As respectivas porcentagens de cobertura bentônica estão apresentadas na Tabela 2.

Nos Seixas, houveram os registros de 1 área da colônia doente em dezembro e 1 com necrose em janeiro, e em Picãozinho, 1 doente em janeiro, e em fevereiro 3 doentes e 4 necroses.

Os valores médios de temperatura e salinidade dos pontos de amostragem (Seixas e Picãozinho) estão apresentados na Tabela 3.

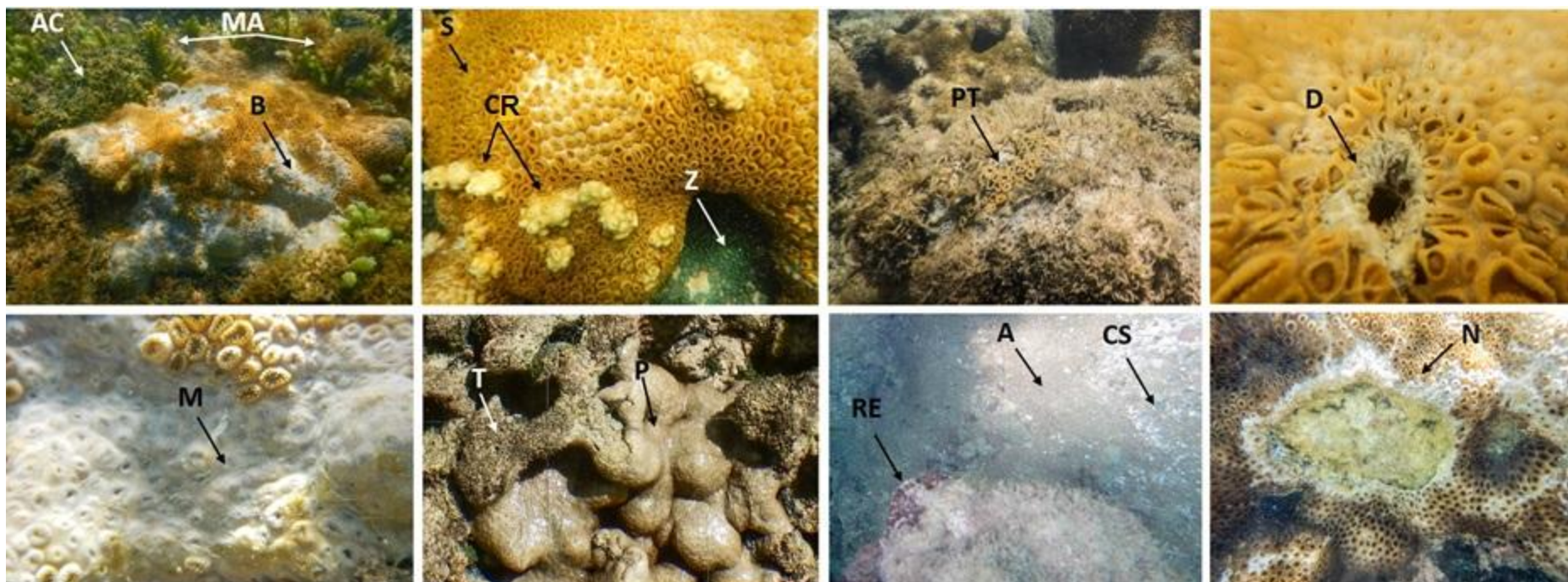


Figura 6. Representação da cobertura bentônica. AC – algas calcárias, MA – macroalgas, B – branqueada, S – sadia, CR – crescimento reprodutivo, Z – *Zoanthus sociatus*, PT – *Protopalythoa variabilis*, D – doente, M – morta, T – turf, P – pálida, RE – rocha exposta, A – areia, CS – cascalho e N – necrose.

Tabela 2. Porcentagem de cobertura bentônica dos recifes do Seixas e Picãozinho, durante meses de verão (Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março) 2017-2018. S – sadia, P – pálida, CR – crescimento reprodutivo, B – branqueada, M – morta, AC – algas calcárias, MA – macroalgas, T – turf, RE – rocha exposta, CS – cascalho, AR – areia, PT – *Protopalythoa variabilis* e Z – *Zoanthus sociatus*.

Local / mês	Categorias												
	S	P	CR	B	M	AC	MA	T	RE	CS	AR	PT	Z
Seixas													
Dezembro	38,49%	19,32%	6,15%	0,23%	8,30%	13,90%	3,39%	7,39%	0,39%	0%	1,40%	0,47%	0,50%
Janeiro	52,98%	19,55%	5,56%	0,04%	4,20%	3,48%	1,31%	9,37%	0,07%	0%	1,19%	0,37%	1,84%
Fevereiro	64,87%	6,78%	2,90%	0,04%	2,23%	2,74%	0,87%	15,94%	0%	0,12%	0,16%	0,94%	2,38%
Março	67,90%	3,80%	4,04%	0,01%	1,43%	5,07%	2,27%	11,25%	0,01%	0,12%	0,25%	1,74%	2,06%
Picãozinho													
Janeiro	38,04%	7,60%	12,04%	0%	2,59%	1,09%	1,56%	33,29%	0,58%	0%	0,14%	0,12%	2,91%
Fevereiro	46,54%	5,30%	7,48%	0%	0,93%	0,28%	2,80%	30,53%	0,21%	0%	0,20%	0,06%	5,62%
Março	49,83%	6,50%	3,60%	0,54%	1,28%	0,89%	0,28%	32,12%	0,03%	0,12%	0,12%	0%	4,66%

Tabela 3. Temperaturas e salinidades médias \pm erro padrão, dos pontos de amostragem entre os meses de verão.

Local / mês		
Seixas	Temperatura (°C)	SAL
Dezembro	29,3 \pm 0,2	36,8 \pm 0,7
Janeiro	29,4 \pm 0,1	37,5 \pm 0,5
Fevereiro	29,6 \pm 0,6	37,2 \pm 0,3
Março	29,8 \pm 0,3	37 \pm 0,5
Picãozinho	Temperatura (°C)	SAL
Janeiro	29,2 \pm 0,3	37 \pm 0,2
Fevereiro	29,5 \pm 0,5	36,8 \pm 0,3
Março	29,7 \pm 0,3	36,5 \pm 0,2

Os fatores abióticos, temperatura e salinidade, se apresentaram homogêneos entre os meses de amostragem. Dessa forma não foram realizadas correlações entre dados abióticos e bióticos.

5.4 DISCUSSÃO

Os zoantídeos *Palythoa caribaeorum* demonstraram-se bastante representativos da cobertura bentônica tanto dos recifes do Seixas quanto Picãozinho, assim como observados em outros ambientes recifais do Brasil (RABELO *et al.*, 2015). As espécies *Protopalythoa variabilis* e *Zoanthus sociatus* foram vistas ocorrendo no mesmo espaço que *P. caribaeorum*, porém, apresentando porcentagens de cobertura inferior, indicando que a espécie foco desse trabalho é uma boa competidora, corroborando com BASTIDAS e BONES (1996) que destacou maior abundância de *P. caribaeorum* em comparação as outras espécies de zoantídeos nos recifes de Isla Raton na Venezuela, onde ressaltou a eficiência da estratégia bioquímica da espécie para se estabelecer e se propagar no ambiente recifal. Assim como foi explicitado, *Palythoa caribaeorum* pode ultrapassar quase todos os outros invertebrados sésseis recifais em relação a taxa de crescimento,

colocando-o no topo de uma hierarquia competitiva nesse ecossistema (SUCHNEK e GREEN, 1981).

Os aspectos considerados da saúde dos zoantídeos incluíram crescimento reprodutivo, que se trata de um dos diversos modos de reprodução assexuada da espécie como descrito por ACOSTA *et al.* (2005), que define essa característica como “*polyp-ball*”, que trata-se de um grupo de pólipos (≤ 12) os quais crescem para cima da colônia sendo ligado a ela apenas pelo cenênquima, não apresentando ligação ao substrato. Esse tipo de estágio reprodutivo foi observado durante todos os meses de verão em ambos ambientes recifais costeiros, demonstrando a importância desse tipo de reprodução para a manutenção da espécie.

A doença descrita por ACOSTA (2001), que é provocada por bactérias causadoras de necrose no tecido da colônia dos zoantídeos, a qual foi observada em ambos ambientes recifais, pode ser devido a presença de visitação, uma vez que ambas áreas recifais recebem pessoas, principalmente, através de passeios em embarcações de turismo durante a maré baixa (obs. pessoal). PAULINO *et al.* (2017) também indicaram as bactérias patogênicas humanas como causadoras de doenças nesses organismos. Dessa forma, a maior ocorrência de doenças e necroses que foram registradas nos recifes de Picãozinho no mês de fevereiro aparenta ter relação com a presença de visitantes no ambiente recifal, uma vez que o mês antecedente (janeiro) coincide com período de alta estação, havendo maior número de pessoas nessas regiões. DEBEUS e CRISPIM (2008) destacam que o lixo despejado nas piscinas de Picãozinho é mais notório em períodos de alta temporada, com o excesso de pessoas no local; fato esse que continua a ocorrer nos dias atuais, uma década depois.

O branqueamento, destacado como perda da associação das zooxantelas com o tecido de zoantídeos e corais, provocado principalmente pelo aumento da temperatura da água (KEMP *et al.*, 2006) foi visto com baixa representatividade (<0,5%) das áreas das colônias em ambos recifes, diferentemente das altas taxas de branqueamento observadas em corais no mesmo ambiente recifal por DIAS e GONDIM (2016) durante um evento de branqueamento em massa ocorrido em todo o mundo em 2010, inclusive nas formações recifais da Grande barreira de corais na Austrália (WOLANSKI *et al.*, 2017). Essa baixa intensidade de branqueamento observada se deve a temperatura da água que não ultrapassou a média de 30 °C nos dois ambientes recifais, corroborando com o observado

durante o evento de branqueamento de corais no verão de 2002, na Ilha Magnética, que apresentou ausência de branqueamento no mês que registrou essa mesma temperatura (BERKELMANS, 2018). O fato da temperatura não ultrapassar 30 °C pode estar relacionado a estabilidade do fenômeno El niño (GLYNN, 1990), o qual foi determinante para a ocorrência dos eventos de branqueamento progressivos.

A temperatura observada não foi extrema como a testada no trabalho de FUGIMURA e RIEGL (2017) (33° C), de modo que as colônias apresentaram pequenas áreas branqueadas. No entanto, foi observada maior área de colônias pálidas, demonstrando que o fluxo de água observado durante as variações de maré pode estar minimizando o efeito da temperatura gerando uma perda parcial da coloração, assim como observado por FUGIMURA e RIEL (2017), os quais evidenciaram que o fluxo da água pode mitigar o branqueamento. O branqueamento tornou-se mais frequente e regular com o aquecimento global e autores como COELHO *et al.* (2017) sugerem o sombreamento como uma ação humana direta para atenuar os efeitos do estresse térmico nessas espécies.

Pelo fato de os recifes do Seixas estarem mais próximos da costa (~500m) o período de exposição direta dos zoantídeos à radiação solar é maior por ficarem mais tempo fora da água em maré baixa comparado a Picãozinho (~1500m). Essa condição pode explicar a diferença observada nas categorias sadia e pálida entre os meses apenas nos recifes do Seixas, uma vez que já foi avaliado em águas tropicais rasas que a radiação UV conjuntamente com temperaturas elevadas foram considerados fatores ambientais estressores em corais *Pocillopora damicornis* e *Turbinaria reniformis*, causando, por exemplo, déficit na calcificação e branqueamento (COURTIAL *et al.*, 2017; LESSER *et al.*, 1990). Adicionalmente a esse fato, temos que a radiação UV, no nordeste do Brasil, apresenta maiores níveis nos meses de verão (TIBA e LEAL, 2017).

Os dados encontrados apresentam-se semelhantes aos observados em Picãozinho há quase uma década. FURTADO e COSTA (2009) destacaram que 41,57% das colônias estavam saudáveis e apenas 2,85% branqueadas em 2008-2009, considerando as colônias de Picãozinho em situação confortável, de acordo com SMITH e BIRKELAND (2007). Ao decorrer dos meses de verão FURTADO e COSTA (2009) observaram um aumento na densidade das zooxantelas, o que pode explicar o aumento de colônias saudáveis e diminuição de colônias pálidas que foram registrados nos recifes do Seixas com o avanço dos meses de verão. Esse fato é plausível, uma vez que as zooxantelas são de extrema importância para

P. caribaeorum, as quais garantem mais de 90% do seu carbono energético (McCLANAHAN *et al.*, 2018).

Os recifes do Seixas e Picãozinho apresentaram valores acima de 50% da área de *P. caribaeorum* sadias, destacando a boa saúde dessa espécie em ambos ambientes recifais. Porém, é importante destacar a presença de branqueamento e doenças, mesmo em baixa taxa, uma vez que em período de anomalias térmicas, estas taxas provavelmente aumentarão e o aparecimento de síndromes e doenças são vistas como causas do declínio da biodiversidade nos ambientes recifais (WEIL *et al.*, 2006).

É visto que a maior causa do branqueamento nos cnidários sésseis é devido a ação dos humanos, os quais têm suas atividades crescentes com o passar dos anos desde a revolução industrial (MOLION, 2008; GATTUSO *et al.*, 2015). A conservação desses organismos marinhos é de extrema importância não só pelo seu valor de existência, mas também por efetuarem um importante papel estruturador nos ambientes recifais (PÉREZ *et al.*, 2005). Para conservar esse táxon e todo ambiente recifal, a humanidade deve reduzir consideravelmente a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, reforçando a importância da realização de acordos internacionais entre países em todo o mundo para propor medidas efetivas que cessem a utilização de carvão mineral como fonte de combustível fóssil, o qual é bastante utilizado em siderúrgicas e usinas termoeletricas, por fontes renováveis geradoras de energia como solar e eólica, por exemplo (GALÁN-MARTÍN, 2018).

Além dos combustíveis fósseis, países em todo mundo devem ampliar as fiscalizações para impedir desmatamento de florestas, as quais uma vez inexistentes deixam de capturar, através da fotossíntese, dióxido de carbono da atmosfera (PRĀVĀLIE, 2018). O problema do aquecimento global é do mundo, e dessa forma, medidas pontuais não terão forças suficientes para modificar o atual cenário mundial, precisa-se de um esforço de todos os países do globo, sobretudo o empenho daqueles desenvolvidos e em desenvolvimento que são os principais responsáveis por essa problemática que os ambientes marinhos vivem (GALÁN-MARTÍN, 2018; MATTHEWS, 2018).

5.5 CONCLUSÕES

- Os zoantídeos são representativos nos ambientes recifais costeiros do Seixas e Picãozinho;

- Foi observado um padrão na saúde dos zoantídeos nos recifes do Seixas, onde com o avanço dos meses de verão houve aumento das colônias sadias e diminuição de pálidas e mortas. Esse fato pode estar associado ao aumento na densidade das zooxantelas;
- As colônias de *P. caribaeorum* dos recifes de Picãozinho se apresentaram estáveis durante os meses de verão, diferentemente do Seixas que apresentou distinção da saúde ao passar dos meses. Dessa forma, o Seixas é compreendido como um ambiente mais suscetível a alterações.
- O aumento na ocorrência de doenças e necroses em *P. caribaeorum* se deu no período pós o pico da alta estação o que leva a acreditar que práticas humanas estão influenciando a saúde desses organismos;
- Houve baixa taxa de branqueamento de *Palythoa caribaeorum*, o que possivelmente está ligado a não elevação da temperatura superficial marinha. Nessa perspectiva, a baixa taxa provavelmente relaciona-se à radiação UV e competição interespecífica;
- De forma geral, a saúde dos zoantídeos *P. caribaeorum* está em situação estável em ambos os ambientes recifais. Porém, é importante realizar monitoramentos mensais como esse em períodos que causam maiores estresses, como em eventos de elevação da temperatura oceânica, por exemplo.

5.6 REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A. Disease in zoanths: dynamics in space and time. In: **The ecology and etiology of newly emerging marine diseases**. Springer, Dordrecht. p. 113-130, 2001.
- ACOSTA, A.; SAMMARCO, P. W.; DUARTE, L. F. New fission processes in the zoanthid *Palythoa caribaeorum*: description and quantitative aspects. **Bulletin of Marine Science**, v. 76, n. 1, p. 1-26, 2005.
- AMORIM, T. L., COSTA, C. F. & SASSI, R. Branqueamento e doenças em cnidários dos recifes costeiros de Picãozinho, Nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, 40(1): 185-201, 2011.
- AMORIM, T.P de L.; SASSI, R. Microsymbiontes associados à *Millepora alcicornis* (Linnaeus, 1758) (Cnidaria, Hydrozoa) dos recifes costeiros de Picãozinho, João Pessoa–PB. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Biológicas), João Pessoa. 125f. 2009.

BASTIDAS, Carolina; BONE, David. Competitive strategies between *Palythoa caribaeorum* and *Zoanthus sociatus* (Cnidaria: Anthozoa) at a reef flat environment in Venezuela. **Bulletin of Marine Science**, v. 59, n. 3, p. 543-555, 1996.

BERKELMANS, R. Bleaching and Mortality Thresholds: How Much Is Too Much?. In: Coral Bleaching. **Springer**, Cham, p. 213-230, 2018.

BESSELL-BROWNE, P. et al. Impacts of turbidity on corals: The relative importance of light limitation and suspended sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 117, n. 1-2, p. 161-170, 2017.

CHEUNG, W.W.L. & PAULY, D. Impacts and effects of ocean warming on marine fishes, in: D. Laffoley, J.M. Baxter (Eds.), Explaining Ocean Warming: Cause, Scale, Effects and Consequences, **IUCN**, Switzerland, pp. 239–253, 2016.

COELHO, V. R. et al. Shading as a mitigation tool for coral bleaching in three common Indo-Pacific species. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 497, p. 152-163, 2017.

COSTA, C.F. et al. Recifes costeiros da Paraíba, Brasil: usos, impactos e necessidades de manejo no contexto da sustentabilidade. **Gaia Scientia**, v. 1, n. 1, 2007.

COSTA, C.F. et al. Seasonal changes in zooxanthellae harbored by zoanthids (Cnidaria, Zoanthidea) from coastal reefs in northeastern Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 8, n. 4, p. 253-264, 2013.

COURTIAL, L. et al. Interactive effects of ultraviolet radiation and thermal stress on two reef-building corals. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 3, p. 1000-1013, 2017.

CRUZ, I.C.S. et al. The role of competition in the phase shift to dominance of the zoanthid *Palythoa cf. variabilis* on coral reefs. **Marine Environmental Research**, v. 115, p. 28-35, 2016.

DANOVARO, R. et al. Sunscreens cause coral bleaching by promoting viral infections. **Environmental Health Perspectives**, v. 116, n. 4, p. 441, 2008.

DEBEUS, G; CRISPIM, M.C. O Turismo Nas Piscinas Naturais de Picãozinho, João Pessoa, PB–Percepções, Conflitos E alternativas. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 21-32, 2008.

DIAS, T.L.P. & GONDIM, A.I. Bleaching in scleractinians, hydrocorals, and octocorals during thermal stress in a northeastern Brazilian reef. **Marine Biodiversity**, v. 46, n. 1, p. 303-307, 2016.

FRANCINI-FILHO, R.B. & MOURA, R.L. Predation on the toxic zoanthid *Palythoa caribaeorum* by reef fishes in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 77-79, 2010.

FUJIMURA, A.G. & RIEGL, B.M. Effects of water flow on intra-and intercolonial variability in bleaching of the zoanthid, *Palythoa caribaeorum*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 490, p. 29-33, 2017.

FURTADO, S. S.; COSTA, C. F. Branqueamento e Doenças em *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria. Zoanthidea) dos Recifes do Picãozinho, João Pessoa, PB. In: VI Congresso de Iniciação Científica, 2009, Campina Grande. **VI Congresso de Iniciação Científica**, 2009.

GALÁN-MARTÍN, A. et al. Time for global action: an optimized cooperative approach towards effective climate change mitigation. **Energy & Environmental Science**, v. 11, n. 3, p. 572-581, 2018.

GATTUSO, J.P. et al., Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios, **Science** 349 (6243) (aac4722-1-10), 2015.

GLYNN, P. W. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific. In: Elsevier oceanography series. **Elsevier**, p. 55-126, 1990.

GLYNN, P. W. et al. El Niño-Southern Oscillation: effects on Eastern Pacific coral reefs and associated biota. In: Coral reefs of the eastern tropical Pacific. **Springer**, Dordrecht. p. 251-290. 2017.

GRAHAM, N. A. J.; NASH, K. L. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. **Coral Reefs**, v. 32, n. 2, p. 315-326, 2013.

HUGHES, T. P. et al. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. **Nature**, v. 543, n. 7645, p. 373, 2017.

KEMP, D. W. et al. A comparison of the thermal bleaching responses of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* from three geographically different regions in south

Florida. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 335, n. 2, p. 266-276, 2006.

LESSER, M. P. et al. Bleaching in coral reef anthozoans: effects of irradiance, ultraviolet radiation, and temperature on the activities of protective enzymes against active oxygen. **Coral Reefs**, v. 8, n. 4, p. 225-232, 1990.

LONGO, G. O. et al. First record of predation on reproductive *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa: Sphenopidae): insights on the trade-off between chemical defenses and nutritional value. **Marine Biodiversity Records**, v. 5, 2012.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Os recifes de coral brasileiros. **Oceanografia: Um Cenário Tropical. Recife: Edição Bagaço**, p. 617-640, 2004.

MATTHEWS, H. Damon et al. Focus on cumulative emissions, global carbon budgets and the implications for climate mitigation targets. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 1, p. 010201, 2018.

MCCLANAHAN, T. R.; WEIL, E.; BAIRD, A. H. Consequences of Coral Bleaching for Sessile Reef Organisms. In: **Coral Bleaching**. Springer, Cham. p. 231-263. 2018.

MENDONÇA-NETO, J.P. et al. Influence of *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) zonation on site-attached reef fishes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 3, p. 495-513, 2008.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2008.

MUSCATINE, L. O papel das algas simbióticas no fluxo de carbono e energia em corais recifais. **Ecosistemas do mundo. Recifes de Coral**, 1990.

PAULINO, G.V.B. et al. Compositional shifts in bacterial communities associated with the coral *Palythoa caribaeorum* due to anthropogenic effects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1024-1030, 2017.

PÉREZ, C. D.; VILA-NOVA, D. A. & SANTOS, A. M. Associated community with the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing & Michelotti, 1860) (Cnidaria, Anthozoa) from littoral of Pernambuco, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 548, n. 1, p. 207-215, 2005.

PÖRTNER, H.O. & PECK, M. A. Climate change effects on fishes and fisheries: towards

a cause-and-effect understanding. **Journal of Fish Biology**, v. 77, n. 8, p. 1745-1779, 2010.

PÖRTNER, H.O. Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals, **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, p. 739–761, 2002.

PRĂVĂLIE, R. Major perturbations in the Earth's forest ecosystems. Possible implications for global warming. **Earth-Science Reviews**, 2018.

RABELO, E. F. et al. Distribution pattern of zoanthids (Cnidaria: Zoantharia) on a tropical reef. **Marine Biology Research**, v. 11, n. 6, p. 584-592, 2015.

SANTANA, E. F. C. et al. Trophic ecology of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) on tropical reefs. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 95, n. 2, p. 301-309, 2015.

SHEPPARD, C. et al. The biology of coral reefs. **Oxford University Press**, 2017.

SMITH, L.W.; BIRKELAND, C. Effects of intermittent flow and irradiance level on back reef Porites corals at elevated seawater temperatures. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 341, n. 2, p. 282-294, 2007.

SPIER, D. & GERUM, H. First record of predation on the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) and the fish *Scomberomorus brasiliensis* (Scombridae) by the green turtle (*Chelonia mydas*) in South Brazil. **Marine Biodiversity**, p. 1-2, 2016.

STANKEY, G; MANNING, R. Carrying capacity of recreation settings. A Literature Review: The President's Commission on Americans Outdoors. **Washington: US Government Printing Office**, p. 47-57, 1986.

SUCHANEK, T. H. & GREEN, D. J. Interspecific competition between *Palythoa caribaeorum* and other sessile invertebrates on St. Croix reefs, US Virgin Islands. In: **Proceedings of the 4th International Coral Reef Symposium**, p. 679-684, 1981.

TIBA, C. & LEAL, S. Enhancement of UV Radiation by Cloud Effect in NE of Brazil. **International Journal of Photoenergy**, v. 2017, 2017.

WEIL, E; SMITH, G; GIL-AGUDELO, D.L. Status and progress in coral reef disease research. **Diseases of aquatic organisms**, v. 69, n. 1, p. 1-7, 2006.

WOLANSKI, E. et al. The Gulf of Carpentaria heated Torres Strait and the Northern Great Barrier Reef during the 2016 mass coral bleaching event. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 194, p. 172-181, 2017.

CAPÍTULO II

Tolerância térmica máxima de peixes recifais tropicais no nordeste do Brasil

Manuscrito a ser submetido ao periódico Journal of Thermal Biology

Tolerância térmica máxima de peixes recifais no nordeste do Brasil

Monteiro-Neto, I. E.

Resumo

As atividades humanas têm contribuído ativamente para o aquecimento global, e esse por sua vez influenciando diretamente na elevação da temperatura superficial marinha. Essa elevação de calor no mar, pode afetar os organismos que o habitam de diversas formas, promovendo estresse oxidativo e alteração na distribuição latitudinal das espécies. Uma forma de verificar como a elevação da temperatura afeta diretamente os peixes é através de experimentação em laboratório, controlando um aumento gradativo da temperatura da água, utilizando a metodologia conhecida como temperatura crítica máxima (CT_{máx}) e temperatura letal máxima (LT_{máx}). Para tanto, foram coletados 10 indivíduos de cada uma das 3 espécies de peixes recifais, no nordeste da costa brasileira, os quais foram aclimatados e submetidos ao experimento. Como resultado, foi observada uma média de CT_{máx} similar à observada para outras espécies de mesmo gênero, e não houve diferença estatística entre os CT_{máx} das espécies avaliadas (*Haemulon aurolineatum* – 37,2 °C; *H. squamipinna* – 37,3 °C e *Stegastes fuscus* – 37,6 °C). Entretanto, os valores de LT_{máx} foram diferentes para a espécie territorialista *Stegastes variabilis*, a qual apresentou média de 40°C, podendo estar relacionado ao fato da espécie não se deslocar do território, suportando maiores temperaturas durante a maré baixa.

Palavras-chave: Aquecimento global. Peixes tropicais. CT_{máx}. LT_{máx}

Abstract

Human activities have actively contributed to global warming, and that in turn directly influencing the elevation of marine surface temperature. This heat rise in the sea, can affect the organisms that inhabit it of diverse forms, promoting oxidative stress and alteration in the latitudinal distribution of the species. One way to verify how temperature elevation directly affects fish is through laboratory experimentation, controlling a gradual increase in water temperature using the methodology known as maximum critical temperature (CTmax) and maximum lethal temperature (LTmax). For this, 10 individuals from each of the three reef fish species were collected in the northeast of the Brazilian coast, which were acclimatized and submitted to the experiment. As a result, a mean CTmax similar to that observed for other species of the same genus was observed, and there was no statistical difference between the CTmax of the evaluated species (*Haemulon aurolineatum* - 37,2 °C, *H. squamipinna* - 37,3 °C and *Stegastes fuscus* - 37.6 ° C). However, LTmax values were different for the territorial species *Stegastes variabilis*, which presented an average of 40°C, and may be related to the fact that the species does not move from the territory, supporting higher temperatures during low tide.

Keywords: Global warming. Tropical fish. CTmax. LTmax

6.1 INTRODUÇÃO

As mudanças globais observadas nas regiões costeiras, caracterizada por sua associação ao aquecimento derivado das atividades antrópicas, promovem a elevação térmica das águas oceânicas, onde ~ 90% desse calor é residual da atmosfera (WRIGHT *et al.*, 2019; CHENG e ZHU, 2018). Os últimos 5 anos foram os mais quentes registrados para os oceanos em todo o mundo, sendo o ano de 2017, o que apresentou as maiores temperaturas, com destaque para o oceano atlântico (CHEN e ZHU, 2018). Essas afirmações, diminuem os efeitos relacionados primordialmente à variações climáticas como os eventos de El niño e La niña, que passam a ser vistos como um ruído, e evidenciam a influência direta com que o aquecimento global está atuando gradativamente no aumento da temperatura do mar (CHEN e ZHU, 2018).

A elevação na temperatura, vem sendo bastante discutida pela comunidade científica pelo fato de existirem diversos efeitos decorrentes dela, relacionado ao ecossistema, como o aumento do nível do mar, acidificação das águas e diminuição do oxigênio dissolvido (CHEN e ZHU, 2018; BELLWORTHY *et al.*, 2019; RODGERS *et al.*, 2019; BREITBURG *et al.*, 2018). Além de alguns efeitos que são vistos nos organismos marinhos como o aumento do estresse térmico, dessecação de organismos que ficam expostos na maré baixa, distribuição latitudinal induzida e alteração na abundância de espécies (POLUNIN, 2008).

Em relação a espécies tropicais, como os peixes, acredita-se que a faixa de tolerância térmica seja inferior a observada para organismos de regiões temperadas, tendo em vista que na região tropical a temperatura se mantém estável, de modo que apresentam maior sensibilidade a pequenas alterações na temperatura (VINAGRE *et al.*, 2016). Nessa perspectiva, atualmente a maioria das espécies tropicais já vivem acima de seus limites ótimos de temperatura durante o verão (RUMMER *et al.*, 2014), gerando preocupação em relação à espécies bentônicas e peixes territorialistas, como uma das espécies-foco deste trabalho (*Stegastes variabilis*) (MEDEIROS *et al.*, 2010), por possivelmente apresentarem maior suscetibilidade a essas alterações, permanecendo em áreas restritas.

Dentre as variáveis mais utilizadas para estudos de padrões na fisiologia termal em relação aos limites de tolerância térmica está a definida por LUTTERSCHMIDT e HUTCHISON (1997), denominada temperatura crítica máxima (CT_{máx}). O CT_{máx} é de

grande aplicabilidade para estudos de ecofisiologia, encontrando-se que alguns ectotérmicos são mais suscetíveis a ação de mudanças ambientais como variações de temperatura (DEUTSCH *et al.*, 2008). Em nível experimental, distintos desempenhos locomotores para respectivas temperaturas, resultam em respostas diferentes nos animais, tornando importante o estudo da fisiologia térmica para a compreensão das relações comportamentais e ecológicas das espécies (HUEYE STEVENSON, 1979).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi descrever a temperatura crítica máxima de três espécies de peixes abundantes no litoral brasileiro e de grande importância para a estruturação do ecossistema recifal.

6.2 METODOLOGIA

6.2.1 Espécies-foco

A espécie *Stegastes variabilis* (CASTELNAU, 1855), é uma das principais espécies de herbívoros territorialistas, juntamente a outras espécies do gênero *Stegastes* (PARMENTIER e FRÉDERICH, 2016) e a herbivoria os tornam espécies-chave no ecossistema (CECCARELI *et al.*, 2005; FEITOSA *et al.*, 2012; HATA e CECCARELLI, 2016), de modo que alterações nas suas populações podem gerar efeitos negativos sobre a estruturação da comunidade algal e consequentemente sobre a dominância das algas sobre os corais. As outras duas espécies-foco desse trabalho, *Haemulon aurolineatum* (CUVIER, 1830) e *Haemulon squamipinna* (ROCHA & ROSA, 1999), pertencente à família Haemulidae, está compreendido dentre as 15 espécies do gênero *Haemulon*, a qual os representantes apresentam-se distribuídos ao longo da costa do Atlântico Ocidental e Pacífico Leste (ROCHA e ROSA, 1999). Esse gênero apresenta espécies que formam cardumes e possuem hábito alimentar onívoro (PEREIRA *et al.*, 2011; PEREIRA e FERREIRA, 2013), sendo espécies com ampla distribuição da área de vida, que ocasionalmente apresentam deslocamentos para outras regiões recifais, caso haja alterações nas condições ideais para esses indivíduos.

6.2.2 Coleta e aclimação dos peixes

A coleta foi realizada através de mergulhos livres nos recifes do Seixas (7°9'21"S, 34°47'10"W), litoral do estado da Paraíba - Brasil, e foram amostrados 30 indivíduos jovens de *Stegastes variabilis*, *Haemulon aurolineatum* e *H. squamipinna*, sendo 10

indivíduos de cada uma das espécies. A profundidade da coleta dos espécimes foi de 0,5 – 2m, 2 – 3 m e 1 – 2m respectivamente para *S. variabilis*, *H. aurolineatum* e *H. squamipinna*, onde foram utilizadas duas técnicas para captura. A primeira, para os *H. aurolineatum* consistiu de um “covo” com uma entrada única, onde foi utilizado camarões como atrativo alimentar. A segunda, para os peixes-donzelas e *H. squamipinna*, foi uma “rede de espera” onde o pesquisador nadava ativamente para recrutar peixes, e ao estarem em contato com ela, os pesquisadores recolhiam a rede para captura do animal. A malha da rede tinha diâmetro inferior ao do corpo dos indivíduos possibilitando que eles não viessem a ficarem presos e morrerem por asfixia.

A temperatura média da água no momento da captura em campo foi de 28°C, a qual foi mantida durante todo período de aclimação, sendo a temperatura inicial do experimento do CT_{máx}, garantindo desta forma que o histórico térmico dos indivíduos não fosse perturbado após a coleta.

Após a captura em campo, os indivíduos foram colocados em aquários com aeração constante e transportados para o Laboratório de Ecofisiologia Animal (Campus V – UEPB), no qual os espécimes foram individualizados, cada um em um aquário cilíndrico, com água do local de coleta, garantindo mesmas condições naturais de características da água, tais como pH e salinidade. Os peixes foram aclimatados durante 7 dias, assim como realizado por VINAGRE *et al.* (2013, 2016), sendo *Stegastes variabilis* alimentados com grânulos de alimentos comerciais e *Haemulon aurolineatum* e *H. squamipinna* com porções de camarão fresco à vontade, duas vezes por dia, e 24 horas antes do início do experimento a alimentação foi cessada. Todos os experimentos tiveram períodos de aclimação com fotoperíodo 12h:12 horas (DÜLGER *et al.*, 2012) (Figura 1).

As coletas dos espécimes encontram-se autorizadas com licença SISBIO número: 58427-1.

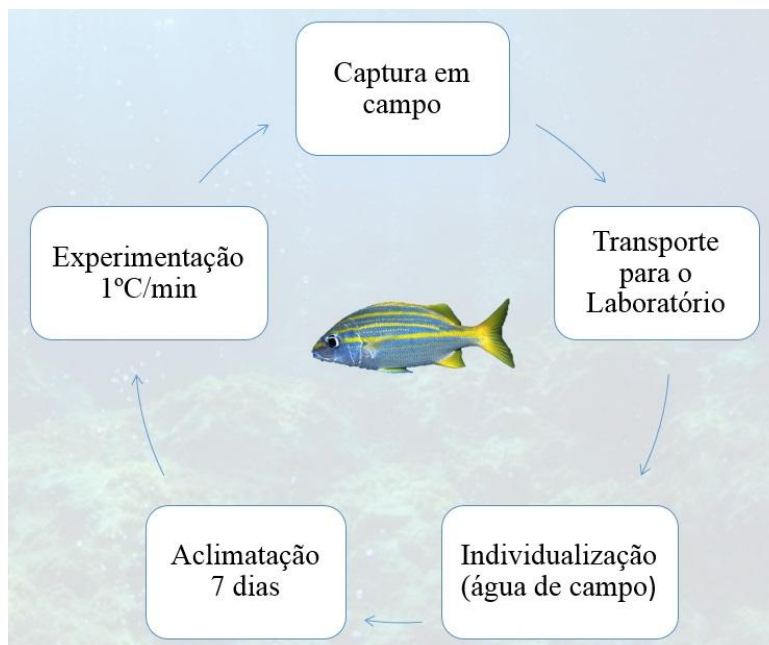


Figura 1: Ordem dos processos realizados para a experimentação do CTmax e LTmax

6.2.3 Determinação da temperatura crítica máxima (CT_{máx})

O CT_{máx} das espécies foi determinado pelo método descrito por MORA e OSPINA (2001), onde (CT_{máx}) é definido como a média aritmética do valor térmico coletivo em que o ponto final é atingido. O ponto final foi dado quando os indivíduos passaram a apresentar perda da resposta do endireitamento (LRR).

Para determinar CT_{máx}, os animais foram expostos a um aumento constante da temperatura da água, em um banho maria, com aeração constante, e observados continuamente, até atingir o ponto final. Os CT_{máx} foram estimados na taxa de aumento de temperatura de 1°C/min assim como recomendado por LUTTERSCHMIDT e HUTCHISON (1997) e utilizados em vários estudos que analisaram CT_{máx} de peixes (DÍAZ e BÜCKLE, 1999; HERNÁNDEZ *et al.*, 2002; MORA e MAYA, 2006; PÉREZ *et al.*, 2003 e VINAGRE *et al.*, 2016). A temperatura à qual cada animal atingiu o seu ponto final foi medida com um termômetro digital, onde a média do CT_{máx} e o seu desvio padrão foram calculados para cada espécie. Para evitar estressar os peixes por manuseio sua morfometria realizou-se no final de cada ensaio, sendo os indivíduos medidos com um paquímetro digital, e pesados em uma balança digital, para comparações entre indivíduos da mesma espécie. Alguns autores destacam que a variação intraespecífica no

comprimento dos peixes está relacionada a sensibilidade térmica, onde peixes de menores tamanhos apresentam maiores CTmáx (DI SANTO e LOBEL, 2017), nessa perspectiva é imprescindível a realização de morfometria e pesagem dos indivíduos experimentados.

Além do CTmáx, a temperatura letal máxima (LTmáx) foi avaliada com mesmo grau de aumento da temperatura (1°C/mim). O LTmáx foi expresso quando os indivíduos demonstraram parada do movimento branquial (WIDMER *et al.*, 2006; PENG *et al.*, 2014).

6.3 RESULTADOS

Os peixes apresentaram temperatura crítica máxima (CTmáx) semelhantes (F (2, 27) = .85661, p = .43582), entretanto, foi observado uma maior temperatura letal (LT) para *Stegastes variabilis* quando comparado a *Haemulon squamipinna* e *H. aurolineatum* (F (2, 27) = 19.338, p = .00001) (Fig. 2). A espécie *S. variabilis* apresentou menores valores de peso (F (2, 27) = 17.471, p = .0000) e comprimento padrão (F (2, 27) = 81.558, p = .00000) quando comparados aos hemulídeos. As médias (\pm erro padrão) estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Valores de comprimento padrão, peso, temperatura crítica máxima e temperatura letal das espécies, representados como média (\pm erro padrão) (min – máx).

Espécies	Comprimento padrão (cm)	Peso (g)	CTmáx (°C)	LT (°C)
<i>H. aurolineatum</i>	7,71 (\pm 0,14) (6,9 – 8,4)	12,11 (\pm 0,56) (9,65 – 14,7)	37,25 (\pm 0,24) (36,1 – 38,3)	38,73 (\pm 0,22) (38,5 – 39,7)
<i>S. variabilis</i>	4,78 (\pm 0,2) (4,3 – 6,4)	5,55 (\pm 1,1) (3,36 – 6,73)	37,62 (\pm 0,22) (36,7 – 38,8)	40,02 (\pm 0,07) (39,7 – 40,4)
<i>H. squamipinna</i>	6,8 (\pm 0,15) (6,3 – 7,6)	8,63 (\pm 0,56) (6,5 – 11,34)	37,32 (\pm 0,18) (36,5 – 38,2)	38,42 (\pm 0,24) (37,4 – 39,1)

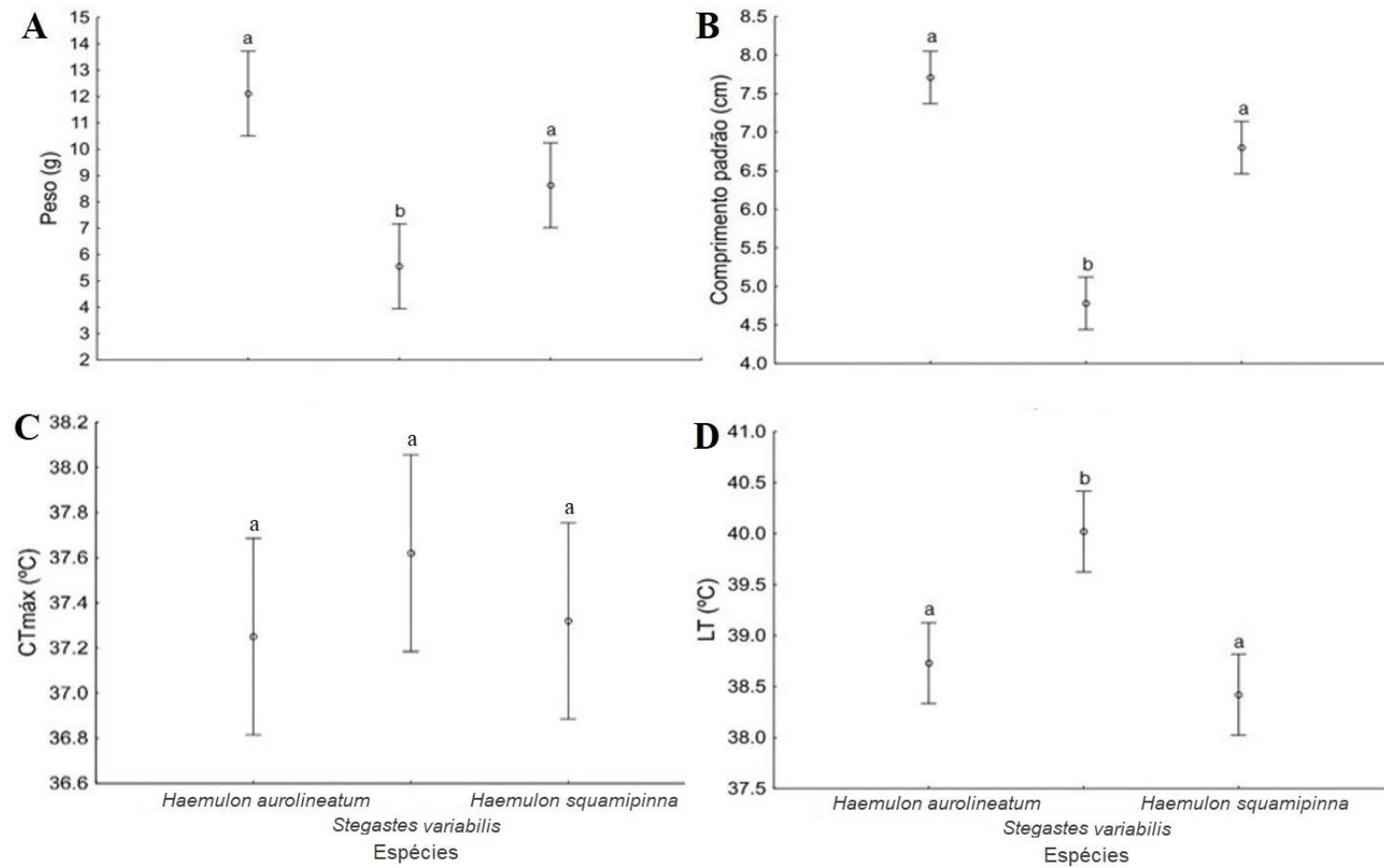


Figura 2. Peso (A), comprimento padrão (B), temperatura crítica máxima (C) e temperatura letal máxima (D) de *Haemulon aurolineatum*, *H. squamipinna* e *Stegastes variabilis*. Letras diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$).

6.4 DISCUSSÃO

O atual trabalho demonstra de forma inédita as tolerâncias térmicas máximas de três espécies de peixes tropicais (*Haemulon aurolineatum*, *Stegastes variabilis* e *H. squamipinna*), sendo a última dessas espécies endêmica da costa brasileira.

A temperatura crítica máxima das três espécies (*H. aurolineatum*, *H. squamipinna* e *S. variabilis*) que não apresentaram diferenças significativas entre si, se aproximam com o CT_{máx} de *Stegastes acapulcoensis* (~38 °C) e *Haemulon steindachneri* (~37 °C), demonstrando similaridade no CT_{máx} de espécies do mesmo gênero (MORA e OSPINA, 2001). Essa aproximação no valor da tolerância crítica máxima não foi vista para outra espécie do gênero *Stegastes* (*S. fuscus*) que demonstrou CT_{máx} ~35 °C, e não demonstrou-se similar a outras espécies da família Pomacentridae como *Chromis atrilobata* (~35,5 °C) (VINAGRE *et al*, 2016). O fato da temperatura crítica máxima de *S. fuscus* não corroborar com o resultados deste trabalho para *S. variabilis*, assim como diferiu do valor obtido para *S. acapulcoensis*, pode estar associado ao histórico térmico das espécies nas áreas em que foram coletadas (LUTTERSCHMIDT e HUTCHISON, 1997).

Os CT_{máx} encontrados para as três espécies desse trabalho foram aproximados ao encontrado por RODGERS *et al.* (2018) para espécie de outro gênero na Grande Barreira de Corais - Austrália (*Acanthochromis polyacanthus*) (~37,07 °C), que apresentou CT_{máx} em média 7 °C superior às temperaturas médias do verão experimentadas por esta população e 5,73 °C acima da temperatura máxima que os recifes do Estreito de Torres experimentaram em 10 anos. Os resultados de variação da temperatura encontrados para essa espécie corrobora com os das espécie desse estudo, uma vez que já foi encontrada temperaturas de 31 °C nos recifes do Seixas (DIAS e GONDIM, 2016) representando ~6°C para atingir o CT_{máx} das espécies.

Em relação à variação intraespecífica, os resultados desse trabalho corroboram com OSPINA e MORA (2004) que encontraram que essa variação no CT_{máx} foi muito baixa (geralmente menor que 1 °C) e estava pouco relacionada ao tamanho do corpo em todas as espécies. Além disso, os resultados demonstraram que *Stegastes variabilis* foi a espécie que apresentou menor peso e tamanho, porém, essas variações inter-específicas também não levaram a uma variação significativa no CT_{máx} das espécies.

Entretanto, diferentemente do CT_{máx}, a temperatura letal máxima (LT_{máx}) apresentou diferença significativa, sendo a espécie de menor peso e tamanho (*S. variabilis*) com maior valor comparado aos Haemulídeos. É visto que o tamanho corpóreo pode influenciar a tolerância térmica devido às diferenças fisiológicas ontogênicas ou às diferenças na relação área/volume, contudo, é possível que essas características corpóreas não estejam relacionadas ao fato da espécie *S. variabilis* apresentar maior temperatura letal e sim por serem territorialistas, onde em maré baixa ficam em regiões mais rasas as quais apresentam temperaturas mais altas (HUTCHISON, 1976; MEDEIROS *et al.*, 2010).

Os peixes tropicais tendem a apresentar CT_{máx} maior que espécies de regiões temperadas, porém, as espécies tropicais vivem mais próximas de sua temperatura crítica máxima, o que representa um maior risco deletério para as espécies que ocorrem nesses ambientes (VINAGRE *et al.*, 2016). Espécies tropicais da zona intertidal que ocorrem em ambientes com média anual da temperatura da água de 24 °C (sudeste do Brasil) como *Bathygobius saporator* e *Eucinostomus melanopterus* apresentam CT_{máx} de aproximadamente 39 °C (VINAGRE *et al.*, 2016). Isso representa espécies mais tolerantes a elevadas temperaturas quando comparadas a espécies que são comuns em piscinas de maré do nordeste do Atlântico (Portugal) onde a temperatura média anual é de 17 °C como *Coryphoblennius galerita*, *Gobius paganellus*, *Lipophrys pholis* e *Paralipophrys trigloides* as quais apresentam CT_{máx} respectivamente de 32 °C, 33.1 °C, 35 °C e 33.9 °C (VINAGRE *et al.*, 2013).

O fato das espécies tropicais viverem próximas às suas faixas de temperatura crítica (CHEUNG *et al.*, 2016) gera diversos questionamentos sobre, a manutenção à longo prazo dessas populações, resiliência após eventos de elevação pontual de temperatura, fatores adaptativos como por exemplo, relacionando a este trabalho, espécies territorialistas que em eventos de aumento de temperatura ultrapassam o CT_{máx}, como em maré baixa. É possível que essas espécies que atualmente vivem e desenvolvem papéis fundamentais para a manutenção de um dos ecossistemas mais ricos da terra que são os ecossistemas recifais deixem seus territórios e passem a realizar algum tipo de regulação comportamental, ou esses indivíduos sofrerão por período indeterminado com esse tipo de estresse, causando danos às populações? E por fim, a pergunta mais importante: o que podemos fazer para que o aumento térmico gradativo que ocorre há décadas finalmente seja freado?

Essa pergunta baseou uma infinidade de debates, fóruns, conferências e “papers” abordando diversas medidas que visam minimizar o aquecimento global, que é a origem de toda a desregulação de calor na atmosfera que conseqüentemente afeta os oceanos (STOCKER *et al.*, 2013). Dentre elas, estão de maneira primordial a realização de acordos internacionais que sejam efetivamente cumpridos pelos países (GALÁN-MARTÍN, 2018). Medidas locais são propostas como, HANSEN *et al.* (2010) que elaboram quatro princípios para conservação e gestão frente às mudanças climáticas, são elas: proteger o espaço adequado, reduzir tensões não climáticas, usar gestão adaptativa para implementar e testar estratégias de adaptação às mudanças climáticas, e trabalhar para reduzir a taxa de extensão da mudança climática diminuindo o risco global.

Em relação aos oceanos, medidas de conservação não convencionais também são propostas, tendo em vista a atual incapacidade de redução à curto prazo do efeito estufa na atmosfera, como por exemplo, o sombreamento de zonas marinhas protegidas, criação de refúgios, preservação artificial de estoque genético, reprodução seletiva, modificação geoquímica da água do mar com a adição de alcalinizantes, entre outros (RAU *et al.*, 2012). Conhecer as escalas e níveis de tolerância dos organismos referentes à esses agentes externos (temperatura e CO₂) tornam-se extremamente importantes, a fim de prever os efeitos futuros nessas populações, bem como viabilizar o planejamento e gestão de áreas apropriadas.

6.5 CONCLUSÕES

As espécies *Haemulon aurolineatum*, *H. squamipinna* e *Stegastes variabilis* apresentaram similaridade na temperatura crítica máxima o que provavelmente está associado a estabilidade/histórico térmico da área.

O *S.variabilis* demonstrou uma maior capacidade de suportar temperaturas mais elevadas em relação aos Haemulídeos, apresentando uma temperatura letal máxima superior. Esse fato pode estar intimamente relacionado a ontogenia dessa espécie territorialista, a qual convive com temperaturas mais elevadas em maré baixa.

As três espécies tropicais desse estudo que ocorrem nos recifes dos Seixas, Paraíba – Brasil, estão consideravelmente próximas a suas temperaturas críticas máximas. Esse

fato merece atenção tendo em vista que a elevação térmica da superfície marinhas nos ambientes recifais costeiros continuam ganhando força.

Não cessar o aquecimento global é colocar em risco as espécies de peixes recifais, as quais têm seu valor de existência enquanto espécie, exercem papel fundamental estruturando as comunidades e têm uma importante função nos serviços ecossistêmicos, servindo de recurso proteico para a humanidade.

7 CONCLUSÕES GERAIS

A saúde dos zoantídeos nos recifes do Seixas apresentou um padrão, onde nos últimos meses de verão houve aumento das colônias sadias e diminuição de pálidas e mortas. Isso pode estar associado ao aumento na densidade das zooxantelas. As doenças e necroses em *P. caribaeorum* demonstraram aumento na ocorrência no período posterior ao pico da alta estação o que remete a influência de práticas humanas na saúde desses cnidários. Observou-se também uma baixa taxa de branqueamento dos zoantídeos, o que possivelmente estar ligado a estabilidade térmica em ambos ambientes recifais nos meses de amostragem. Isso demonstra que altas temperaturas têm um potencial de serem causadoras dos eventos de branqueamento em massa nesses organismos.

Em relação a comparação da saúde das colônias de *P. caribaeorum* dos recifes de Picãozinho e Seixas, foi visto que às de Picãozinho apresentaram-se estáveis durante os meses de verão, diferentemente do Seixas que apresentou distinção da saúde com o avanço do verão. Nessa perspectiva, o Seixas é compreendido como um ambiente mais suscetível a alterações ambientais, valendo destacar que a saúde dos zoantídeos *P. caribaeorum* durante os meses de amostragem apresentaram-se em situação estável em ambos os ambientes recifais. Porém, torna-se importante a realização de monitoramentos como os realizados nesse trabalho em períodos de maiores estresses, como em eventos de anomalias térmicas.

As espécies de peixes recifais tropicais *Haemulon aurolineatum*, *H. squamipinna* e *Stegastes variabilis* apresentaram temperaturas críticas máximas aproximadas o que pode estar associado a estabilidade/histórico térmico dos indivíduos na área. Essas espécies estão consideravelmente próximas a suas temperaturas críticas máximas. Os resultados obtidos de tolerância térmica para essas espécies merecem destaque tendo em vista que a elevação térmica da superfície marinha nos ambientes recifais costeiros estão sendo otimizadas com o passar dos anos.

A espécie que demonstrou uma maior capacidade de suportar temperaturas mais elevadas foi *S. variabilis*, apresentando uma temperatura letal máxima superior comparado aos haemulídeos. Esse fato pode está intimamente relacionado a ontogenia dessa espécie territorialista, a qual relaciona-se mais com temperaturas superiores em maré baixa.

Medidas como as mencionadas nesse trabalho têm que ser tomadas em relação ao aquecimento global, pois se não der atenção a fauna recifal continuará em risco. Fauna essa que têm seu valor de existência enquanto espécies, as quais exercem papéis fundamentais estruturando as comunidades, e que têm uma importante função nos serviços ecossistêmicos.

REFERÊNCIAS

BELLWORTHY, J. et al. Developmental carryover effects of ocean warming and acidification in corals from a potential climate refugium, the Gulf of Aqaba. **Journal of Experimental Biology**, v. 222, n. 1, p. jeb186940, 2019.

BREITBURG, Denise et al. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. **Science**, v. 359, n. 6371, p. eaam7240, 2018.

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.

CHENG, L. & ZHU, J. 2017 was the Warmest Year on Record for the Global Ocean. **Advances in Atmospheric Sciences**, 35(3), 261-263, 2018.

CHEUNG, W.W.L. & PAULY, D. Impacts and effects of ocean warming on marine fishes, in: D. Laffoley, J.M. Baxter (Eds.), *Explaining Ocean Warming: Cause, Scale, Effects and Consequences*, IUCN, Switzerland, pp. 239–253, 2016.

DEUTSCH, C.A. et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.

DI SANTO, V. LOBEL, P. S. Body size and thermal tolerance in tropical gobies. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 487, p. 11-17, 2017.

DIAS, T.L.P. & GONDIM, A.I. Bleaching in scleractinians, hydrocorals, and octocorals during thermal stress in a northeastern Brazilian reef. **Marine Biodiversity**, v. 46, n. 1, p. 303-307, 2016.

DÍAZ, F. & BÜCKLE, L. F. Effect of the critical thermal maximum on the preferred temperatures of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures. **Journal of Thermal Biology**, v. 24, n. 3, p. 155-160, 1999.

DÜLGER, N. et al. Thermal tolerance of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles acclimated to three temperature levels. **Journal of Thermal Biology**, v. 37, n. 1, p. 79-82, 2012.

FEITOSA, J. L. L. et al. Food resource use by two territorial damselfish (Pomacentridae: *Stegastes*) on South-Western Atlantic algal-dominated reefs. **Journal of Sea Research**, v.70, p.42-49, 2012.

GALÁN-MARTÍN, A. et al. Time for global action: an optimised cooperative approach towards effective climate change mitigation. **Energy & Environmental Science**, v. 11, n. 3, p. 572-581, 2018.

HANSEN, L. et al. Designing climate-smart conservation: guidance and case studies. **Conservation Biology**, v. 24, n. 1, p. 63-69, 2010.

HATA, H. & CECCARELLI, D. M. Farming Behaviour of Territorial Damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), *Biology of damselfishes* (pp. 404–448). **Boca Raton: CRC press**. 2016.

HERNÁNDEZ, M. et al. Temperature tolerance polygon of *Poecilia sphenops* Valenciennes (Pisces: Poeciliidae). **Journal of Thermal Biology**, v. 27, n. 1, p. 1-5, 2002.

HUEY, R.B. & STEVENSON, R. D. Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: a discussion of approaches. **American Zoologist**, v. 19, n. 1, p. 357-366, 1979.

HUTCHISON, V.H. Factors influencing thermal tolerances of individual organisms (CONF-750425--). **McFarlane, R.W. (Ed.)**. United States, 1976.

LUTTERSCHMIDT, W. I. & HUTCHISON, V.H. The critical thermal maximum: history and critique. **Canadian Journal of Zoology**, v. 75, n. 10, p. 1561-1574, 1997.

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. **Journal of Fish Biology**, v. 77, n. 7, p. 1599-1615, 2010.

MORA, C. & MAYA, M. F. Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 4, p. 337-341, 2006.

MORA, C. & OSPINA, F. Thermal tolerance and potential impact of sea warming on reef fishes from Gorgona Island (Eastern Pacific Ocean). **Marine Biology**, v. 139, p. 765–769, 2001.

OSPINA, A. F.; MORA, C. Effect of body size on reef fish tolerance to extreme low and high temperatures. **Environmental Biology of Fishes**, v. 70, n. 4, p. 339-343, 2004.

PARMENTIER, E. & FRÉDÉRICH, B. Meet the damselfishes. In B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), **Biology of Damselfishes** (pp. 29–62). Boca Raton: CRC press. 2016.

PENG, J.; CAO, Z-D.; FU, S-J. The effects of constant and diel-fluctuating temperature acclimation on the thermal tolerance, swimming capacity, specific dynamic action and growth performance of juvenile Chinese bream. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 176, p. 32-40, 2014.

PEREIRA, P. H. C. & FERREIRA, B. P. Effects of life phase and schooling patterns on the foraging behaviour of coral-reef fishes from the genus *Haemulon*. **Journal of Fish Biology**, v. 82, n. 4, p. 1226-1238, 2013.

PEREIRA, P.H.C.; FEITOSA, J.L.L. & FERREIRA, B.P. Mixed-species schooling behavior and protective mimicry involving coral reef fish from the genus *Haemulon* (Haemulidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 9, n. 4, p. 741-746, 2011.

PÉREZ, E.; DÍAZ, F. & ESPINA, S. Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces: Cichlidae). **Journal of Thermal Biology**, v. 28, n. 8, p. 531-537, 2003.

POLUNIN, N.V.C. *Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects* (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 482, 2008.

RAU, G. H.; MCLEOD, E. L.; HOEGH-GULDBERG, O. The need for new ocean conservation strategies in a high-carbon dioxide world. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 10, p. 720, 2012.

ROCHA, L. A. & ROSA, I. L. New species of *Haemulon* (Teleostei: Haemulidae) from the northeastern Brazilian coast. **Copeia**, 447-452, 1999.

RODGERS, G. G. et al. Impacts of increased ocean temperatures on a low-latitude coral reef fish—Processes related to oxygen uptake and delivery. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 95-102, 2019.

RODGERS, G. G. et al. In hot water: sustained ocean warming reduces survival of a low-latitude coral reef fish. **Marine Biology**, v. 165, n. 4, p. 73, 2018.

RUMMER, J.L. et al. Life on the edge: thermal optima for aerobic scope of equatorial reef fishes are close to current day temperatures. **Global Change Biology** 20:1055–1066, 2014.

STOCKER, T. F. et al., Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **Cambridge University Press**, Cambridge, 2013.

VINAGRE, C. et al. Critical thermal maxima of common rocky intertidal fish and shrimps—A preliminary assessment. **Journal of Sea Research**, v. 81, p. 10-12, 2013.

VINAGRE, C. et al. Vulnerability to climate warming and acclimation capacity of tropical and temperate coastal organisms. **Ecological Indicators**, v. 62, p. 317-327, 2016.

WIDMER, A. M. et al. Upper temperature tolerance of loach minnow under acute, chronic, and fluctuating thermal regimes. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 135, n. 3, p. 755-762, 2006.

WRIGHT L.D., SYVITSKI J.P.M., NICHOLS C.R. Global Change: More Than Climate. In: Wright L., Nichols C. (eds) Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent. **Coastal Research Library**, vol 27, 2019.