



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO**  
**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**(ZOOLOGIA)**

**EFEITOS DE HEATWAVES NA PERCEPÇÃO QUÍMICA DO**  
**PEIXE PREDADOR *Bathygobius saporator***

**JAQUELINE SANTOS BORGES**

**BOTUCATU-SP**

**Junho/2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(ZOOLOGIA)

**EFEITOS DE HEATWAVES NA PERCEPÇÃO QUÍMICA DO  
PEIXE PREDADOR *Bathygobius soporator***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) do Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Discente:** Jaqueline Santos Borges

**Orientadora:** Dra. Tânia Marcia Costa

**Coorientador:** Dr. Fernando Rafael De Grande

B732e      Borges, Jaqueline Santos  
              Efeitos de heatwaves na percepção química do peixe predador  
Bathygobius soporator / Jaqueline Santos Borges. -- Botucatu, 2024  
              32 p. : tabs., fotos

              Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Instituto de Biociências, Botucatu  
              Orientadora: Tânia Marcia Costa  
              Coorientador: Fernando Rafael De Grande

              1. Comunicação química. 2. Interação presa-predador. 3. Costão  
              rochoso. 4. Diversidade. 5. Percepção ambiental. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito de heatwaves na percepção química do peixe predador *Bathygobius soporator*

**AUTORA: JAQUELINE SANTOS BORGES**

**ORIENTADORA: TÂNIA MARCIA COSTA**

**COORIENTADOR: FERNANDO RAFAEL DE GRANDE**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Biológicas (Zoologia), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TÂNIA MARCIA COSTA (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / Instituto de Biociências – Campus do Litoral Paulista – UNESP

Prof. Dr. MURILO ZANETTI MAROCHI (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências Biológicas / Universidade Estadual do Paraná

Pós-doutorando ALEXANDRE RIBEIRO DA SILVA (Participação Virtual)  
Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)

Botucatu, 19 de julho de 2024

Amanda Regina Sanches  
Assistente Administrativo II da Seção Técnica de Pós-graduação  
do Instituto de Biociências

Um meio que muitas vezes parece uma creche de crianças egocêntricas, que não suportam serem contrariadas.

Agradeço primeiramente, à Professora Dr<sup>a</sup> Tânia Marcia Costa por toda a orientação e paciência comigo ao longo deste processo, muito obrigada professora, por me ensinar como uma mulher deve agir para alcançar seus objetivos, como se valorizar e sempre manter a cabeça erguida diante das adversidades da vida.

Agradeço meu orientador, Dr. Fernando Rafael De Grande por também ter paciência comigo ao longo deste processo (desde a iniciação científica), e por todas as vezes que precisou chamar minha atenção, de modo que eu pudesse expressar minha melhor versão. Muito obrigada por me ensinar a ser uma pessoa mais prática e confiante.

Agradeço à Dr<sup>a</sup> Ana Paula Ferreira por nos ensinar tanto sobre análise estatística, sempre muito prática e preocupada em fazer com que entendamos os conceitos desde o princípio, sem julgamentos. Agradeço ao Dr. Alexandre Luiz Arvigo por me fazer entender melhor meu delineamento e meus resultados, na Qualificação.

Agradeço a Fernanda P. Corrêa, Carolina G. Martins, Aynara R. de Andrade, Taina M. Ferreira e Dalila J. Borges, por toda ajuda não somente no início deste trabalho, mas por cada palavra amiga que proferiu a mim. Agradeço aos membros do LABECOM, e garanto que aprendi um pouquinho com cada um de vocês, independente do nível acadêmico. Com certeza levarei comigo, aprendizados que vão além da vida acadêmica.

Agradeço ao meu irmão, Paulo Borges e minha madrinha, Adeilde Santos por todo o apoio. Obrigada por vocês acreditarem em mim. Agradeço à minha amiga Geovanna Oliveira, que mesmo longe, sempre vibrou por mim. Agradeço a todos os meus amigos e familiares que torcem por mim.

Agradeço à CAPES pela bolsa a mim concedida e por ser uma agência de fomento tão atuante na vida dos estudantes de ensino superior. Agradeço à Fapesp pelo auxílio concedido à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Tânia Marcia Costa. Agradeço à todas as pessoas que contribuem para o crescimento da comunidade em Linguagem R e o acesso sem barreiras à ciência.

Por fim, agradeço a oportunidade de experienciar o processo de mestrado em minha vida. Este período foi muito enriquecedor para mim, além de aumentar meus conhecimentos sobre diversos assuntos, que podem ser aplicados na vida profissional, pessoal e acadêmica, também pude observar os pontos que preciso melhorar para que eu possa alcançar um futuro melhor.

## Resumo

No ambiente marinho um eficiente mecanismo de interação entre os organismos é através da comunicação química, usada para identificar potencial perigo, parceiro reprodutivo ou alimento. No entanto, as mudanças do clima podem alterar esse mecanismo, o que pode acarretar efeitos nocivos nas diferentes interações ecológicas. Poças de maré são bons modelos para avaliar os efeitos de eventos extremos, uma vez que apresentam grandes variações abióticas e desempenham funções ecológicas importantes. Nosso estudo teve o objetivo de avaliar como as consequências de heatwaves irão afetar as interações ecológicas entre consumidores e presas. Primeiramente foi feita a caracterização ambiental, através de coletas de dados abióticos em poças de maré. Em laboratório, foi avaliado se a percepção química do predador *Bathygobius soporator* aos estímulos químicos da presa *Pachygrapsus transversus* foi afetada pelo evento de heatwave, em um experimento com quatro tratamentos: presença e ausência de estímulo químico da presa, nas temperaturas de 31°C (controle) e 35°C (cenário SSP3-7.0, IPCC, 2021). O tempo de latência foi maior nos indivíduos expostos à heatwave (35°C) e o comportamento de forrageamento foi maior nos indivíduos expostos à temperatura controle (31°C). Na etapa de alimentação do predador, na temperatura controle (31°C), os tratamentos com e sem estímulo químico da presa, ingeriram maior quantidade de alimento, em comparação à temperatura de heatwave (35°C). Nossos resultados mostraram que *B. soporator* é responsivo ao estímulo químico de *P. transversus* e que seu comportamento de predação será afetado negativamente em cenários de heatwaves.

**Palavras-chave:** Comunicação química; Interação presa-predador; Costão rochoso; Diversidade; Percepção ambiental.

## Abstract

In the marine environment, an efficient interaction mechanism among organisms is through chemical communication, which is used to identify potential danger, reproductive partners, or food. However, climate change can alter this mechanism, potentially causing detrimental effects on different ecological interactions. Tide pools are good models to assess the effects of extreme events, as they exhibit large abiotic variations and play important ecological roles. Our study aimed to evaluate how the consequences of heatwaves will affect ecological interactions between consumers and prey. Firstly, environmental characterization was performed by collecting abiotic data in tide pools. In the laboratory, we assessed whether the predator *Bathygobius soporator*'s chemical perception of the prey *Pachygrapsus transversus*' chemical stimuli was affected by the heatwave event in an experiment with four treatments: presence and absence of prey chemical stimuli at temperatures of 31°C (control) and 35°C (SSP3-7.0 scenario, IPCC, 2021). Latency time was higher in individuals exposed to the heatwave (35°C) and foraging behavior was greater in individuals exposed to the control temperature (31°C). In the predator feeding stage, at the control temperature (31°C), the treatments with and without prey chemical stimuli ingested a greater amount of food compared to the heatwave temperature (35°C). Our results showed that *B. soporator* is responsive to the chemical stimulus of *P. transversus* and that its predation behavior will be negatively affected in heatwave scenarios.

**Keywords:** Chemical communication; Predator-prey interaction; Rocky shore; Diversity; Environmental perception.

## Introdução

As mudanças do clima conduzirão transformações na composição de diferentes comunidades biológicas (Parmesan, 2006; Byrne et al. 2013; Calosi et al. 2017; IPCC, 2021). Podemos encontrar na literatura evidências científicas das consequências que poderão acontecer decorrentes destas alterações (Marengo, 2008), tais como mudanças na distribuição espacial de vegetais (Borges et al. 2019), no tamanho corporal de peixes (Ishimatsu et al. 2005), no comportamento de crustáceos (De Grande et al. 2021) e percepção ambiental de mamíferos (Hunter et al. 2010) e moluscos em diferentes estágios do seu ciclo de vida (Barros, 2011). Diante deste delicado cenário, o Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC) vem apresentando relatórios os quais preveem para o final deste século, um aumento entre 2 à 4°C, na temperatura média global da superfície terrestre e a elevação do nível do mar em regiões costeiras (IPCC, 2021). Além disso, o pH da água do mar poderá ser reduzido em até 0.7 unidades até o final do milênio, tornando o meio marinho ácido para diversos organismos (Caldeira & Wicket, 2003). Para a região sudeste do Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) projeta aumento entre 1.5 à 2°C na temperatura média local até o ano de 2070 (PBMC, 2014).

Em ambientes aquáticos um modo eficiente dos organismos captar e interpretar informações, respondendo da forma mais adequada à situação, é através da percepção de estímulos químicos (Castro et al. 2009). Este tipo de comunicação pode ocorrer entre coespecíficos e interespecíficos (Castro et al. 2009; Silva et al. 2010). Mudanças ambientais muitas vezes induzem os organismos a responderem de forma desordenada aos estímulos recebidos, com redução da capacidade em lidar com situações consideradas normais como, por exemplo, a predação, acasalamento e forrageamento (Miller et al. 2014). Eventos extremos de heatwaves são caracterizados por elevação anormal da temperatura, que excedem o percentil 90, em comparação aos últimos 30 anos e por períodos superiores a 5 dias (Hobday et al. 2016). Em 2016, houve um declínio no valor nutricional do peixe marinho *Ammodytes personatus*, indicando uma interrupção na transferência de energia para predadores, durante heatwaves (Biela et al. 2019). Portanto, o estresse causado por uma heatwave pode gerar efeito em cascata, impactando toda comunidade ecológica. A

exposição prolongada à heatwave, pode afetar o desenvolvimento de peixes juvenis, como *Acanthochromis polyacanthus* (Spinks et al. 2019), com consequências imediatas e futuras para o desempenho individual da espécie. Heatwaves causam mudanças significativas em assembleias de peixes marinhos, com alterações que podem variar em escalas espaciais relativamente curtas (Olsen et al. 2022). Assim, mudanças nas propriedades físico-químicas da água como, por exemplo, um evento de heatwave, colocam em risco a percepção química das espécies (Hara, 1994), incluindo aquelas que habitam as poças de marés, e as consequências para as interações ainda são pouco conhecidas. Dados sobre os impactos das heatwaves em ecossistemas marinhos do hemisfério Sul ainda são incipientes (Guarizo et al. 2023). Desta maneira, pesquisas que contribuam, para a compreensão das consequências ecológicas de heatwaves, são de grande relevância (Benthuisen et al. 2020).

Devido à proximidade com o ambiente terrestre, as regiões costeiras são dinâmicas e possuem grande importância ecológica, servindo de abrigo para diferentes espécies (Coutinho et al. 2016). Costões rochosos são habitats inseridos nestas regiões, e que propiciam alimento e abrigo aos organismos, mas os expõem a temperaturas próximas as de seus limites térmicos (Vinagre et al. 2018). Suas características físico-químicas como disponibilidade de oxigênio, salinidade, temperatura e nível da água estão em constante mudança em curto espaço de tempo, incluindo temperaturas que ultrapassam 50°C durante os períodos de baixa-mar (Vinagre et al. 2021). Portanto, as poças de maré podem atingir temperaturas mais altas que os limites térmicos dos organismos que ali vivem, e este aumento, poderá fazer com que se tornem “armadilhas ecológicas” (Vinagre et al. 2018). As espécies que vivem em poças de maré podem ser classificadas como residentes ou ocasionais (Grossman, 1982; Rosa et al. 1997), e conseguem lidar com estes extremos através de adaptações fisiológicas (Barlow, 1958; Rantin et al. 1998; Fangué et al. 2001). Por viverem próximas do limite de tolerância térmica, as espécies tropicais que vivem em costões rochosos poderão ser mais vulneráveis às mudanças do clima, do que em comparação às espécies que vivem em regiões temperadas (Vinagre et al. 2018).

Representantes da família Gobiidae são adaptados a ocuparem pequenas áreas como poças de maré (Mendes, 2006) e estão entre os peixes mais bem sucedidos em habitats costeiros (Emmanuel et al. 2010). O peixe bentônico *Bathygobius soporator*, conhecido como Amboré, é comum em ambientes costeiros (Tavolga, 1950; Ferreira et al. 1992). O Amboré, apresenta ampla distribuição, com registros de ocorrência na África ocidental tropical, Atlântico oriental, Ilhas Bermudas e Flórida (EUA), até o Estado do Rio Grande do Sul no Brasil (Miller et al. 1989; Menezes et al. 2003), ocupando papel fundamental como estruturador na ecologia de comunidades costeiras (Tavolga, 1958; Lopes et al. 1998; Soares et al. 2016). Especificamente em poças de maré, *B. soporator* vive próximo ao seu limite de tolerância térmica (Vinagre et al. 2018) e possui fundamental importância como predador, regulando a densidade, competição e estrutura de outras espécies em sua comunidade (Little et al. 2009). Nas interações entre presas e predadores a rápida percepção dos estímulos químicos é determinante para a sobrevivência, tanto da presa quanto do predador (Munday et al. 2009). Distúrbios ambientais como aumento da temperatura prejudicam os processos de reconhecimento entre as espécies (Brierley et al. 2009), influenciando na capacidade de ação e resposta frente às situações decisivas, como a predação (Dixon et al. 2015).

Apesar do Amboré ser caracterizado como um animal onívoro ou oportunista (Lopes et al. 1998, Soares et al. 2016) ele apresenta maior consumo de crustáceos, como por exemplo, Brachyura (Lopes et al. 1998, Soares et al. 2016). Entre as presas consumidas encontramos o caranguejo *Pachygrapsus transversus*, organismo semiterrestre que habita as regiões de costões rochosos e o qual se expõe ao risco de predação por *B. soporator*, ao entrar em poças de maré para alimentar-se (Christofolletti et al. 2010). Uma vez que as poças de maré apresentam baixa inércia térmica (Vinagre et al. 2018), selecionamos este modelo de habitat costeiro, para avaliar como as consequências de heatwaves irão afetar as interações ecológicas entre consumidores e presas. Nós testamos se (H1) *B. soporator* é capaz de identificar estímulos químicos de sua presa *P. transversus* e se (H2) A percepção química, presente nas interações entre predador e presa será afetada pelas heatwaves.

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

A caracterização ambiental foi realizada nos costões rochosos da praia dos Milionários (23°58'33.5"S-46°22'20.7"W), localizada no município de São Vicente/SP. O local está inserido em área totalmente urbanizada, possui aproximadamente 4,164.85 m<sup>2</sup> de costão, com fragmentos do bioma mata atlântica em suas proximidades (SÃO PAULO, 2024). De acordo com a classificação de Koppen et al. (1928) e Rolim et al. (2007), o clima da área de estudo é subtropical, com temperaturas médias no mês mais frio e mais quente abaixo de 18°C e acima de 22°C, respectivamente, e ausência de estação seca. O índice pluviométrico anual é de aproximadamente 2.137 mm (Climatempo, 2024) e o regime de marés da região é classificado como semidiurno (Farinnaccio et al. 2009).

### **Caracterização das poças de maré**

Para a caracterização das poças de marés, foram realizadas cinco amostragens para coleta de dados abióticos, durante o período de maré baixa de sizígia, de forma que as poças estivessem totalmente isoladas, sem conexão com o oceano. Inicialmente, foram escolhidos cinco locais, que foram monitorados durante cinco períodos de baixa-mar, distribuídos em diferentes dias da estação verão. Esta etapa ocorreu entre os meses de dezembro/2021 a fevereiro/2022, época do ano em que são registradas as maiores temperaturas (Climatempo, 2024). As amostragens foram realizadas nos dias ensolarados, no período entre 10 e 15 horas, momento em que ocorre maior incidência de raios solares na superfície terrestre.

Os parâmetros de salinidade e pH foram amostrados de 1 em 1 hora em cada uma das poças, utilizando respectivamente, um refratômetro portátil (Seawater Refractometer HI96822) e um pHmetro (Akso Combo 5 Medidor Multiparâmetro). Para a mensuração da temperatura foram utilizados Dataloggers iButton (Hobo MX2201) mergulhados em cada poça. Os dados de

temperatura foram registrados por minuto, das 10 às 15 horas, aproximadamente.

### **Coleta e aclimação dos animais**

Foram coletados 40 exemplares de *Bathygobius soporator* nas poças de maré formadas no mesmo costão rochoso em que foi feita a etapa de caracterização ambiental. Utilizamos apenas indivíduos adultos (Tavolga, 1955; Macieira, 2008), com comprimento total médio de 9.5 cm  $\pm$  1.4 cm, para evitar interferências do hábito alimentar (Tomida et al. 2012), uma vez que *B. soporator* apresenta alta plasticidade trófica. Para a captura com menores riscos de injúrias aos indivíduos, foram utilizados covos artesanais como apetrecho de pesca, contendo camarões frescos em seu interior. Os espécimes foram transportados em baldes com água do mar e aeração constante para laboratório.

Após a coleta, os peixes foram mantidos em tanques circulares (500 litros) equipados com termostatos (Ace Pet termostato de vidro X-618) e aeradores, mantendo-se as condições laboratoriais constantes, de acordo com os valores médios de salinidade, temperatura e pH obtidos a partir da etapa de caracterização ambiental. Utilizamos água artificial marinha para evitar influência de estímulos provenientes da água natural. As condições e manutenção dos estoques foram definidas segundo Tomida et al. (2012), Barreto et al. (2014) e Pereira et al. (2017). Os peixes foram aclimatados por 15 dias, e alimentados uma vez ao dia com ração comercial Poytara carnívoros de fundo®. Para a qualidade da água utilizamos filtração biológica e física, com trocas parciais de água. Os níveis de amônia (<0,5 ppm), nitrito (<0,5) e nitrato (<1), foram monitorados com regularidade (duas vezes por semana) e se mantiveram baixos durante todo o procedimento.

### **Coleta e preparação do estímulo químico**

Foram coletados manualmente 41 exemplares do caranguejo *Pachygrapsus transversus* nas poças de maré formadas no mesmo costão rochoso em que foi feita a etapa de caracterização ambiental. Os espécimes

foram transportados em baldes com água do mar e aeração constante para laboratório. O extrato de estímulo químico foi preparado com adaptações, conforme descrito por Wisenden et al. (2009). Os 41 espécimes utilizados foram enxaguados em água artificial marinha e sacrificados após exposição à baixa temperatura, sem uso de anestésicos, para evitar interferência de outros estímulos químicos.

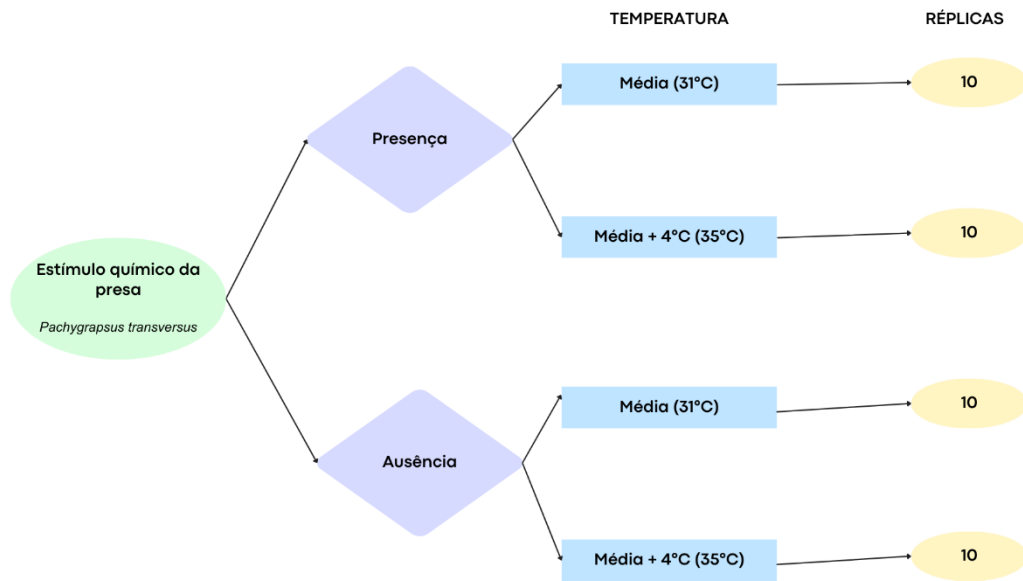
O extrato de estímulo químico foi homogeneizado em um liquidificador manual, contendo 500 ml de água artificial marinha (salinidade 33). Depois de pronto, o estímulo químico foi filtrado com lã de vidro, papel filtro qualitativo (gramatura 80) e funil, para a retirada de fragmentos remanescentes. A concentração final seguiu a proporção de 0.11 gramas de extrato por ml, assim como descrito por Wisenden et al. (2009). A solução final de estímulo químico foi armazenada em tubos Falcon de 50 ml, congeladas a aproximadamente  $-20^{\circ}\text{C}$ , até o início dos experimentos.

## **Delineamento experimental**

### **I. Efeito das heatwaves na capacidade de predação de *Bathygobius soporator***

Desde a década de 1980, a área costeira de Santos/São Vicente tem registrado aumento na ocorrência, intensidade e duração de heatwaves (Marochi et al. 2022). Eventos extremos de heatwaves são caracterizados por elevação anormal da temperatura, que excedem o percentil 90, em comparação aos últimos 30 anos e por períodos superiores a 5 dias (Hobday et al. 2016). A área próxima à costa da região de Santos/São Vicente, registrou um aumento médio anual de  $0.85^{\circ}\text{C}$  nos últimos 38 anos, e um padrão semelhante é observado para os piores cenários do IPCC, até o final do século (Marochi et al. 2022). Em nosso estudo foi avaliado se a percepção química, o tempo e a forma de resposta do predador *B. soporator* aos estímulos químicos de sua presa *P. transversus*, serão afetadas pelas heatwaves. Para isso definimos dois valores: a temperatura média (obtida na etapa de caracterização ambiental) e média +  $4^{\circ}$ , que além de

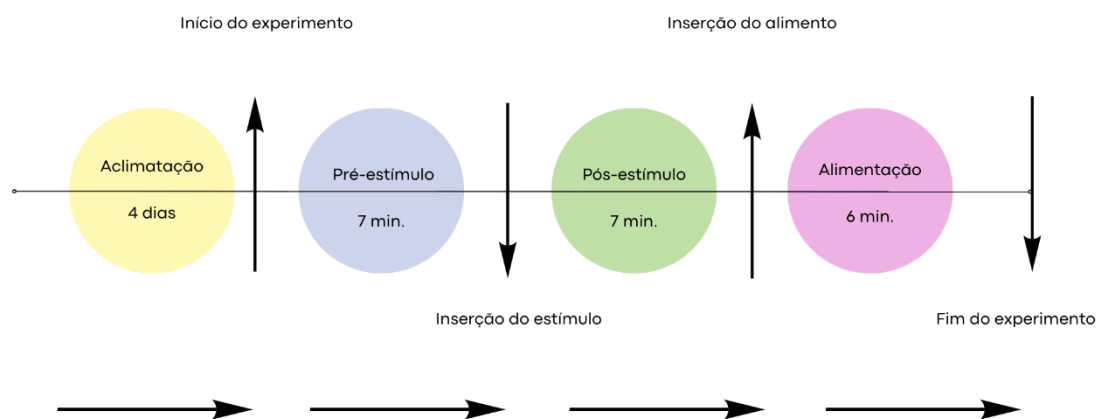
corresponder ao cenário SSP3-7.0 do IPCC (2021), também representa o aumento máximo da temperatura observada em eventos de heatwaves nas últimas décadas (Marochi et al. 2022). Foram utilizados dois fatores fixos: estímulo (com dois níveis: presença e ausência), temperatura (ortogonal ao estímulo, com dois níveis: temperatura média e temperatura média + 4°C), resultando em 4 tratamentos com 10 réplicas cada (Figura 1).



**Figura 1:** Delineamento ortogonal em que foi testado a percepção química do peixe predador *Bathygobius soporator*, sob o cenário de heatwave. O experimento apresentou quatro tratamentos: ausência e presença de estímulo químico da presa *Pachygrapsus transversus*, ambos dentro das temperaturas de heatwave (35°C) e controle (31°C).

Para os parâmetros abióticos, foram utilizados os valores médios de pH e salinidade obtidos a partir da caracterização ambiental. Os espécimes foram separados em dois tanques circulares (500 litros) equipados com termostatos (Ace Pet termostato de vidro X-618) e aeradores, de acordo com os tratamentos heatwave (35°C) e controle (31°C). Durante 15 dias, todos os peixes foram mantidos em temperatura controle (31°C). No 16º dia, a temperatura do tanque com espécimes para o tratamento de heatwave (35°C), foi aumentada gradativamente. Em seguida, todos os peixes foram inseridos em aquários

individuais (22 L), de acordo com cada tratamento. Dentro dos aquários experimentais, iniciou-se a etapa aclimação do experimento, na qual os espécimes foram expostos ao evento de heatwave, caracterizado por ter duração de pelo menos 5 dias, com temperatura até 4°C acima da média (Marochi et al. 2022). Seguindo a ordem cronológica de cada uma das fases do experimento (figura 2), foi adicionado aos aquários 50 ml do estímulo químico da presa *P. transversus* e 50 ml de água artificial marinha nos aquários controle, sempre próximo ao aerador para que o fluxo de bolhas pudesse auxiliar na dispersão. Nosso experimento consistiu em três etapas, sendo elas: pré-estímulo, pós-estímulo e alimentação, totalizando 20 minutos (adaptado de Arvigo et al. 2019).



**Figura 2:** Ordem cronológica das etapas do experimento. Abaixo da barra horizontal indica o tempo de duração. O círculo amarelo indica o tempo em que *Bathygobius soporator* ficou em aclimação no aquário experimental. O círculo azul indica o início do experimento. O círculo verde indica o término da etapa pré-estímulo, onde foi inserido o estímulo da presa, *Pachygrapsus transversus*. O círculo lilás indica o término da etapa pós-estímulo, onde foi inserido o alimento. A última seta indica o fim da etapa alimentação, cessando o experimento.

Os peixes ficaram em jejum por 12 horas antes do início dos experimentos, para evitar o efeito de saciedade nas etapas de recebimento do estímulo (Tomida et al. 2012) e cada espécime foi utilizado apenas uma vez. O fotoperíodo foi de 12h claro/escuro, utilizando lâmpadas fluorescentes brancas 20 W. A salinidade foi mantida de forma artificial, através da diluição de sal marinho (Hikerocean Pro Sea Salt®) em água destilada até que se atingisse o valor necessário, avaliado com um refratômetro (Seawater Refractometer HI96822). A temperatura foi controlada com termostatos Hopar 25w H-386.

### **Respostas comportamentais**

Considerando o período natural de atividade e o hábito alimentar diurno de *B. soporator* (Fanta, 1997; Nomura, 2008), os experimentos foram desenvolvidos entre 10 e 14 horas (adaptado de Pereira et al. 2017). O tempo de observação de 20 minutos foi escolhido porque *B. soporator* se locomove através de pequenos surtos, com movimentos rápidos e repentinos (Tavolga, 1950; Fanta, 1997; Nomura, 2008). Foram utilizados 40 aquários de 20 litros (40 x 20 x 25 cm), com um cano de PVC fixado, que funcionou como um refúgio, simulando o que ocorre em seu habitat natural, onde *B. soporator* é um animal bentônico e se refugia em fendas do costão rochoso durante as marés baixas (Aronson, 1951). Para avaliar a movimentação do predador, na presença de estímulo químico da presa, na parte de trás de cada aquário, foi inserido uma placa de poliestireno de cor branca dividida em nove quadrantes (13,3 x 8,0 cm) (Figura 3).



**Figura 3:** Representação dos aquários em que foram desenvolvidos os experimentos. **A)** Termostato para regular a temperatura. **B)** Toca afixada no aquário. **C)** Espécime de *Bathygobius soporator*. **D)** Filtro com aeração.

Após inserir o estímulo referente a cada etapa, observamos as seguintes variáveis comportamentais: a “Latência” e “Latência (alimentação)” (ambas quantificadas em segundos, foram definidas como o tempo decorrido até que quaisquer comportamentos pré-definidos, fosse manifestado), “Orientar a cabeça” (quantificada pelo número de ocorrência, foi definida como um discreto movimento da cabeça em direção ao estímulo, porém, sem sair do lugar), “Movimentação” (quantificada através do número de mudanças de quadrante, quando pelo menos 75% do corpo do peixe cruzasse uma linha (adaptado de Barreto et al. 2014)), “Abocanhar” (quantificada pelo número de ocorrência, definida como o comportamento de abrir a boca no local de inserção do estímulo químico), “Abocanhar (alimentação)” (quantificada pelo número de ocorrência, foi definida como o comportamento de colocar o pellet dentro da boca, sem porém, ingeri-lo), “Ingestão” (foi definida como a quantidade de pellets que o peixe ingeriu), “Mover-se em direção ao estímulo” e “Mover-se em direção ao alimento” (ambas quantificadas como uma resposta binária (presença ou

ausência de comportamento) indicam respectivamente, que o peixe se deslocou em direção à fonte do estímulo químico ou alimentar inserido no aquário) e por último, a variável “Dash” (quantificada pelo número de ocorrência, foi definida como uma arrancada rápida e repentina, comportamento comum para a espécie (Nomura, 2004)). As observações foram do tipo animal focal, com registro através do tempo.

## **Análise estatística**

Os dados foram testados quanto a normalidade e homoscedasticidade. Primeiramente foi feito o  $\Delta$  (etapa pós – etapa pré-estímulo) das variáveis “Orientar a cabeça”, “Dash” e “Movimentação”, para individualizar duas réplicas referentes ao mesmo indivíduo. Os dados foram comparados por meio de análise GLM (Modelo Linear Generalizado), usando a versão R Studio 4.3.3.

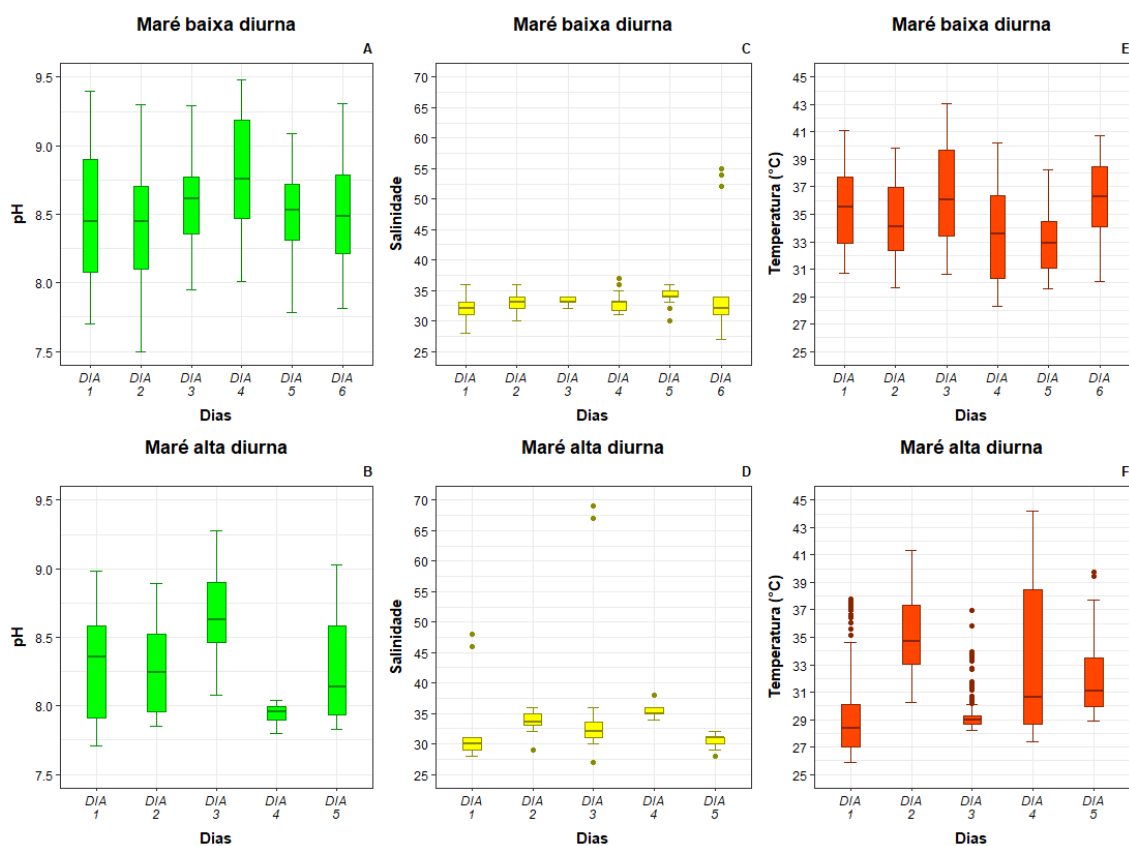
As variáveis “Latência”, “Orientar a cabeça”, “Movimentação”, “Abocanhar”, Latência (alimentação) e “Ingestão” foram quantificadas por contagem (dados discretos) e analisadas com a distribuição Binomial negativo e função de ligação Log. As variáveis “Mover-se em direção ao estímulo” e “Mover-se em direção ao alimento”, foram quantificados como uma resposta binária (presença ou ausência de comportamento) e, portanto, foram analisados por meio de uma distribuição Binomial com função de ligação Logit. As variáveis “Dash” e “Abocanhar (alimentação)” foram quantificadas por contagem (dados discretos) e analisadas com a distribuição de Poisson e a função de ligação Log.

Em caso de diferenças significativas, foi realizado o teste SNK (Student Newman-Keuls) a posteriori. Usamos como parâmetro os valores definidos em Zuur et al. (2013), para casos de superdispersão de dados. Foi adotado um nível de significância de 95% em nossas análises.

## **Resultados**

### **I. Caracterização das poças de maré**

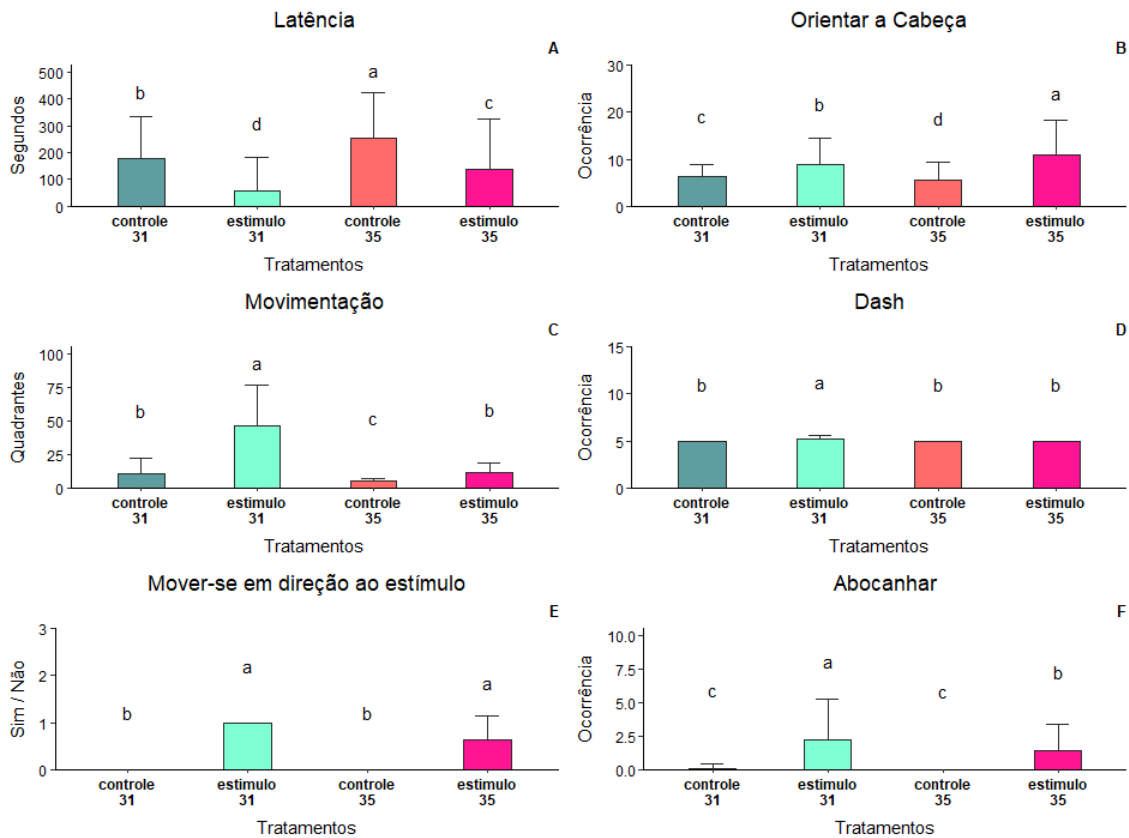
Durante os períodos de maré baixa diurna da estação verão, o pH médio das poças de maré foi de  $8.53 \pm 0.44$ ; a salinidade média registrada foi de  $33 \pm 4$ , e a temperatura apresentou o valor médio de  $34.8^\circ\text{C} \pm 3.2$  (Fig. 4-A, C e E). No decorrer dos períodos de maré alta diurna da estação verão, o pH médio registrado foi de  $8.28 \pm 0.39$ ; a salinidade apresentou o valor médio de  $34 \pm 8$ , e a temperatura média foi de  $31.2^\circ\text{C} \pm 3.5$  (Fig. 4-B, D e F).



**Figura 4.** Fatores abióticos pH (A-B), salinidade (C-D) e temperatura (E-F), durante os períodos de maré baixa e alta, amostrados nas poças de maré localizadas em costões rochosos da praia dos Milionários ( $23^\circ58'33.5''\text{S}$ - $46^\circ22'20.7''\text{W}$ ), no município de São Vicente/SP.

## II. Efeito das heatwaves na capacidade de predação de *Bathygobius soporator*

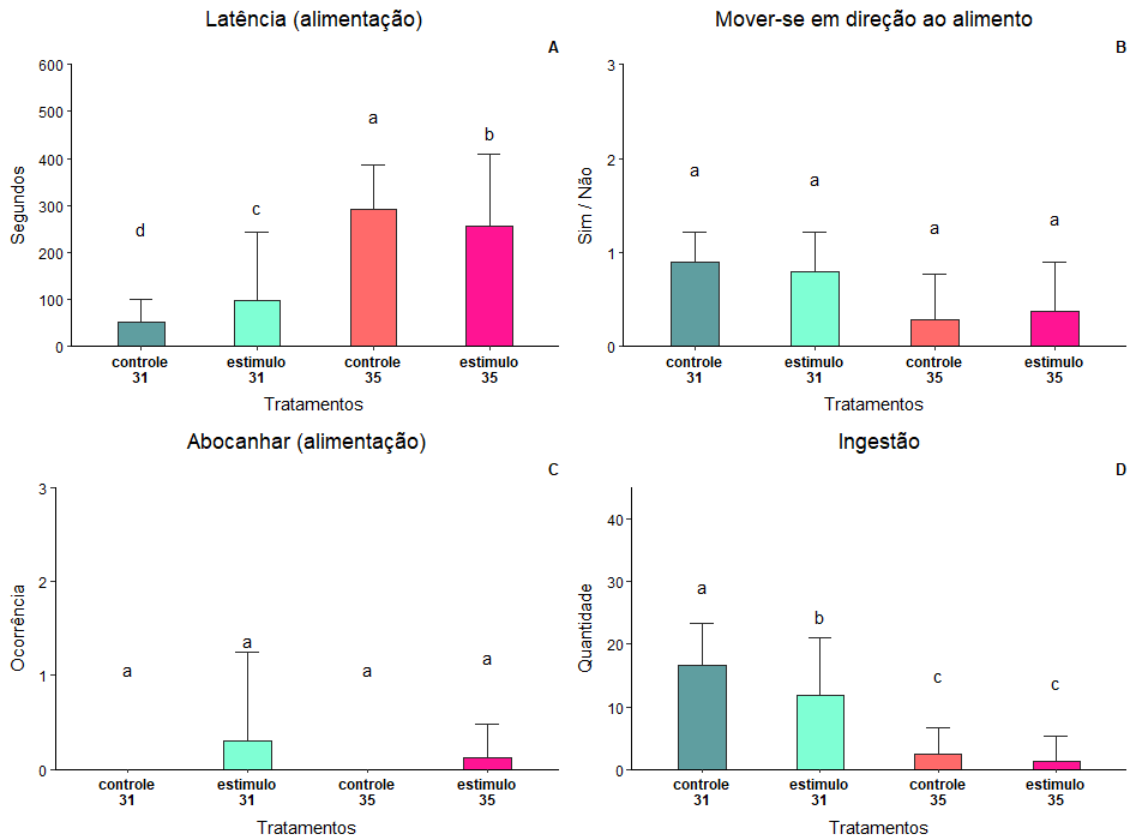
O comportamento de latência, que foi o tempo decorrido até que um dos comportamentos pré-definidos, fosse manifestado, foi maior nos tratamentos de heatwave (35°C), em comparação aos tratamentos na temperatura controle (31°C) (Fig. 5-A). Para o comportamento “orientar a cabeça” houve diferença significativa entre todos os tratamentos, mas este comportamento teve maior ocorrência ( $P < 0.05$ ) no tratamento de heatwave (35°C) e com estímulo químico da presa (Fig. 5-B). Os comportamentos “Movimentação” e “Dash”, os quais foram avaliados como deslocamento por quadrante e ocorrência, respectivamente, apresentaram deslocamento e ocorrência significativamente maiores nos tratamentos com estímulo e temperatura controle (31°C) (Fig. 5-C e D). Os comportamentos “Mover-se em direção ao estímulo” e “Abocanhar”, os quais foram avaliados como presença/ausência e ocorrência, respectivamente, apresentaram presença e ocorrência significativamente maiores no tratamento com estímulo químico da presa, independente da temperatura (Fig. 5-E e F) (GLM, Tabela 1; Teste SNK,  $P < 0,05$ ).



**Figura 5.** Média  $\pm$  desvio padrão dos comportamentos executados pelo peixe *Bathygobius soporator*, com ausência e presença de estímulo químico da presa *Pachygrapsus transversus*, ambos dentro das temperaturas de heatwave (35°C) e controle (31°C), para o tempo de latência (A), e os comportamentos de orientar a cabeça (B), movimentar-se dentro do aquário (C), dash (D), mover-se em direção ao estímulo (E) e abocanhar (F). Letras minúsculas diferentes acima da média indicam diferença entre os tratamentos (Teste SNK,  $P < 0,05$ ).

Na Etapa Alimentação, o estímulo alimentar inserido foi o mesmo em todos os tratamentos. A “Latência”, a qual foi avaliada como o tempo decorrido, até que um dos comportamentos pré-definidos fosse manifestado, apresentou tempo significativamente maior nos tratamentos da temperatura de heatwave (35°C) (Fig. 6-A). Os comportamentos “Mover-se em direção ao alimento” e “Abocanhar”, os quais foram avaliados como presença/ausência e ocorrência, respectivamente, não apresentaram diferença significativa (Fig. 6-B e C), indicando que o formato, e a palatabilidade dos pellets oferecidos, não foram um fator interferente. O comportamento “Ingestão”, o qual foi avaliado como

ocorrência, apresentou ocorrência significativamente maior nos tratamentos inseridos na temperatura controle (31°C) (Fig. 6-D) (GLM, Tabela 1; Teste SNK,  $P < 0,05$ ).



**Figura 6.** Média  $\pm$  desvio padrão dos comportamentos executados pelo peixe *Bathygobius soporator*, com ausência e presença de estímulo químico da presa *Pachygrapsus transversus*, ambos dentro das temperaturas de heatwave (35°C) e controle (31°C), para o tempo de latência (A) e os comportamentos de mover-se em direção ao estímulo alimentar (B), abocanhar o alimento (C) e ingestão (D). Letras minúsculas diferentes acima da média indicam diferença entre os tratamentos (Teste SNK,  $P < 0,05$ ).

**Tabela 1:** Análises GLM para as variáveis comportamentais “Latência”, “Orientar a cabeça”, “Movimentação”, “Dash”, “Mover-se em direção ao estímulo”, “Abocanhar”, “Latência (alimentação)”, “Mover-se em direção ao alimento”, “Abocanhar (alimentação)” e “Ingestão”, executadas pelo peixe *Bathygobius soporator*, em cenário de heatwave. Valores com asterisco indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

df	Deviance	Residual df	Residual deviance	F	Pr(> F or Chi)
----	----------	-------------	-------------------	---	----------------

<i>Latência</i>						
NULL	-	-	34	48.263	-	-
temperatura	1	1.565	33	46.698	-	0.21094
tratamento	2	5.267	31	41.431	-	0.07183
temperatura:tratamento	0	0.000	31	41.431	-	-
<i>Orientar a cabeça</i>						
NULL	-	-	34	44.841	-	-
temperatura	1	0.2096	33	44.632	-	0.64706
tratamento	2	7.6849	31	36.947	-	0.02144 *
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	36.947	-	-
<i>Movimentação</i>						
NULL	-	-	34	87.741	-	-
temperatura	1	25.304	33	62.437	-	4.898e-07 ***
tratamento	2	27.875	31	34.562	-	8.851e-07 ***
temperatura:tratamento	0	0.000	31	34.562	-	-
<i>Dash</i>						
NULL	-	-	34	0.35295	-	-
temperatura	1	0.016965	33	0.33598	0.0170	0.8964
tratamento	2	0.039218	31	0.29676	0.0196	0.9806
temperatura:tratamento	0	0.000000	31	0.29676	-	-
<i>Mover-se em direção ao estímulo</i>						
NULL	-	-	34	47.804	-	-
temperatura	1	0.982	33	46.821	-	0.3216
tratamento	2	36.236	31	10.585	-	1.353e-08 ***
temperatura:tratamento	0	0.000	31	10.585	-	-
<i>Abocanhar</i>						
NULL	-	-	34	35.518	-	-
temperatura	1	0.4713	33	35.047	-	0.4923714
tratamento	2	14.9952	31	20.051	-	0.0005544 ***
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	20.051	-	-
<i>Latência (alimentação)</i>						
NULL	-	-	34	57.190	-	-
temperatura	1	15.3931	33	41.797	-	8.73e-05 ***
tratamento	2	2.1166	31	39.681	-	0.347
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	39.681	-	-
<i>Mover-se em direção ao alimento</i>						
NULL	-	-	34	46.180	-	-
temperatura	1	10.1760	33	36.004	-	0.001423 **
tratamento	2	0.5333	31	35.470	-	0.765943
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	35.470	-	-
<i>Abocanhar (alimentação)</i>						
NULL	-	-	34	23.944	-	-
temperatura	1	0.5536	33	23.390	0.5536	0.45685
tratamento	2	5.4161	31	17.974	2.7081	0.06667
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	17.974	-	-

<i>Ingestão</i>						
NULL	-	-	34	50.010	-	-
temperatura	1	12.1754	33	37.835	-	0.0004842 ***
tratamento	2	0.7207	31	37.114	-	0.6974270
temperatura:tratamento	0	0.0000	31	37.114	-	-

## Discussão

Nossos resultados indicam que *Bathygobius soporator* também utiliza a via sensorial química para identificar sua presa. Durante um evento extremo de heatwave, o predador demorou mais para responder à presença do estímulo químico da presa. Portanto, a percepção química de *B. soporator* será afetada negativamente em cenários heatwave. Grande parte dos integrantes da família Gobiidae são predadores furtivos que utilizam sua capacidade de camuflagem, por meio de coloração críptica, para obter alimento (Nomura et al. 2004) e proteção contra predadores (Smithers et al. 2018). Um comportamento predatório comum, é o de se manter à espreita, enquanto a distância entre presa e predador diminui (Broom et al. 2005). No tratamento com estímulo químico da presa, durante uma heatwave (35°C), a maior quantidade de movimentos da cabeça, juntamente com o maior tempo de latência até a identificação da presença de uma presa potencial, indica atraso em expressar esse comportamento, uma consequência negativa do evento extremo, uma vez que não obter sucesso na predação, implica diretamente na sobrevivência da espécie.

Em *B. soporator*, a percepção visual também influencia na decisão de captura, de acordo com a saciedade estomacal (Tomida et al. 2012). Indivíduos com estômago vazio, atacam *Pachygrapsus transversus* de maiores tamanhos, ao contrário de indivíduos parcialmente saciados, que neste caso, escolheram presas próximas ao tamanho ideal (Tomida et al. 2012). Machos de *B. soporator* emitem ondas sonoras para cortejar e atrair fêmeas (Tavolga 1958; Standler 2002), característica comum entre integrantes da família Gobiidae (Amorim et al. 2013; Valenzi et al. 2016). Fêmeas de *B. soporator* por sua vez, utilizam um tipo de estímulo químico denominado fluido ovariano, para induzir o comportamento

de coorte em machos (Tavolga, 1956). A comunicação química dentro deste contexto é tão relevante, que machos isolados foram responsivos, ao ter contato apenas com este estímulo (Tavolga, 1956). Portanto, *B. soporator* é uma espécie que se beneficia de diferentes vias sensoriais para interpretar os estímulos ao seu redor. Durante nosso estudo, em todos os tratamentos com estímulo químico de *P. transversus*, independente da temperatura, os indivíduos foram responsivos à inserção do estímulo no aquário. Por esta razão, concluímos que *B. soporator* também identifica quimicamente este tipo de presa.

Para predadores generalistas, o forrageamento ideal requer a avaliação adequada dos custos envolvidos na escolha do recurso (Prokopenko et al. 2023). Em um sistema com múltiplas escolhas, o predador decide entre diferentes ganhos e custos à obtenção de alimento (Prokopenko et al. 2023). Na natureza, estar dentro de um abrigo muitas vezes representa um comportamento antipredador para *B. soporator* (Barreto et al. 2014), e quando fora, a natação é associada ao forrageamento ou defesa de território (Fanta, 1997). Em nosso estudo, o comportamento de forrageamento no tratamento exposto ao estímulo químico da presa (*P. transversus*) e temperatura controle (31°C), os predadores executaram 20 vezes mais movimentos, em comparação aos outros tratamentos. Este resultado demonstra que *B. soporator* utiliza sinais químicos para identificar a presa *P. transversus*, e que sua capacidade de predação será afetada negativamente, por episódios de eventos extremos, como as heatwaves.

*Bathygobius soporator* possui alta plasticidade trófica, com estratégia alimentar onívoro-oportunista (Soares et al. 2016; Barrilli et al. 2021). Como reflexo das condições locais, *B. soporator* pode apresentar predominância de algas (Barrilli et al. 2021) ou crustáceos em sua dieta (Soares et al. 2016). Durante a etapa extra do experimento (alimentação), esperávamos que apenas os tratamentos com presença de estímulo químico aumentassem a ingestão de pellets. Porém a diferença entre a quantidade de pellets ingerida, foi maior nos tratamentos dentro da temperatura controle (31°C), em comparação aos tratamentos inseridos na temperatura de heatwave (35°C). Com base em nossos resultados, concluímos que *Bathygobius soporator* responderá negativamente em cenários de heatwave. Rações comerciais possuem aditivos estimulantes em sua composição, para aumentar a palatabilidade (Hancz, 2020). A presença

desses compostos é passível de influenciar respostas em peixes, porém no contexto deste estudo, não foi um fator interferente, pois as respostas comportamentais do peixe, não dependiam exclusivamente deste estímulo.

Muitas espécies da família Gobiidae possuem resistência ao estresse térmico (Paul et al. 2021). Altos níveis de amortecimento fenotípico do metabolismo, tolerância térmica e termorregulação comportamental, são características centrais que aumentam o sucesso de Gobídeos, sob eventos extremos contínuos (Christensen et al. 2021). Em cenários de heatwave, *Gobius paganellus* aumentou a demanda energética para manter a homeostase, portanto, a alocação de energia para outros processos fisiológicos, foi prejudicada (Paul et al. 2021). O comportamento reprodutivo de Gobídeos é fortemente influenciado pela temperatura (Albouy et al. 2023) e machos da espécie *Neogobius melanostomus* são mais sensíveis ao aumento agudo de temperatura, característico de heatwave, em comparação às fêmeas da mesma espécie (Błońska et al. 2021). Eventos extremos consecutivos, como ciclones e heatwaves, tiveram efeitos deletérios sobre as populações de peixes *Gobiodon*, spp. simbióticos de corais (Froehlich et al. 2021). Portanto, em cenários de eventos extremos, *Bathygobius soporator* estará exposto às consequências negativas, para resistir ao estresse térmico proveniente de uma heatwave.

Este estudo fornece evidências de que as heatwaves afetarão negativamente a percepção química, o tempo e a forma de resposta do peixe predador *Bathygobius soporator*, aos estímulos químicos de sua presa, o caranguejo *Pachygrapsus transversus*. Os impactos negativos das heatwaves irão atingir uma grande quantidade de ecossistemas marinhos (Hobday et al. 2016), e as projeções climáticas futuras para a área deste estudo mostram um aumento de até 36% na frequência de heatwaves até 2100 (Marochi et al. 2022). *Bathygobius soporator* é capaz de interpretar informações químicas em diferentes situações, e, no contexto deste trabalho, nossos resultados mostraram que na interação presa-predador, *B. soporator* também é responsivo ao estímulo químico de uma de suas presas. É fundamental entender como e de que maneira, os sistemas sensoriais de peixes serão comprometidos pelos impactos humanos, principalmente espécies de importância ecológica e econômica (Zakon, 2015). Para estudos futuros com foco na relação presa-predador com

esta espécie, dentro do contexto das mudanças climáticas, é importante investigar a interação entre os distúrbios ambientais, bem como outros tipos de vias sensoriais serão influenciadas pelos estressores climáticos. Portanto, a maior ocorrência de heatwaves, será desfavorável para interação ecológica presa-predador, presente entre as espécies de peixe *B. soporator* e o caranguejo *P. transversus*.

### **Declaração de ética e Autorização ambiental**

Este estudo possui anuência do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) N° 79962-1, atividade cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SISGEN) N° A5D2292, e autorização do Comitê de Ética de Pesquisa Animal da Unesp, Campus do Litoral Paulista, Protocolo N° 04/2021- CEUA. Ao final dos experimentos todos os organismos utilizados foram devolvidos ao seu habitat natural.

### **Referências Bibliográficas**

- Albouy, R., Faria, A.M., Fonseca, P.J. and Amorim, M.C.P., 2023. Effects of temperature on acoustic and visual courtship and reproductive success in the two-spotted goby *Pomatoschistus flavescens*. *Marine Environmental Research*, 192, pp.106197.
- Amorim, M.C.P., Pedroso, S.S., Bolgan, M., Jordão, J.M., Caiano, M. and Fonseca, P.J., 2013. Painted gobies sing their quality out loud: acoustic rather than visual signals advertise male quality and contribute to mating success. *Functional Ecology*, 27(2), pp.289-298.
- Aronson, L.R., 1951. Orientation and jumping behavior in the gobiid fish *Bathygobius soporator*. *American Museum novitates*; no. 1486.
- Arvigo, A.L., Miyai, C.A., Sanches, F.H., Barreto, R.E. and Costa, T.M., 2019. Combined effects of predator odor and alarm substance on behavioral and physiological responses of the pearl cichlid. *Physiology & behavior*, 206, pp.259-263.
- Barlow, G.W., 1958. Daily movements of desert pupfish, *Cyprinodon macularius*, in shore pools of the Salton Sea, California. *Ecology*, 39(4), pp.580-587.
- Barreto, R.E., Barbosa-Júnior, A., Urbinati, E.C. and Hoffmann, A., 2014. Cortisol influences the antipredator behavior induced by chemical alarm cues in the Frillfin goby. *Hormones and behavior*, 65(4), pp.394-400.

Barrilli, G.H.C., Vale, J.G.D., Stahelin, G. and Branco, J.O., 2021. Biological and ecological aspects of *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Perciformes, Gobiidae) from Santa Catarina, Southern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, pp.61.

Barros, P.A.A., 2011. Análise do efeito da acidificação dos Oceanos no desenvolvimento larvar de *Crassostrea gigas* (Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia).

Benthuyssen, J.A., Oliver, E.C., Chen, K. and Wernberg, T., 2020. Advances in understanding marine heatwaves and their impacts. *Frontiers in Marine Science*, 7, pp.147.

Biela, V.R., Arimitsu, M.L., Piatt, J.F., Heflin, B., Schoen, S.K., Trowbridge, J.L. and Clawson, C.M., 2019. Extreme reduction in nutritional value of a key forage fish during the Pacific marine heatwave of 2014-2016. *Marine Ecology Progress Series*, 613, pp.171-182.

Błońska, D., Janic, B., Tarkan, A.S. and Bukowska, B., 2021. Sex biased effect of acute heat shock on the antioxidant system of non-native round goby *Neogobius melanostomus*. *Plos one*, 16(12), p.e0260641.

Borges, J.S., De Grande, F.R. and Costa, T.M., 2019. Do lower air or water temperatures limit the southern distribution of the white mangrove *Laguncularia racemosa* in South America?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 230, p.106449.

Brierley, A.S. and Kingsford, M.J., 2009. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. *Current biology*, 19(14), pp. R602-R614.

Broom, M. and Ruxton, G.D., 2005. You can run—or you can hide: optimal strategies for cryptic prey against pursuit predators. *Behavioral Ecology*, 16(3), pp.534-540.

Byrne, M., Gonzalez-Bernat, M., Doo, S., Foo, S., Soars, N. and Lamare, M., 2013. Effects of ocean warming and acidification on embryos and non-calcifying larvae of the invasive sea star *Patiriella regularis*. *Marine Ecology Progress Series*, 473, pp.235-246.

Caldeira, K. and Wickett, M.E., 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), pp.365-365.

Calosi, P., Melatunan, S., Turner, L.M., Artioli, Y., Davidson, R.L., Byrne, J.J., Viant, M.R., Widdicombe, S. and Rundle, S.D., 2017. Regional adaptation defines sensitivity to future ocean acidification. *Nature Communications*, 8(1), p.13994.

Castro, B.B., Consciência, S. and Gonçalves, F., 2009. Comunicação química em sistemas predador-presa alterados: um contributo para a controvérsia. *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos*, 1(1), pp.54-66.

Christensen, E.A., Norin, T., Tabak, I., van Deurs, M. and Behrens, J.W., 2021. Effects of temperature on physiological performance and behavioral thermoregulation in an invasive fish, the round goby. *Journal of Experimental Biology*, 224(1), p.jeb237669.

Christofolletti, R.A., Murakami, V.A., Oliveira, D.N., Barreto, R.E. and Flores, A.A., 2010. Foraging by the omnivorous crab *Pachygrapsus transversus* affects the structure of assemblages on subtropical rocky shores. *Marine Ecology Progress Series*, 420, pp.125-134.

Climatologia - São Vicente/SP. Climatedo, disponível em <<https://www.climatedo.com.br/climatologia/561/saovicente-sp>> Acesso em 23 de junho de 2024.

Coutinho, R., Yaginuma, L.E., Siviero, F., dos Santos, J.C.Q., López, M.S., Christofolletti, R.A., Berchez, F., Ghilardi-Lopes, N.P., Ferreira, C.E.L., Gonçalves, J.E.A. and Masi, B.P., 2016.

Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64, pp.27-36.

De Grande, F.R., Granado, P. and Costa, T.M., 2021. Size-at-age or structure shift: Which hypothesis explains smaller body size of the fiddler crab *Leptuca uruguayensis* in northern populations?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 254, p.107358.

Dixon, D.L., Jennings, A.R., Atema, J. and Munday, P.L., 2015. Odor tracking in sharks is reduced under future ocean acidification conditions. *Global Change Biology*, 21(4), pp.1454-1462.

Emmanuel, O.L. and Ajibola, E.T., 2010. Food and feeding habits and reproduction in frillfin goby, *Bathygobius soporator* (Cuvier and Valenciennes, 1837) in the Badagry Creek, Lagos, Nigeria. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 2(12), pp.414-421.

Fangue, N.A., Flaherty, K.E., Rummer, J.L., Cole, G., Hansen, K.S., Hinote, R., Noel, B.L., Wallman, H. and Bennett, W.A., 2001. Temperature and hypoxia tolerance of selected fishes from a hyperthermal rockpool in the Dry Tortugas, with notes on diversity and behavior. *Caribbean Journal of Science*, 37(1/2), pp.81-87.

Fanta, E., 1997. Behaviour and orcadian rhythm of the fish *Bathygobius soporator* Valenciennes (Gobiidae) under the influence of environmental salinity and temperature. *Revista Brasileira de Zoologia*, 14, pp.221-244.

Farinnaccio, A., y Goya, S.C. and Tessler, M.G., 2009. Variações da linha de costa nas baías de Santos e São Vicente. *Quaternary and Environmental Geosciences*, pp.1(1).

Ferreira, J.G. and Acero, A., 1992. Los peces del género *Bathygobius* (perciformes: gobiidae) del Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, pp.21.

Froehlich, C.Y., Klanten, O.S., Hing, M.L., Downton, M. and Wong, M.Y., 2021. Uneven declines between corals and cryptobenthic fish symbionts from multiple disturbances. *Scientific Reports*, 11(1), p.16420.

Guarizo, M., Pardo, J.C., De Grande, F.R., Vinagre, C. and Costa, T.M., 2023. Impacts of ocean warming and acidification on predator-prey interactions in the intertidal zone: A research weaving approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 568, p.151946.

Grossman, G.D., 1982. Dynamics and organization of a rocky intertidal fish assemblage: the persistence and resilience of taxocene structure. *The American Naturalist*, 119(5), pp.611-637.

Hancz, C., 2020. Feed efficiency, nutrient sensing and feeding stimulation in aquaculture: a review. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 24(1), pp.35-54.

Hara, T.J., 1994. The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4, pp.1-35.

Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D.A., Straub, S.C., Oliver, E.C., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M. and Holbrook, N.J., 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in oceanography*, 141, pp.227-238.

Hunter, C.M., Caswell, H., Runge, M.C., Regehr, E.V., Amstrup, S.C. and Stirling, I., 2010. Climate change threatens polar bear populations: a stochastic demographic analysis. *Ecology*, 91(10), pp.2883-2897.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-

Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen N, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, and Zhou B (eds.]. Cambridge University.

Ishimatsu, A., Hayashi, M., Lee, K.S., Kikkawa, T. and Kita, J., 2005. Physiological effects on fishes in a high-CO<sub>2</sub> world. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9).

Köppen, W. and Geiger, R., 1928. *Climates of the earth*. Gotha: verlag justus perthes. Wall map 150cmx200cm, pp.91-102.

Little, C., Williams, G. A., Trowbridge, C. D. 2009. *The Biology of Rocky Shores*. Second ed. Oxford, United States of America: Oxford University Press. ISBN: 9780198564911

Lopes, P.R.D. and de Oliveira-Silva, J.T., 1998. Alimentação de *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Actinopterygii: Teleostei: Gobiidae) na localidade de Cacha-Pregos (Ilha de Itaparica), Bahia, Brasil. *Biotemas*, 11(1), pp.81-92.

Macieira, R.M., 2008. Estrutura de comunidade e distribuição espacial dos peixes das poças de maré em um recife do Atlântico sudoeste, Brasil. Unpublished M. Sc. Dissertation, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 67p.

Marengo, J.A., 2008. Water and climate change. *Estudos avançados*, 22, pp.83-96.

Mendes, L.D.F., 2006. História natural dos amborés e peixes-macaco (Actinopterygii, Blennioidei, Gobioidae) do Parque Nacional Marinho do Arquipélago de Fernando de Noronha, sob um enfoque comportamental. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23, pp.817-823.

Menezes, N.A., Buckup, P.A., de Figueiredo, J.L. and de Moura, R.L. eds., 2003. *Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil (Vol. 1)*. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo.

Miller, L.P., Matassa, C.M. and Trussell, G.C., 2014. Climate change enhances the negative effects of predation risk on an intermediate consumer. *Global Change Biology*, 20(12), pp.3834-3844.

Miller, P.J. and Smith, R.M., 1989. The West African species of *Bathygobius* (Teleostei: Gobiidae) and their affinities. *Journal of Zoology*, 218(2), pp.277-318.

Munday, P.L., Dixson, D.L., Donelson, J.M., Jones, G.P., Pratchett, M.S., Devitsina, G.V. and Døving, K.B., 2009. Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), pp.1848-1852.

Marochi, M.Z., De Grande, F.R., Pardo, J.C.F., Montenegro, Á. and Costa, T.M., 2022. Marine heatwave impacts on newly-hatched planktonic larvae of an estuarine crab. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 278, pp.108122.

Nomura, M.M., 2008. Efeitos dos ciclos de iluminação e de marés na ritmicidade da atividade locomotora de *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei: Perciformes: Gobiidae) (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Nomura, M.M. and Trajano, E., 2004. Aspectos comportamentais de *Bathygobius soporator* na área costeira de São Sebastião (SP) com ênfase na alimentação (Perciformes: Gobiidae) (M.Sc. Dissertation, Universidade de São Paulo).

Olsen, A.Y., Larson, S., Padilla-Gamiño, J.L. and Klinger, T., 2022. Changes in fish assemblages after marine heatwave events in West Hawai'i Island. *Marine Ecology Progress Series*, 698, pp.95-109.

- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, pp.637-669.
- Paul, N., Novais, S.C., Silva, C.S., Mendes, S., Kunzmann, A. and Lemos, M.F., 2021. Global warming overrides physiological anti-predatory mechanisms in intertidal rock pool fish *Gobius paganellus*. *Science of the Total Environment*, 776, p.145736.
- PBMC (2014). Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. Coppe. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp. ISBN: 978-85-285-0207-7
- Pereira, R.T., Leutz, J.D.A.C.M., Valença-Silva, G., Barcellos, L.J.G. and Barreto, R.E., 2017. Ventilation responses to predator odors and conspecific chemical alarm cues in the frillfin goby. *Physiology & behavior*, 179, pp.319-323.
- Prokopenko, C.M., Avgar, T., Ford, A. and Vander Wal, E., 2023. Optimal prey switching: Predator foraging costs provide a mechanism for functional responses in multi-prey systems. *Ecology*, 104(4), pp.3928.
- Rantin, F.T., Gesser, H., Kalinin, A.L., Guerra, C.D.R., De Freitas, J.C. and Driedzic, W.R., 1998. Heart performance, Ca<sup>2+</sup> regulation and energy metabolism at high temperatures in *Bathygobius soporator*, a tropical marine teleost. *Journal of Thermal Biology*, 23(1), pp.31-39.
- Rolim, G.D.S., Camargo, M.B.P.D., Lania, D.G. and Moraes, J.F.L.D., 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66, pp.711-720.
- Rosa, R.S., Rosa, I.L. and Rocha, L.A., 1997. Diversity of the tidal pool ichthyofauna of Cabo Branco beach, João Pessoa, Paraíba, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 14, pp.201-212.
- São Paulo. Parque Estadual Xixová Japuí. Governo do estado de São Paulo. Disponível em <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/conhecasp/parques-e-reservas-naturais/parque-estadual-xixova-japui/>> Acesso em 29 de agosto de 2023.
- Silva, M.S., Lúcio, V.H.G. and dos Santos, A.F., 2010. A importância da comunicação química para os insetos. *Revista Ambientale*, 2(2), pp.124-136.
- Smithers, S.P., Rooney, R., Wilson, A. and Stevens, M., 2018. Rock pool fish use a combination of colour change and substrate choice to improve camouflage. *Animal Behaviour*, 144, pp.53-65.
- Soares, B.E., Lobato, C., Freitas, D.T., Oliveira-Raiol, R.D. and Montag, L.F., 2016. Sex differences on the feeding of the gobiid fish *Bathygobius soporator* in tide pools of Maiandeuá Island, Pará, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, pp.106.
- Spinks, R.K., Munday, P.L. and Donelson, J.M., 2019. Developmental effects of heatwave conditions on the early life stages of a coral reef fish. *Journal of Experimental Biology*, 222(16), p.jeb202713.
- Stadler, J.H., 2002. Evidence for a hydrodynamic mechanism of sound production by courting males of the notchtongue goby, *Bathygobius curacao* (Metzelaar). *Bioacoustics*, 13(2), pp.145-152.
- Tavolga, W.N., 1958. The significance of underwater sounds produced by males of the gobiid fish, *Bathygobius soporator*. *Physiological Zoology*, 31(4), pp.259-271.
- Tavolga, W.N., 1955. Effects of gonadectomy and hypophysectomy on respawning behavior in males of the gobiid fish, *Bathygobius soporator*. *Physiological Zoology*, 28(3), pp.218-233.

- Tavolga, W.N., 1950. Pattern variability among populations of the gobiid fish *Bathygobius soporator*. *Copeia*, 1950(3), pp.182-194.
- Tomida, L., Lee, J.T. and Barreto, R.E., 2012. Stomach fullness modulates prey size choice in the frillfin goby, *Bathygobius soporator*. *Zoology*, 115(5), pp.283-288.
- Valenzi, L.I. and Higgs, D.M., 2016. Development of an acoustic trap for potential round goby (*Neogobius melanostomus*) management. *Journal of Great Lakes Research*, 42(4), pp.904-909.
- Vinagre, C., Mendonca, V., Cereja, R., Abreu-Afonso, F., Dias, M., Mizrahi, D. and Flores, A.A., 2018. Ecological traps in shallow coastal waters—Potential effect of heat-waves in tropical and temperate organisms. *PLoS One*, 13(2), p.e0192700.
- Vinagre, C., Madeira, D., Mendonça, V., Madeira, C. and Diniz, M.S., 2021. Warming in shallow waters: Seasonal response of stress biomarkers in a tide pool fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 251, pp.107187.
- Wisenden, B. D., Rugg, M. L., Korpi, N. L., & Fuselier, L. C., 2009. Lab and field estimates of active time of chemical alarm cues of a cyprinid fish and an amphipod crustacean. *Behaviour*, pp. 1423-1442.
- Zakon, H.H., 2015. Human impact on fish sensory systems in the long term: An evolutionary perspective. *Integrative zoology*, 10(1), pp.83-90.
- Zuur, A. F., Hilbe, J. M., & Ieno, E. N. (2013). A beginner's guide to GLM and GLMM with R. A frequentist and Bayesian.