



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA – PPGZOOOL



Efeito do enriquecimento ambiental no comportamento agressivo de
Apistogramma gibbiceps em diferentes condições climáticas

Jéssica Nery de Oliveira

Manaus, Amazonas

Março/2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA – PPGZOO



Efeito do enriquecimento ambiental no comportamento agressivo de
Apistogramma gibbiceps em diferentes condições climáticas

Discente: Jéssica Nery de Oliveira

Orientadora: Thaís Billalba Carvalho

Coorientador: Adalberto Luis Val

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

Manaus, Amazonas

Março/2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48e Oliveira, Jéssica Nery de
Efeito do enriquecimento ambiental no comportamento agressivo de *Apistogramma gibbiceps* em diferentes condições climáticas / Jéssica Nery de Oliveira . 2021
32 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Thaís Billalba Carvalho
Coorientador: Adalberto Luis Val
Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Fator Ambiental. 2. Agressividade . 3. Estratégia de vida. 4. Ciclídeo. I. Carvalho, Thaís Billalba. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Sinopse:

Neste trabalho foi avaliado o efeito do enriquecimento físico ambiental no comportamento agressivo de *Apistogramma gibbiceps* em diferentes condições climáticas. Para isso, testou-se o efeito da temperatura e do dióxido de carbono na frequência das interações agressivas de *A. gibbiceps* exibidas pelo grupo e para cada posição social. Além disso, avaliou-se se o enriquecimento do ambiente atua como um mitigador do efeito das mudanças climáticas sobre a agressividade dessa espécie de ciclídeo ornamental amazônico.

Palavras-chave: 1. fator ambiental, 2. agressividade, 3. estratégia de vida emergencial, 4. ciclídeo

AGRADECIMENTOS

Agradeço á minha família, Feliciano, Lila, Bruno e Juliane por sempre estar ao meu lado, me dando apoio, confiança, pela compreensão e pelo respeito com as minhas escolhas. Ao Tio Sérgio, por sempre estar disponível para me ajudar na ausência dos meus pais. Vocês me ensinam todos os dias a ser alguém melhor. Amo vocês.

Agradeço aos meus amigos, em especial Caroline, Gabriele, Guga, Jéssica, Luana, Lucas, Magda, Maria, Merkel, Pamela, Sara, Sheila e Tarcila. Obrigada por serem presentes em momentos muito importantes da minha caminhada. Eu com certeza sou uma pessoa melhor depois de ter vocês na minha vida.

À minha orientadora Dr^a. Thaís Billalba Carvalho, por todos os ensinamentos, pelo acolhimento, pela compreensão. Obrigada por ser uma inspiração pessoal e profissional, por sempre acreditar na minha capacidade e me ajudar a superar todas as dificuldades para que eu chegasse a esse momento.

Ao meu coorientador Dr. Adalberto Luís Val, por acreditar no projeto, por disponibilizar a estrutura do LEEM para execução do experimento e pela oportunidade de conhecer e trabalhar com pessoas incríveis.

Aos meus amigos do LEFCAQ, em especial Carol, Eike, Karine, Philip, Viviane, Ruben, Francisco, Amanda e Yugo. Obrigada por todos os conselhos, por todas as conversas, por toda ajuda, por sempre se mostrarem dispostos a me ajudar, por ouvir meus desabafos, vocês foram muito importantes para que eu conseguisse vencer essa etapa.

Aos colegas do LEEM, em especial Danilo (*in memorian*), Rogério e Jefferson, obrigada pelo acolhimento, pela paciência, pelas conversas e por toda ajuda, vocês foram importantes para que o projeto fosse executado.

A turma de Pós-Graduação em Zoologia, em especial a Maria, Xará (Jéssica Tavares), Gabriel (obrigada por todos os bolos de rolo), Natasha e Karine. Obrigada por todas as conversas, risadas e por compartilharem um momento importante de nossas vidas.

A todas as pessoas que compõem o PPG em Zoologia, em especial aos professores Dr. Fabrício Baccaro e Dr. Marcelo Menin (*in memorian*), pela disposição em me ajudar e pela forma como coordenam o programa, me fez sentir muito orgulho de ter completado essa etapa da minha vida acadêmica na UFAM. Ao professor Jaydione por sempre me incentivar no mestrado. Ao Gildázio, o Gil, por toda ajuda sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa a mim concedida, e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo apoio financeiro para o projeto.

E aqui está você, vivendo apesar de tudo

Rupi Kaur

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
Obtenção e aclimação dos animais	11
Delineamento experimental	12
Análise comportamental	14
Análise dos dados	15
Licença e nota ética.....	15
RESULTADOS	16
DISCUSSÃO.....	22
REFERÊNCIAS	26

Efeito do enriquecimento ambiental no comportamento agressivo de *Apistogramma gibbiceps* em diferentes condições climáticas

Oliveira, J. N.; Val, A. L.; Carvalho, T. B.

Manuscrito formatado conforme as normas do periódico Environmental Biology of Fishes

RESUMO

Os impactos causados pelo aquecimento do clima global nos ambientes amazônicos são preocupantes, pois podem afetar diretamente a biodiversidade e os ecossistemas aquáticos. Dentro deste contexto, o enriquecimento ambiental pode ser uma alternativa para mitigar os efeitos dessas mudanças climáticas sobre o comportamento de peixes. Assim, espécimes de *Apistogramma gibbiceps* foram agrupados por seis horas em seis tratamentos experimentais (n=12), resultantes da combinação de três cenários climáticos (drástico, intermediário e controle) e dois ambientes (enriquecido e não enriquecido). Foi avaliada a latência para os confrontos e a frequência da interação agressiva exibida pelo grupo, dominante e submissos. O aumento da temperatura e de CO₂ no ambiente estimula a motivação e a interação agressiva em todas as posições sociais. Já o enriquecimento físico aumenta a latência para os confrontos independente da condição ambiental. Assim, o uso de estímulos e/ou recursos no ambiente pode ser sugerido para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e, conseqüentemente, contribuir para melhores condições de bem-estar para as espécies amazônicas.

Palavras-chave: fator ambiental, agressividade, estratégia de vida emergencial, ciclídeo

Financiamento: Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia/Adaptações da Biota Aquática da Amazônia (INCT/ADAPTA). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) foi responsável pela oferta da bolsa de mestrado.

ABSTRACT

The impacts caused by the global climate warming in Amazonian environments are worrying, as they can directly affect biodiversity and aquatic ecosystems. In this way, environmental enrichment can be an alternative to mitigate the effects of these climate changes on fish behavior. Thus, specimens of *Apistogramma gibbiceps* were grouped for six hours in six experimental treatments (n = 12), resulting from the combination of three climatic scenarios (drastic, intermediate and control) and two environments (enriched and not enriched). The latency to fighting and the frequency of the aggressive interaction exhibited by the group, dominant and subordinate were evaluated. The increase in temperature and CO₂ in the environment stimulates motivation and aggressive interaction in all social ranks. However, physical enrichment increases the latency to fighting regardless of the environmental condition. Thus, the use of stimuli and/or resources in the environment can be suggested to mitigate the effects of climate changes and, consequently, contribute for better conditions of welfare for Amazonian species.

Keyword: environmental factor, aggressiveness, emergency life history stage, cichlid

INTRODUÇÃO

Ações antrópicas como as queimadas, o desmatamento, a formação de ilhas de calor urbano, o uso não planejado da terra e o aumento de emissão de gases do efeito estufa causam impacto no equilíbrio do planeta, contribuindo para as mudanças no clima (Nobre et al., 2007; Lewis e Maslin, 2015). Essas atividades também contribuem para a perda de complexidade ambiental, afetando além do ambiente terrestre o ambiente aquático (Allan e Johnson, 1997; Allan, 2004; Castello e Macedo 2015; Souza et al., 2019), podendo acarretar na redução da abundância e da riqueza de espécies de peixes (Castello et al., 2013; Brejão et al., 2018). A Amazônia, por exemplo, possui um relevante papel no ciclo do carbono, sendo considerada uma das regiões mais vulneráveis, do ponto de vista das influências das mudanças climáticas em toda sua extensão geográfica (Nobre et al., 2007; Marengo, 2008; Piedade et al., 2014; Rocha, 2016; Esquivel-Muelbert et al., 2019).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em 1988 com o objetivo de estudar e divulgar as informações técnicas, socioeconômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade, visando criar mecanismos para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas na Terra (Avila, 2007). De acordo com o quinto relatório do IPCC-AR5 publicado em 2014, durante o período de 1901 a 2012, quase todo o globo experimentou o aquecimento da superfície (0,08 a 0,14°C), sendo também reportado que as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) aumentaram em 40% desde os tempos pré-industriais, principalmente a partir de emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2013).

O quinto relatório do IPCC também apresenta cenários com previsões de mudanças climáticas para o ano 2100, sendo eles: RCP 2.6 que pode apresentar um aumento de 0,3 a 1,7°C na temperatura da superfície da Terra, podendo atingir a concentração de 451 ppm de CO₂ atmosférico; RCP 4.5 que pode apresentar um aumento de 1,1 a 2,6°C na temperatura e com uma concentração de 538 ppm de CO₂; RCP 6.0 onde haverá um aumento de 1,4 a 3,1°C na temperatura e pode atingir uma concentração de 670 ppm de CO₂ e o RCP 8.5 onde a temperatura pode aumentar de 2,6 a 4,8°C e apresenta 936 ppm de CO₂ na superfície da Terra. Essas previsões climáticas, por sua vez, podem ameaçar a biodiversidade aquática (Nagelkerken et al., 2017) e os principais benefícios ecológicos e econômicos que esses ecossistemas fornecem para sociedade (Olusanya e van Zyll de Jong, 2018; Wabnitz et al., 2018; Woolway et al., 2021).

Considerando o contexto nacional, o primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014; atualizado em 2020)

relata que a temperatura na Amazônia deverá aumentar progressivamente de 1 a 1,5°C até 2040, com diminuição de 25 a 30% no volume de chuvas. Esse cenário torna-se mais drástico quando considerado o impacto entre 2071 a 2100, prevendo uma redução de 40 a 45% na ocorrência de chuvas em decorrência de um aumento de 5 a 6°C na temperatura atmosférica. Assim, os impactos causados pelo aquecimento do clima global nos ecossistemas terrestres e aquáticos amazônicos são preocupantes, podendo alterar a precipitação pluviométrica, os regimes hidrológicos da bacia e a cobertura da vegetação (Piedade et al., 2014; Rocha, 2016).

De acordo Woolway et al. (2021), ondas de calor podem alterar a composição das espécies aquáticas e, conseqüentemente, direcionar essas espécies e os ecossistemas até aos limites de sua resistência. De fato, a alteração ambiental é um dos fatores que leva um animal a tomar decisões durante a sua vida, onde ele precisa lidar com eventos súbitos ou responder a eventos mais lentos que desencadeiam as estratégias de vida emergenciais (*emergency life-history stage*) causadas por fatores modificadores (Wingfield, 2003) como, por exemplo, as mudanças climáticas (Milazzo et al., 2016; Nigelkerken et al., 2017).

As referidas estratégias são compostas por componentes principais que podem ser avaliados a partir da variação de níveis hormonais, respostas comportamentais, estado de saúde e comprometimento imune (Wingfield e Kitaysky, 2002; Landys et al., 2006) que, por sua vez, são considerados indicadores da condição de bem-estar dos animais (Huntingford et al., 2006). Estes componentes não são mutuamente excludentes e, durante as perturbações ambientais severas, podem ser expressos simultaneamente ou em várias combinações. Apesar de alguns estudos avaliarem essas estratégias em diferentes táxons animais (ex. Jacobs e Wingfield, 2000; Adamo e Parsons, 2006), esse tipo de abordagem precisa ser expandida para fornecer melhor conhecimento de como os animais respondem a alterações do ambiente e para auxiliar na conservação ambiental. Uma das estratégias de vida emergencial é o Enfretamento proativo/reactivo, onde o enfrentamento proativo é caracterizado pela agressividade diante de um desafio social, já o enfrentamento reativo é caracterizado pela imobilidade e baixa agressividade (Koolhas et al., 1999; Wingfield, 2003).

De modo geral, alterações no ambiente, como mudanças na temperatura e no nível de CO₂ na água, são fatores que modulam o comportamento agressivo de peixes (Jentoft et al., 2005; Kochhann et al., 2015; Kochhann e Val, 2017). A exibição das interações agressivas é importante para o estabelecimento da hierarquia de dominância desse grupo, pois animais dominantes mantêm o controle hierárquico e o acesso prioritário aos recursos limitados, tais como, território, alimento e parceiro sexual (Huntingford e Tuner, 1987; Becker et al., 1993).

Dessa forma, a defesa territorial e a interação agressiva possuem papel fundamental no contexto reprodutivo (Baerends e Baerends Van-Roon, 1981).

A temperatura ambiental, realmente, é uma condição essencial para a sobrevivência dos peixes, pois controla muitas atividades fisiológicas e padrões comportamentais (Bicego et al., 2007; Cho et al., 2015; Tillotson e Quinn, 2016). Por exemplo, o aumento da temperatura da água acelera o crescimento e reduz a agressividade em *Brycon amazonicus* (Barros et al., 2019; Ferreira et al., 2020) e, segundo Sun e Chen (2014), pode desencadear aumento da atividade metabólica em peixes tropicais. De acordo com Sakakura e Tsukamoto (1997) e Kochhann et al. (2015), peixes submetidos a temperaturas elevadas apresentaram maior frequência de ataques e mordidas e uma redução na estabilidade hierárquica nos grupos. De fato, altas temperaturas da água aumentam a exibição do comportamento agressivo e modulam o estabelecimento do território em *Cichlasoma nigrofasciatum* (Ratnasabapathi et al., 1992). Assim, pode-se afirmar que alterações em fatores físicos (ex. temperatura) podem influenciar na organização social e, por sua vez, afetar a disputa por recursos e a sobrevivência em peixes.

De acordo com Feely et al. (2004), o aquecimento global e o aumento do CO₂ atmosférico estão fazendo com que os ambientes aquáticos se tornassem mais quentes e ácidos, este último por meio da absorção de CO₂ que dissolvido na água forma o ácido carbônico, contribuindo para diminuição do pH e, assim, afetando os parâmetros fisiológicos e comportamentais dos peixes. De fato, o aumento do CO₂ na água ocasionou danos teciduais e diminuiu o crescimento larval em *Paralichthys dentatus* (Chambers et al., 2014), além de reduzir a desova em *Symphodus ocellatus* (Milazzo et al., 2016). Considerando o efeito associado do aumento da temperatura e da alta concentração de CO₂ na água, observou-se perda de equilíbrio postural (Cupp et al., 2017), baixa taxa de reprodução (Miller et al., 2015), aumento nas taxas metabólicas (Campos et al., 2019) e maior consumo de alimento para várias espécies de peixes (Oliveira e Val, 2016).

Diante do exposto, os estímulos físicos são cruciais na modulação do ciclo de vida e, dessa forma, as modificações inerentes ao ambiente podem afetar o comportamento agressivo de peixes. De modo efetivo, mudanças no comportamento dos peixes estão associadas a flutuações nas condições ambientais (da Silva-Pinto et al., 2020). Nesse contexto, é importante buscar meios de mitigar os impactos das mudanças climáticas que podem vir a atingir esses animais, sendo a utilização do enriquecimento ambiental uma possível alternativa.

O enriquecimento ambiental corresponde à adição de complexidade ao ambiente, oferecendo o estímulo físico, social, sensorial, químico e/ou alimentar (Newberry, 1995; Näslund e Johnsson, 2016). Por exemplo, o enriquecimento ambiental físico estimulou a cognição e aprendizagem em *Salmo salar* (Salvanes et al., 2013). Já para duplas de *Geophagus brasiliensis*, o ambiente enriquecido diminuiu a exibição do comportamento agressivo (Kadry e Barreto, 2010), resultado semelhante ao observado para *Tilapia rendalli* (Torrezani et al., 2013) e para *Archocentrus nigrofasciatus* (Barley e Coleman, 2010). O enriquecimento físico do ambiente aumentou o crescimento e também reduziu a agressividade em grupos de *Sparus aurata* (Batzina e Karakatsoulim, 2012). Dentro deste contexto, Gerber et al. (2015) relatam que o enriquecimento ambiental pode ter impacto positivo no bem-estar dos peixes.

Considerando que os fatores ambientais (temperatura e concentração de CO₂ na água) podem modular a agressividade e a estabilidade social em peixes, é esperado que a oferta de estímulos e/ou recursos (i.e., enriquecimento físico) reduza os impactos causados pelas mudanças climáticas. Este efeito é importante, pois as altas taxas de comportamento agressivo e defesa territorial podem causar injúrias e infecções e, conseqüentemente, a morte dos animais (Turnbull et al., 1998). Assim, espera-se também que o enriquecimento ambiental físico potencialize o bem-estar dos peixes, conforme relatado por Arechavala-Lopez et al. (2019) para juvenis de *Sparus aurata*.

Diante do exposto, este estudo avaliou o efeito do enriquecimento ambiental no comportamento agressivo e na estabilidade social de *Apistogramma gibbiceps* Meinken, 1969 submetidos a diferentes cenários climáticos, conforme previsto pelo IPCC. Uma espécie da família Cichlidae foi escolhida, pois apresenta organização social baseada hierarquia de dominância e defesa territorial (Baerends e Baerends Van-Roon, 1981), características ideais para testar o objetivo proposto. *Apistogramma gibbiceps* pode ser encontrada nas bacias do Rio Amazonas, Rio Branco e médio Rio Negro (Römer e Beisenherz, 1996; Kullander, 2003) e apresenta interesse para aquarofilia. Assim, conhecer o efeito das mudanças climáticas sobre o comportamento social de peixes e propor alternativas para a mitigação desses impactos é importante para fornecer subsídios relativos à conservação ambiental e uso de recursos biológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e aclimação dos animais

Os animais foram provenientes de corpos d'água próximos ao município de Barcelos-AM (0°58'S 62°55'W), sendo aclimatados no Laboratório Experimental de Fisiologia e Comportamento de Animais Aquáticos (Departamento de Ciências Fisiológicas/UFAM) em caixas de polietileno de 310L (1 animal/5L) por um período mínimo de 15 dias (Figura 1A). Durante esse período, a temperatura foi mantida em $27,65 \pm 0,71^{\circ}\text{C}$, a intensidade luminosa de $151 \pm 0,42$ lx e fotoperíodo de 12 horas de luz (07:00h às 19:00h). A qualidade da água foi mantida em condições adequadas por meio de uso de filtros biológicos internos, troca parcial de água (20%) a cada dois dias e monitoramento de pH ($6,69 \pm 0,34$) e amônia total (menor que 0,01 ppm). Os peixes foram alimentados com ração comercial (36% de proteína) oferecida duas vezes ao dia (início da manhã e final da tarde) até a saciação aparente. Antes do início do experimento, os animais foram submetidos a uma segunda aclimação em cada cenário climático (ver descrição abaixo) em aquários de 78,5 X 36,5 X 45 cm (80L de volume útil) durante 15 dias (Figura 1B).



Figura 1. Caixa d'água (310L) utilizada durante o período de aclimação no laboratório (A) e aquário (100L) utilizado para a aclimação nos cenários climáticos (B).

Delineamento experimental

Três peixes foram agrupados por seis horas em seis tratamentos experimentais: drástico enriquecido (DE), drástico não enriquecido (DNE), intermediário enriquecido (IE), intermediário não enriquecido (INE), controle enriquecido (CE) e controle não enriquecido (CNE), resultantes da combinação de três cenários climáticos (drástico, intermediário e controle) e dois ambientes (enriquecido e não enriquecido), totalizando 12 réplicas para cada tratamento.

Foram utilizadas três salas climáticas que reproduziram os seguintes cenários: 1. Drástico (D): corresponde ao cenário RCP 8.5, 2. Intermediário (I): corresponde ao cenário RCP 6.0, previstos pelo IPCC para o ano 2100 (IPCC, 2013) e 3. Controle (C) no qual foram

mantidas as condições atuais (dados coletados a cada 2 minutos) de temperatura, CO₂ e umidade provenientes de um sensor Fieldlogger 512 k (Novus Produtos eletrônicos LTDA) localizado na floresta urbana do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e, assim, reproduzia o cenário natural atual. As condições experimentais foram mantidas em salas de 25m³ com controle automatizado dos referidos parâmetros ambientais, conforme descrito acima. As referidas salas estão localizadas no Laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular-LEEM/INPA e representam os cenários climáticos, com as respectivas condições ambientais, onde, a temperatura da água foi obtida por meio de um termômetro de mercúrio, os valores de pH da água foram obtidos POR MEIO de um phmetro portátil (AKSO, modelo AK90) e os valores de CO₂ dissolvido na água foram obtidos a partir do método descrito por Boyd e Tucker (1992), descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Média (\pm desvio padrão) dos parâmetros ambientais de cada cenário climático (drástico, intermediário e controle, n = 6).

	Temperatura do ar (°C)	CO ₂ no ar (ppm)	Temperatura da água (°C)	CO ₂ na água (ppm)	pH
Drástico	31,73 \pm 0,90	1312,66 \pm 56,59	28,80 \pm 0,69	29,0 \pm 5,48	6,15 \pm 0,42
Intermediário	29,26 \pm 1,17	865,24 \pm 55,41	26,54 \pm 0,97	15,0 \pm 8,16	6,15 \pm 0,45
Controle	27,45 \pm 0,94	472,42 \pm 55,70	25,90 \pm 0,71	12,5 \pm 5,0	6,12 \pm 0,42

O enriquecimento físico do ambiente foi feito com a utilização de dois canos de PVC de 10 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro no aquário experimental (Figura 2A), conforme realizado por Kochhann e Val (2017) para *Apistogramma agassizi*. Já para o ambiente não enriquecido, não foram inseridas estruturas físicas que pudessem ser utilizadas como refúgio ou abrigo para os peixes (Figura 2B).

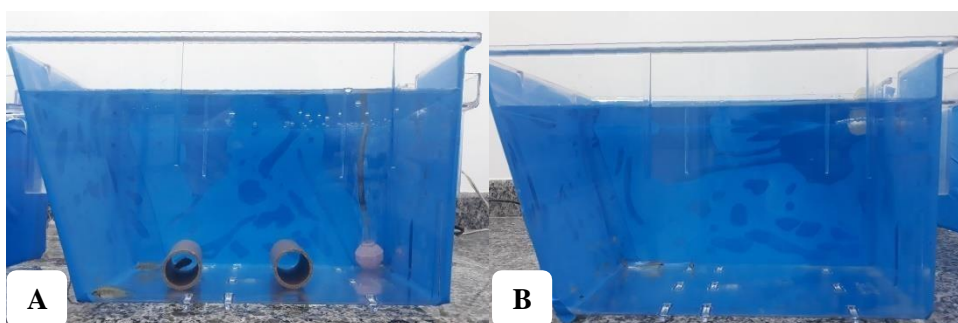


Figura 2. Aquários (12L) utilizados no experimento: (A) ambiente enriquecido e (B) ambiente não enriquecido.

Foram selecionados peixes juvenis de comprimento padrão e peso semelhantes (Tabela 2), a fim de evitar o efeito do gênero e do tamanho corporal na exibição do comportamento agressivo dos peixes (ex. Beeching, 1992; Carvalho e Gonçalves-de-Freitas, 2008). A biometria foi realizada antes do agrupamento, sendo os peixes anestesiados com eugenol (50µl/L), medidos com paquímetro de 15 cm e pesados em balança semi-analítica, após a biometria os animais foram marcados com um pequeno corte no final da nadadeira caudal, conforme realizado por Carvalho et al. (2008).

Tabela 2. Média (\pm desvio padrão) do comprimento padrão (cm) e do peso corporal (g) dos peixes utilizados em cada tratamento experimental (n = 12).

Tratamento	Comprimento padrão				Peso corporal			
	Peixe 1	Peixe 2	Peixe 3	p*	Peixe 1	Peixe 2	Peixe 3	p*
DE	2,6 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3	0,8	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,9
DNE	2,4 \pm 0,2	2,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	0,5	0,3 \pm 0,1	0,2 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,8
IE	2,6 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3	2,6 \pm 0,2	0,4	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,9
INE	2,5 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	0,8	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,9
CE	2,5 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	0,9	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1	0,9
CNE	2,4 \pm 0,2	2,4 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	0,8	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,0	0,9

*Análise de variância de uma via (ANOVA). DE: drástico enriquecido, DNE: drástico não enriquecido, IE: intermediário enriquecido, INE: intermediário não enriquecido, CE: controle enriquecido e CNE: controle não enriquecido.

Os animais foram agrupados por seis horas em aquários (15,5 x 19,3 x 34 cm) de 9,5 litros de volume útil (Figura 2). Para evitar o contato visual entre os animais de aquários vizinhos, cada aquário foi revestido por plástico azul em três laterais, pois esta cor reduz o estresse em outra espécie de ciclídeo (Volpato e Barreto, 2001).

Análise comportamental

Durante o período de agrupamento (seis horas) foram realizadas filmagens de 15 minutos imediatamente após o agrupamento e a cada 3 horas, totalizando 45 minutos de filmagens para cada réplica. Foi avaliada a latência para os confrontos, considerando o tempo necessário para a exibição da primeira unidade comportamental relacionada ao contexto agressivo. A frequência da interação agressiva foi quantificada a partir de unidades comportamentais baseadas em etogramas descritos para outras espécies de ciclídeos (Carvalho et al., 2012; Sarmiento et al., 2017; Tabela 3). Também foram consideradas a exibição total, que equivale à soma das exibições, e o total de interações que corresponde à soma de todas as unidades comportamentais com exceção da fuga. A dominância foi definida por meio do índice de dominância (DI= ataques realizados / ataques realizados + ataques

recebidos), conforme descrito por Oliveira e Almada (1996) para *Oreochromis mossambicus*. Dessa forma, as posições sociais de dominante, submisso 1 e submisso 2 foram classificadas, respectivamente, de acordo com a ordem decrescente dos valores do índice de dominância obtidos em cada grupo. As unidades comportamentais exibidas pelo grupo e por cada posição social foram comparadas entre os tratamentos experimentais.

Tabela 3. Etograma do comportamento agressivo para *Apistogramma gibbiceps*.

Unidade Comportamental	Descrição
Ataque	O peixe nada em direção ao oponente e com a boca toca rapidamente na região da cabeça, cauda ou lateral mediana do corpo.
Ameaça	O peixe se aproxima lateralmente de outro e abre a boca sem encostá-la no corpo do oponente.
Exibição	O peixe se posiciona próximo ao oponente com a nadadeira dorsal eriçada.
Exibição paralela	Dois peixes nadam e se posicionam lado a lado com as cabeças em sentidos opostos. Essa unidade comportamental pode ser seguida de ataque de um dos indivíduos.
Perseguição	O peixe nada rapidamente em direção ao oponente que foge.
Fuga	Caracteriza-se por natação rápida do animal perseguido ou atacado, distanciando-se do oponente.

Análises dos dados

Os dados foram analisados quanto à existência de valores discrepantes e testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade pelo teste de F max. A latência e a frequência da interação agressiva foram comparadas entre os tratamentos experimentais (cenários climáticos e enriquecimento ambiental) por Análise de Variância (ANOVA) de duas vias, seguida de Tukey HSD para comparações múltiplas. As correlações entre os fatores ambientais (temperatura ou concentração de CO₂ da água) e o total de interações agressivas foram avaliadas pelo teste de Spearman. Foi considerado $p < 0,05$ para significância estatística e todas as análises foram baseadas em Zar (1999).

Licença e nota ética

A captura dos animais em ambiente natural é regulamentada por meio da licença n^o 60643-3 obtida junto ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). Este estudo está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação animal

(CONCEA) e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFAM, Manaus, AM, certificado nº 010/2019.

RESULTADOS

Não houve interação entre os cenários climáticos e o enriquecimento ambiental quando considerada a latência para os confrontos ($F = 0,05$; $p = 0,94$). No entanto, a latência foi menor para os animais submetidos à condição drástica ($F = 3,66$; $p = 0,03$) e maior no ambiente enriquecido independente das condições climáticas que os animais foram expostos ($F = 19,21$; $p = 0,0001$; Figura 3).

As unidades comportamentais ameaça, ataque, fuga e total de interações exibidas pelo grupo apresentaram diferenças significativas entre os cenários climáticos e o enriquecimento ambiental ($F > 3,57$; $p < 0,03$; Figura 4). A frequência da ameaça foi maior para o IE em relação ao INE ($p = 0,01$) e ao CE ($p = 0,0004$). Já para o ataque, o tratamento DE apresentou a maior média da frequência de ataques em relação ao tratamento CE ($p = 0,0001$); o DNE teve a média da frequência de ataques maior que os tratamentos INE e CNE ($p = 0,01$) e, para a condição climática intermediária, os animais mantidos no ambiente enriquecido (IE) apresentaram maior frequência de ataques em relação ao ambiente não enriquecido (INE) ($p = 0,005$). A fuga foi maior no tratamento IE do que para o INE ($p = 0,001$) e o CE ($p = 0,0002$). Além disso, as condições de mudanças ambientais (drástico e intermediário) evidenciaram maior exibição de fuga ($p = 0,01$) e de total de interações agressivas ($p = 0,01$) em relação à condição controle independente do enriquecimento físico. O total das interações agressivas teve a maior média da frequência no tratamento DNE do que no CNE, e o tratamento IE foi maior do que INE e CE ($p = 0,01$). Considerando a perseguição, foi observado efeito somente das condições climáticas ($F = 3,49$; $p = 0,03$), sendo que o DNE apresentou a maior média da frequência dessa unidade comportamental em relação ao INE e CNE ($p = 0,04$; Figura 4). Já para a exibição total, foram observadas diferenças significativas apenas entre as salas climáticas ($F = 5,00$; $p = 0,009$; Figura 4).

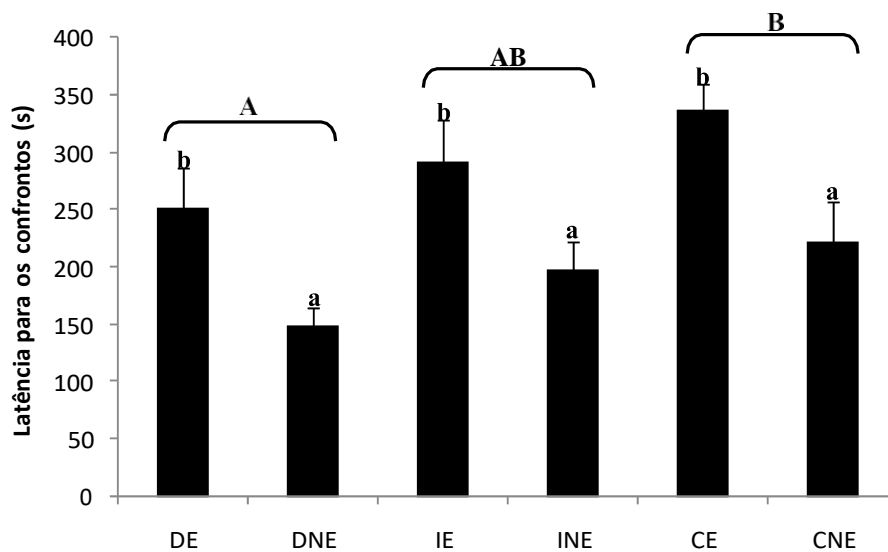


Figura 3. Média (\pm erro padrão) da latência para os confrontos em cada tratamento experimental (DE: drástico enriquecido, DNE: drástico não enriquecido, IE: intermediário enriquecido, INE: intermediário não enriquecido, CE: controle enriquecido e CNE: controle não enriquecido). As letras maiúsculas representam diferenças entres os cenários climáticos (Tukey HSD, $p = 0,02$) e as letras minúsculas indicam diferença entre o ambiente enriquecido e não enriquecido independente da as condição climática (ANOVA, $p = 0,0001$).

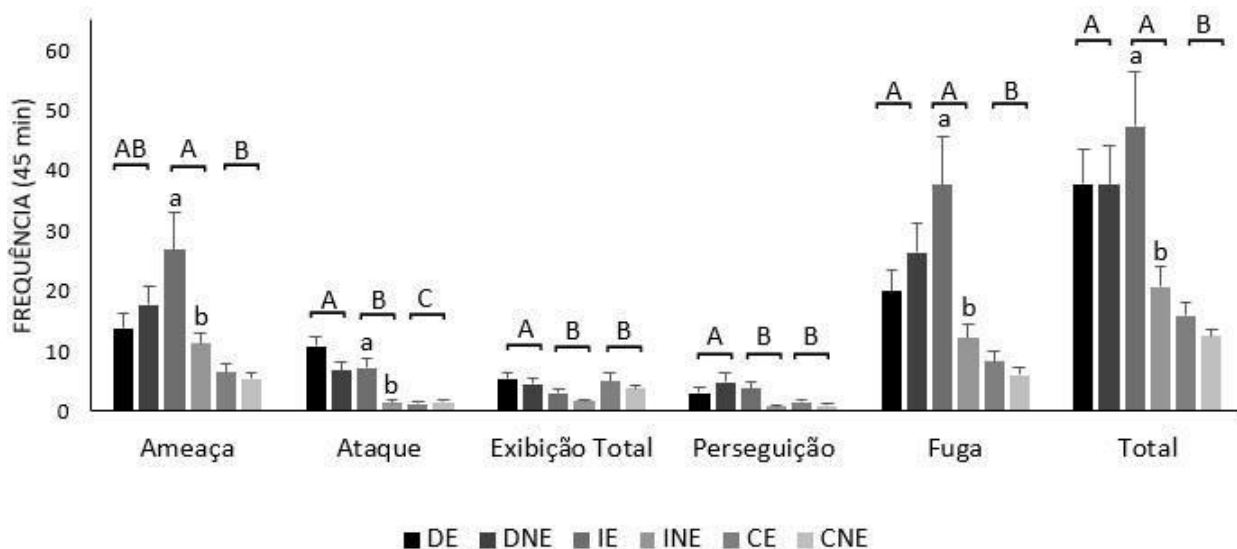


Figura 4. Média (\pm erro padrão) da frequência do comportamento agressivo exibido pelo grupo em cada tratamento experimental (DE: drástico enriquecido, DNE: drástico não enriquecido, IE: intermediário enriquecido, INE: intermediário não enriquecido, CE: controle enriquecido e CNE: controle não enriquecido). As letras maiúsculas representam diferenças entres os cenários climáticos e as letras minúsculas representam diferença entre o enriquecimento ambiental (Tukey HSD, $p < 0,05$).

Para os dominantes, apenas o ataque apresentou interação significativa entre os cenários climáticos e o enriquecimento ambiental ($F = 3,49$; $p = 0,03$; Figura 5A). A frequência de ataque em DE foi maior que em CE ($p = 0,0001$), DNE apresentou maior média de ataque em relação ao INE ($p = 0,001$) e ao CNE ($p = 0,003$) e, para a condição intermediária, o enriquecimento físico estimulou a exibição desta unidade comportamental ($p = 0,006$). A ameaça ($F = 4,59$; $p = 0,01$), a exibição total ($F = 4,59$; $p = 0,01$) e o total de interações ($F = 4,59$; $p = 0,01$) apresentaram diferença significativa entre as condições climáticas (Figura 5A), onde a ameaça foi maior no cenário intermediário do que no controle ($p = 0,0006$). A exibição total foi maior no controle do que no intermediário ($p = 0,009$) e o total de interações foi maior nos tratamentos drástico e intermediário do que no controle ($p = 0,002$). A perseguição ($F = 4,61$; $p = 0,03$) apresentou diferença apenas para o enriquecimento ambiental, sendo a frequência desta unidade comportamental maior no tratamento enriquecido independente do cenário climático (Figura 5A). A fuga não apresentou diferença significativa para os dominantes ($F = 1,06$; $p = 0,35$; Figura 5A).

Para os submissos 1, a ameaça ($F = 4,69$; $p = 0,01$) e o total de interação ($F = 3,49$; $p = 0,03$) apresentaram diferenças entre os cenários climáticos e o enriquecimento ambiental (Figura 5B), onde a frequência da ameaça foi maior no DNE em comparação aos tratamentos DE, INE e CNE ($p < 0,01$); os peixes mantidos no tratamento IE exibiram maior ameaça em relação aos tratamentos DE, INE e CE ($p < 0,003$). O total de interação foi maior no tratamento DNE em relação ao tratamento CNE ($p = 0,01$). A frequência da fuga ($F = 10,78$; $p = 0,04$) na condição intermediária foi maior que para a drástica e a controle ($p < 0,03$; Figura 5B). A exibição total não apresentou diferença significativa entre as condições climáticas e o enriquecimento físico do ambiente ($F = 0,6$; $p = 0,55$; Figura 5B).

Para os animais considerados submissos 2, a fuga apresentou interação entre os cenários climáticos e o enriquecimento ambiental ($F = 12,00$; $p = 0,00002$; Figura 5C), sendo a frequência desta unidade maior no tratamento INE em relação aos DNE e CNE ($p < 0,008$); o tratamento IE também apresentou maior fuga do que o INE e o CE ($p < 0,008$). As unidades ameaça ($F = 6,49$; $p = 0,002$), ataque ($F = 6,49$; $p = 0,002$) e exibição total ($F = 6,49$; $p = 0,008$) apresentaram diferenças apenas entre os cenários climáticos (Figura 5C). As frequências de ameaça e ataque foram maiores no drástico ($p = 0,007$), pois os submissos 2 não exibiram este comportamento nas condições intermediária e controle. A exibição total foi mais frequente no tratamento drástico em comparação ao intermediário ($p = 0,02$). Considerando o total de interação, não foram observadas diferenças significativas entre os

tratamentos experimentais ($F = 2,12$; $p = 0,12$; Figura 5C). Já a perseguição não foi exibida pelos animais classificados na posição social de submisso 2.

Houve correlação positiva entre o total de interações agressivas e a concentração de CO_2 na água apresentaram correlação diretamente proporcional (Spearman, $R = 0,642$; $p = 0,02$; Figura 6A). O comportamento agressivo e a temperatura da água também apresentaram correlação diretamente proporcional (Spearman, $R = 0,813$; $p = 0,0001$; Figura 6B).

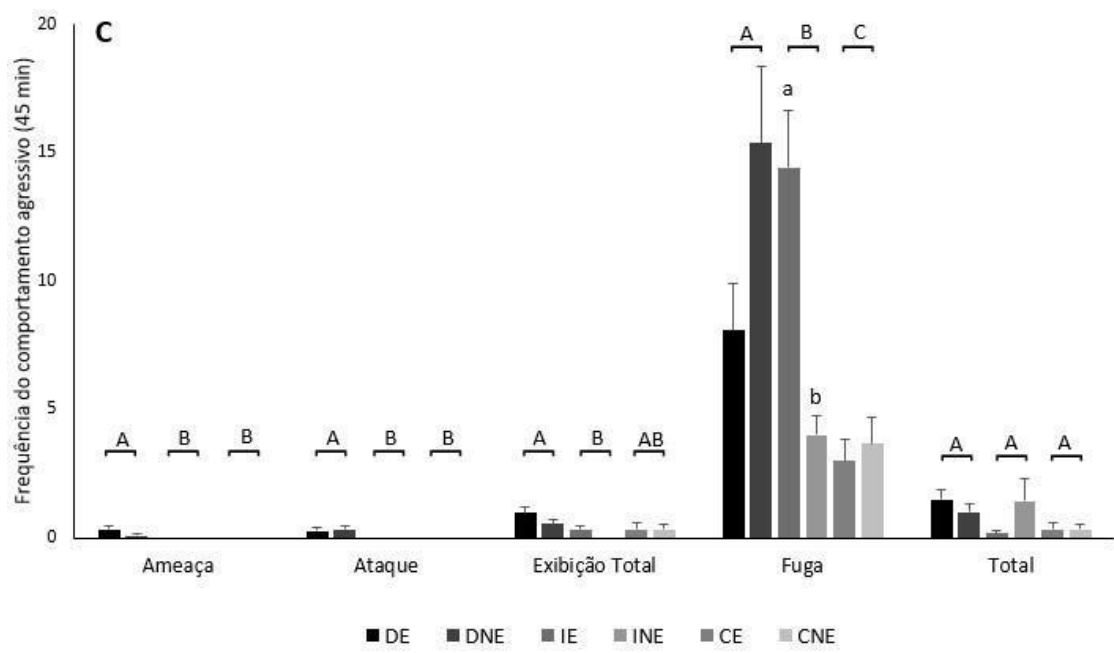
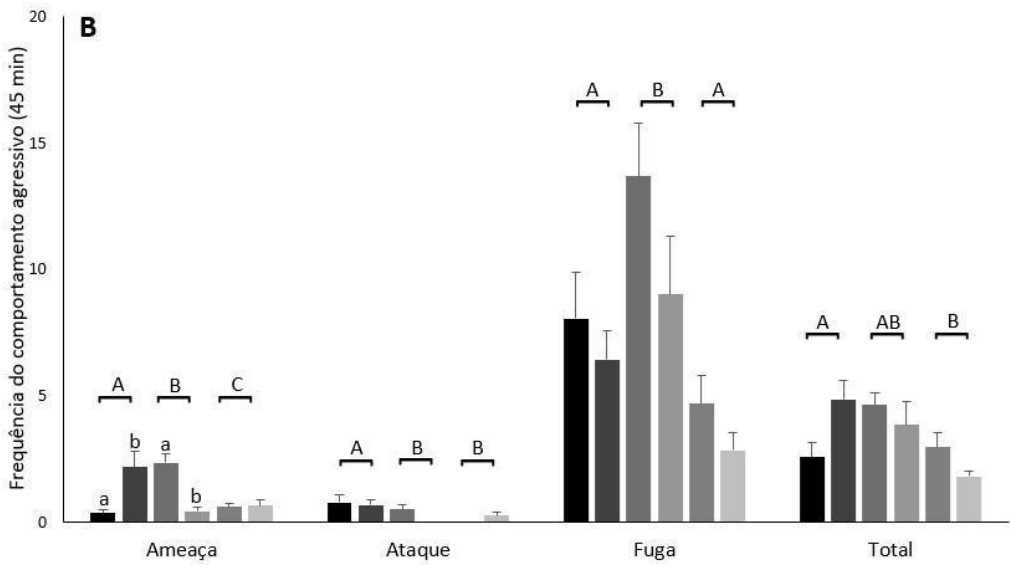
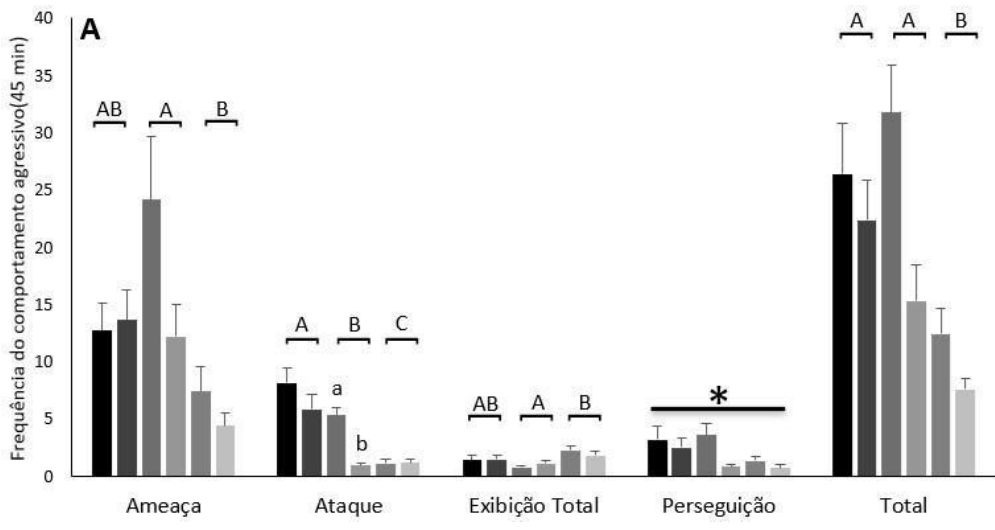
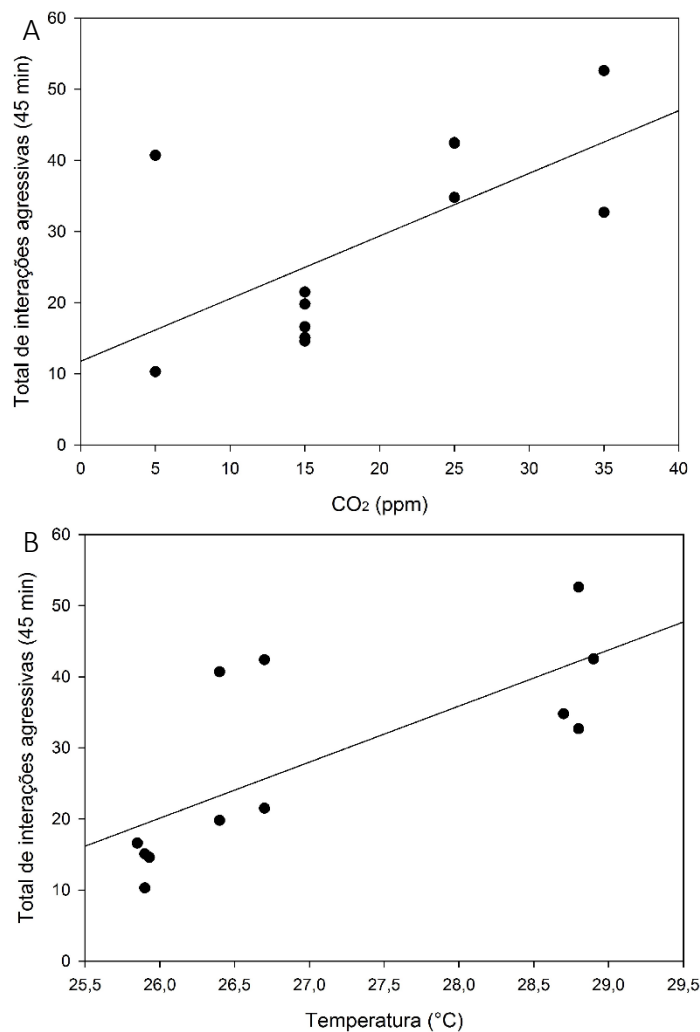


Figura 5. Média (\pm erro padrão) da frequência do comportamento agressivo exibidos por cada posição social (A- dominante, B- submisso 1 e C- submisso 2) em cada tratamento experimental (DE: drástico enriquecido, DNE: drástico não enriquecido, IE: intermediário enriquecido, INE: intermediário não enriquecido, CE: controle enriquecido e CNE: controle não enriquecido). As letras maiúsculas representam diferenças entre os cenários climáticos e as letras minúsculas representam diferença para o enriquecimento ambiental. O asterisco (*) representa diferença somente entre os tratamentos enriquecido (E) e não enriquecido (NE) (Tukey HSD, $p < 0,05$).



DISCUSSÃO

A avaliação dos impactos biológicos das mudanças climáticas tem se tornado um grande foco de pesquisas, pois apresenta uma importante aplicação na conservação de recursos ecológicos (McNutt, 2013). Dentro deste contexto, este estudo evidencia que o aumento da temperatura e da concentração de CO₂ no ambiente modula o comportamento agressivo em *Apistogramma gibbiceps*, o que pode afetar diretamente a organização social e o contexto reprodutivo dessa espécie de ciclídeo amazônico. Além disso, destaca-se que o uso do enriquecimento físico do ambiente contribui para mitigar o efeito dessas mudanças ambientais, especialmente em relação à modulação da motivação agressiva e em uma condição de alteração climática intermediária.

A menor latência para os confrontos e a maior frequência de interações agressivas observadas no cenário climático drástico indicam que os espécimes de *A. gibbiceps* apresentam uma motivação agressiva maior quando submetidos às condições de maior temperatura e CO₂ ambiental. De fato, Arnott & Elwood (2009) e Carvalho et al. (2012) sugerem que o tempo necessário para iniciar as interações é um indicador da motivação dos animais para a exibição dos conflitos agressivos, que pode ser explicado pela influência das condições ambientais no centro de controle da agressividade em peixes. Além disso, o aumento da agressividade no cenário mais extremo pode caracterizar a expressão de uma estratégia de vida emergencial associada ao estilo de enfrentamento proativo, caracterizado como uma resposta ativa ao desafio social (Wingfield, 2003).

A maior frequência do comportamento agressivo nos cenários climáticos intermediário (RCP 6.0) e drástico (RCP 8.5) evidencia que o aumento da temperatura estimula a agressividade e corrobora com estudos realizados para outros ciclídeos, tais como, *A. agassizi*, *Julidochromis ornatus*, *Cichlasoma nigrofasciatum* e *Oreochromis niloticus* (Ratnasabapathi et al., 1992; Kochhann et al., 2015; Kua et al., 2020; Said et al., 2020). Neste sentido, a frequência dos itens agressivos foi menor entre os animais submetidos à baixa temperatura. De acordo com Clarke e Johnston (1999), a redução da temperatura altera parâmetros fisiológicos e comportamentais, pois reduz o metabolismo dos animais. Além disso, baixas temperaturas do ambiente reduzem a locomoção em *O. mossambicus* e *C. paranaense* (Kuttye Sukumaran, 1975; Brandão et al., 2018) e, conseqüentemente, essa menor probabilidade de encontros entre co-específicos reduz a frequência de interações sociais.

Os animais em estudo habitam regiões com intervalo ótimo de temperatura entre 27 e 29°C para *Apistogramma gibbiceps* (www.fishbase.se/), portanto, os valores representados na

condição controle estão abaixo da temperatura mínima (i.e., $25,90 \pm 0,71^{\circ}\text{C}$) e, portanto, podem interferir no metabolismo e reduzir a exibição de padrões comportamentais. Esses resultados corroboram com a correlação positiva observada entre o total de interações agressivas e a temperatura da água considerando todos os tratamentos experimentais. De fato, o matrinxã (*Brycon amazonicus*) exibe menor frequência de comportamento agressivo quando submetidas a menores temperaturas da água (Barros et al., 2019). No entanto, Ribeiro et al. (submetido) observaram uma redução da motivação e da exibição do comportamento agressivo em *Pterophyllum scalare* quando submetidos à maior temperatura, resposta atribuída à condição estressora desencadeada por esse fator ambiental.

O aumento da exibição do comportamento agressivo observado nos tratamentos de maior temperatura pode indicar maior estabelecimento e defesa de território que são etapas fundamentais do repertório reprodutivo em ciclídeos (Cacho et al., 1999; Yamamoto et al., 1999). No entanto, a alta agressividade observada nessas condições ambientais pode acarretar no aumento da demanda energética e, conseqüentemente, afetar a estabilidade orgânica dos peixes e desencadear uma condição denominada de estresse social (Earley et al., 2006). Assim, os resultados deste estudo indicam que as alterações comportamentais observadas representam uma resposta aguda em decorrência do tempo restrito de exposição a diferentes temperaturas da água.

Apesar dos resultados observados, a exposição à alta temperatura por um período mais prolongado pode acarretar na diminuição da frequência das interações agressivas em decorrência do acúmulo de estresse fisiológico, conforme observado por Warren et al. (2016). De fato, Jung et al. (2020) observaram que algumas espécies amazônicas apresentaram uma capacidade limitada de sobreviver a uma exposição prolongada de aumento na temperatura da água de 2 a 4°C. Além disso, estudos apresentam previsões de um aumento na temperatura acima de 4°C para a Amazônia (PBMC, 2013), o que acarreta na alta vulnerabilidade enfrentada pelas espécies nativas frente às mudanças climáticas. Ressalta-se também que as condições climáticas testadas proporcionam aumentos próximos do destacado por Oliveira e Val (2016) e Campos et al. (2019), refletindo também os cenários previstos pelo IPCC (IPCC, 2013). Diante do exposto, é possível que sejam observados maiores efeitos sobre o comportamento agressivo quando os animais forem submetidos a temperaturas elevadas por maior período.

O aumento das concentrações de CO₂ no ambiente também pode modificar o comportamento e a fisiologia de peixes marinhos e de água doce (Cupp et al., 2017; Campos

et al., 2019), o que pode estar associado a alterações funcionais nos receptores de neurotransmissores, especificamente receptores do GABA que é responsável pela modulação do sistema nervoso central (Heuer et al., 2019). De fato, foi observada uma correlação diretamente proporcional entre a concentração de CO₂ dissolvido na água e o comportamento agressivo de *A. gibbiceps*, resultado também observado por Nagelkerken et al. (2017). Além disso, as condições ambientais de maior concentração de CO₂ (intermediária e drástica) estimulam a exibição de interação agressiva para dominantes e submissos. Milazzo et al. (2016) também observaram efeito desse fator ambiental no comportamento reprodutivo de *Symphodus ocellatus*, evidenciado pela redução na desova dos dominantes em alta concentração de CO₂ na água.

Considerando as posições sociais dos animais, observaram-se efeitos similares da temperatura e CO₂ na água para dominantes e submissos de *A. gibbiceps*. Isso indica que o efeito desses parâmetros ambientais na organização social e na estabilidade hierárquica afeta de modo similar todos os membros do grupo e pode ter um impacto significativo no contexto reprodutivo. De acordo com Alves et al. (2009) e Kochhann e Val (2016), o gênero *Apistogramma* apresenta organização social baseada na hierarquia de dominância e territorialidade. Dentro deste contexto, a interação agressiva evidencia a competição de defesa por recursos, onde os animais dominantes mantêm o controle hierárquico e o acesso prioritário ao território e parceiro reprodutivo (Huntingford e Tuner, 1987).

Embora cada fator ambiental apresente efeito direto sobre o comportamento dos peixes (ex. Kochhann et al., 2015 e Heuer et al., 2019), é provável que a associação das alterações desses parâmetros abióticos proporcione efeitos mais evidentes em decorrência da interação e da potencialização das respostas comportamentais. Por exemplo, *A. agassizii* e *Pyrhullina brevis*, expostas a condições ambientais semelhantes ao cenário drástico, apresentaram aumento nas taxas metabólicas e no estresse oxidativo, o que pode desencadear uma melhor aclimação e ajustes no ambiente em decorrência do seu hábito de vida. Já para *Colossoma macropomum*, ambientes de temperatura e CO₂ elevados desencadearam aumento dos níveis de cortisol, triglicerídeos e glicose plasmáticos e estimularam o maior consumo de alimento (Oliveira e Val, 2016). De acordo com Miller et al. (2015), o aumento moderado de CO₂ e da temperatura da água associados reduz o sucesso reprodutivo em *Amphiprion melanopus*, o que não ocorreu quando os fatores ambientais foram analisados separadamente. Neste estudo, observa-se que a alteração da temperatura e do CO₂ no ambiente aquático modula diretamente o comportamento agressivo de *A. gibbiceps*, indicando que as previsões

de mudanças climáticas previstas pelo IPCC poderão impactar significativamente no contexto social e ambiental para ciclídeos amazônicos.

Dentro deste contexto, propõe-se o uso do enriquecimento ambiental como um mitigador do efeito das mudanças climáticas sobre o comportamento agressivo em peixes. De acordo com Gerber et al. (2015), enriquecimento reduz a condição estressora decorrente da organização social (e.g., estresse social) e pode potencializar o bem-estar dos animais. A inserção de complexidade física no ambiente é utilizada para reduzir a exibição de comportamentos estereotipados (Naslund e Johnsson, 2016) e pode atuar como recursos (ex. abrigo, sitio reprodutivo e/ou de alimentação) para os peixes (Gerber et al., 2015), interferindo diretamente na agressividade e defesa territorial dos indivíduos. De fato, o enriquecimento físico aumentou a frequência de itens agressivos em *Oreochromis niloticus* (Barreto et al., 2011) e *A. agassizii* (Kochhann e Val, 2017). Resultado similar foi observado neste estudo, o que reforça o uso das estruturas (tubos de plástico) como um recurso valioso para os animais que disputam e utilizam este artefato como um território reprodutivo e/ou abrigo (ex. *A. cactuoides*; Alves et al., 2009), característica evidenciada pela maior frequência de interação agressiva associada a este local, conforme também observado para *A. agassizii* (Kochhann e Val, 2016). Ressaltando que em animais sociais a agressividade tem sua importância, pois é através dela que se definem as posições sociais dentro de um grupo, bem como a prioridade de acesso aos recursos (Hardy e Briffa, 2013; Frommen, 2019). De modo efetivo, o enriquecimento estrutural pode estimular o comportamento territorial em peixes, aumentando a disputa pelo recurso e, conseqüentemente, a frequência de comportamento agressivo (ex. Boerrigter et al., 2016; Kochhann, 2017).

Vale ressaltar que o enriquecimento ambiental tem efeito apenas na condição climática intermediária, onde foi observada maior agressividade que, por sua vez, indica uma maior motivação para a defesa territorial com possível impacto na aquisição de recursos e na exibição do comportamento reprodutivo. Assim, pode-se concluir que os animais conseguem se ajustar até um limite de alteração ambiental (intermediário), onde a disponibilização de recurso é um fator estimulador da disputa. Embora, no cenário drástico, o enriquecimento não teve efeito na frequência do comportamento social de *A. gibbiceps*, esta condição ambiental estimulou a motivação agressiva dos animais evidenciada pela menor latência para a exibição dessa resposta comportamental.

De modo geral, as mudanças climáticas desencadeiam estratégias de vida emergenciais nos peixes, o que foi evidenciado por este estudo com a modulação do

comportamento agressivo e da territorialidade de *A. gibbiceps* submetidos a diferentes condições ambientais. Conforme relatado por Nobre et al. (2007) e Souza et al. (2019), o ambiente amazônico vem sofrendo intensamente com as ações antrópicas, o que poderá impactar diretamente na biodiversidade e nos ecossistemas aquáticos. Assim, o uso de estímulos e/ou recursos no ambiente pode ser sugerido, pelo menos parcialmente, para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e, conseqüentemente, contribuir para melhores condições de bem-estar para as espécies amazônicas.

REFERÊNCIAS

- Adamo AS, Parsons NM (2006) The emergency life-history stage and immunity in the cricket, *Gryllus texensis*. *Animal Behaviour* 72:235-244.
- Allan, JD., & Johnson, LB. (1997). Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37, 107-111.
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 257-284.
- Alves FCM, Rojas NET, Romagosa E (2009) Reprodução do “ciclídeo-anão amazônico”, *Apistogramma cacatuoides*, Hoedeman, 1951 (Perciformes: Cichlidae) em laboratório. *Boletim do Instituto de Pesca* 35:587-596.
- Arechavala-Lopez P et al. (2019) Effects of structural environmental enrichment on welfare of juvenile seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Reports* 15:100224.
- Arnott G, Elwood RW (2009) Assessment of fighting ability in animal contests. *Animal Behaviour* 77:991-1004.
- Avila AMH (2007) Uma síntese do quarto relatório do IPCC. *Revista Multiciência* 8:163-168.
- Baerends GP, Baerends Van-Roon JM (1981) An introduction to the study of the ethology of cichlid fishes. *Behaviour* 77, 3:199-199.
- Barley AJ, Coleman RM (2010) Habitat structure directly affects aggression in convict cichlids *Archocentrus nigrofasciatus*. *Current Zoology* 56:1.
- Barreto RE, Carvalho GGA, Volpato GL (2011) The aggressive behavior of Nile tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology* 114:53-7.
- Barros IBA, Villacorta-Correa MA, Carvalho TB (2019) Stocking density and water temperature as modulators of aggressiveness, survival and zootechnical performance in matrinxã larvae, *Brycon amazonicus*. *Aquaculture* 502:378-383.

- Batzina A, Karakatsouli N (2012) The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: growth and behavioral effects. *Aquaculture* 370:54-60.
- Becker JB, Breedlove SM, Crews D (1993) *Behavioral Endocrinology*. Institute of Technology, Massachusetts.
- Beeching SC (1992) Visual assessment of relative body size in a cichlid fish, the oscar, *Astronotus ocellatus*. *Ethology* 90:177-186.
- Bicego KC, Barros RC, Branco LG (2007) Physiology of temperature regulation: comparative aspects. *Comparative Biochemistry and Physiology* 147:616-639.
- Boerrigter JG, Van den Bos R, Van de Vis H, NSpanings T, Flik G (2016) Effects of density, PVC-tubes and feeding time on growth, stress and aggression in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture Research* 47:2553-2568.
- Brandão ML, Colognesi G, Bolognesi, MC, Ferreira RSC, Carvalho TB (2018) Water temperature affects aggressive interactions in a cichlid fish. *Neotropical Ichthyology* 16:1-8.
- Cacho MSRF, Yamamoto ME, Chellappa S (1999) Comportamento reprodutivo do acará bandeira, *Pterophyllum scalare* Cuvier & Valenciennes (Osteichthyes, Cichlidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 16:653-664.
- Campos DF, Braz-Mota S, Val AL, Almeida-Val VMF (2019) Predicting thermal sensitivity of three Amazon fishes exposed to climate change scenarios. *Ecological Indicators* 101:533- 540.
- Carvalho TB, Gonçalves-de-Freitas E (2008) Sex group composition, social interaction, and metabolism in the fish Nile tilapia. *Brazilian Journal of Biology* 68:807-812.
- Carvalho TB, Ha JC, Gonçalves-de-Freitas E (2012) Light intensity can trigger different agonistic responses in juveniles of three cichlid species. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 45:91-100.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., & Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6(4), 217-229.
- Castello, L., & Macedo, M. N. (2016). Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global change biology*, 22(3), 990-1007.
- Cho H.C, Kim J.E, Kim HB, Baek HJ (2015) Effects of water temperature change on the hematological responses and plasma cortisol levels in growing of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *Development & Reproduction*, 19:19-24.

Clarke A, Johnston NM (1999) Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. *Journal of Animal Ecology* 68:893-905.

Cupp AR et al (2017) Using dissolved carbon dioxide to alter the behavior of invasive round goby. *Management of Biological Invasions* 8:567.

da Silva-Pinto T et al. (2020) Damsel fish face climate change: Impact of temperature and habitat structure on agonistic behavior. *Plos One* 15(6): e0235389.

Earley RL, Edwards JT, Aseem O, Felton K, Blumer LS, Karom M, Grober MS (2006) Social interactions tune aggression and stress responsiveness in a territorial cichlid fish (*Archocentrus nigrofasciatus*). *Physiology & Behavior* 88:353-363.

Esquivel-Muelbert A, et al. (2019) Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology* 25:39-56.

Feely RA, Sabine CF, Lee K, Berelson W, Kleypas J, Fabry VJ, Millero FJ (2004) Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science*, 305: 362-366.

Ferreira JN, Barros IBA Carvalho TB (2020) Effect of water temperature on aggressiveness and physiological parameters of juvenile matrinxã, *Brycon amazonicus* (Spix and Agassiz, 1829). *Applied Animal Behaviour Science* 231:105091.

Frommen, J. G. (2020). Aggressive communication in aquatic environments. *Functional Ecology*, 34(2), 364-380.

Gerber B, Stamer A, Stadlander T (2015) Environmental enrichment and its effects on welfare in fish. FiBL Schweiz, Ackerstrasse.

Heuer M, Hamilton TJ, Nilsson GE (2019) The physiology of behavioral impacts of high CO₂. In *Fish Physiology* (Vol. 37, pp. 161-194). Academic Press.

Huntingford FA, Tuner AK (1987) *Animal Conflict*. Chapman and Hall, London.

Huntingford FA, Adams C, Braithwaite VA, Kadri S, Pottinger TG, Sandoe P, Turnbull JF (2006) Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* 68:332-372.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D.Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Naueels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Jacobs JD, Wingfield JC (2000) Endocrine control of life-cycle stages: a constraint on response to the environment? *Condor* 102:35-51.

Jentoft S, Aastveit AH, Torjesen PA, Andersen O (2005) Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 141:353-358.

Jung EH, Brix KV, Richards JG, Val AL, Brauner CJ (2020) Reduced hypoxia tolerance and survival at elevated temperatures may limit the ability of Amazonian fishes to survive in a warming world. *Science of The Total Environment* 748:141349.

Kadry VO, Barreto, RE (2010) Environmental enrichment reduces aggression of pearl cichlid, *Geophagus brasiliensis*, during resident-intruder interactions. *Neotropical Ichthyology* 8:329-332.

Kochhann D, Campos DF, Val AL (2015) Experimentally increased temperature and hypoxia affect stability of social hierarchy and metabolism of the Amazonian cichlid *Apistogramma agassizii*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 190:54-60.

Kochhann D, Val AL (2017) Social hierarchy and resting metabolic rate in the dwarf cichlid *Apistogramma agassizii*: the role of habitat enrichment. *Hydrobiologia* 789:123-131.

Kua ZX et al (2020) Water warming increases aggression in a tropical fish. *Scientific Reports*, 10:1-13.

Kullander SO (2003) Family Cichlidae. Check list of the fresh water fishes of South and Central America, p. 605-654.

Kutty MN, Sukumaran N (1975) Influence of upper and lower temperature extremes on the swimming performance of *Tilapia mossambica*. *Transactions of the American Fisheries Society* Taylor & Francis Group 104:755-761.

Landys MM, Ramenofsky M, Wingfield JC (2006) Actions of glucocorticoids at a seasonal baseline as compared to stress-related levels in the regulation of periodic life processes. *General and Comparative Endocrinology* 148:132-149.

Lewis SL, Maslin MA (2015) Defining the anthropocene. *Nature* 519:171.

Marengo JA (2008) Water and climate change. *Estudos Avançados* 22:83-96.

McNutt, M. (2013). Climate change impacts. *Science* 341:435.

Milazzo M et al (2016) Ocean acidification affects fish spawning but not paternity at CO₂ seeps. *Proceedings Royal Society B* 283:20161021.

Miller GM, Kroon FJ, Metcalfe S, Munday P L (2015) Temperature is the evil twin: effects of increased temperature and ocean acidification on reproduction in a reef fish. *Ecological Applications* 25:603-620.

Nagelkerken I, Goldenberg SU, Ferreira CM, Russell BD, Connell SD (2017) Species interactions drive fish biodiversity loss in a high-CO₂ world. *Current Biology* 27:2177-2184.

Näslund J, Johnsson JI (2016) Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries* 17:1-30.

Newberry RC (1995) Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behaviour Science* 44:229-243.

Nobre CA, Sampaio G, Salazar L (2007) Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* 59:22-27.

Oliveira AM, Val AL (2016) Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae). *Hydrobiologia* 1:167-178.

Oliveira RF, Almada, VC (1996) Dominance hierarchies and social structure in captive groups of the Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus* (Teleostei Cichlidae). *Ethology Ecology & Evolution* 8:39-55.

Olusanya HO, van Zyll de Jong, M (2018) Assessing the vulnerability of freshwater fishes to climate change in Newfoundland and Labrador. *Plos One*, 13:e0208182.

PBMC (2014) Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PBMC (2014) Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

Piedade MTF, Almeida e Val VMF, Lopes A, Henrique HS, Fé LML, Wittmann F (2014) Organismos aquáticos e de áreas úmidas em uma Amazônia em transição. *Ciência e Cultura* 66:34-40.

Ratnasabapathi D, Burns J, Soucek R (1992) Effects of temperature and prior residence on territorial aggression in the convict cichlid *Cichlasoma nigrofasciatum*. *Aggressive Behavior*, 18:365-372.

Ribeiro MWS, Oliveira AT, Carvalho TB Water temperature modules social behaviour of ornamental cichlid (*Pterophyllum scalare*) in an artificial system. *Journal of Applied Aquaculture*, submetido.

Rocha VM (2016) Assessment of the impacts of climate change on precipitation recycling in the Amazon basin: a numerical modeling study). *Revista Brasileira de Climatologia* 19:91- 112.

Römer U, Beisenherz W (1996) Environmental determination of sex in *Apistogramma* (Cichlidae) and two other freshwater fishes (Teleostei). *Journal of Fish Biology* 48:714-725.

Said EN, Ahmed F AA, Saleem ASY, Mohammed HH, Youssef MY, Fattah AFA (2020) Behavioural response, welfare, and performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different water temperatures. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 8:1-11.

Salvanes, AGV, Moberg O, Ebbesson, LOE, Nilsen TO, Jensen KH, Braithwaite VA (2013) Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proceedings of the Royal Society B* 280:20131331.

Sarmiento CG, Almeida ES, Marcon JL, Carvalho TB (2017) Body color pattern and aggressiveness related to behavioral context and light intensity in an Amazonian cichlid, *Laetacara fulvipinnis* Staeck & Schindler, 2007 *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 50:89-104.

Sakakura Y, Tsukamoto K (1997) Onset and development of cannibalistic behaviour in early life stages of yellowtail. *Journal of Fish Biology* 48:16-29.

Souza,CM, Kirchhoff FT, Oliveira BC, Ribeiro JG, Sales MH (2019) Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. *Water* 11:566.

Sun L, Chen H (2014) Effects of water temperature and fish size on growth and bioenergetics of cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture* 426:172-180.

Tillotson, MD, Quinn TP (2016) Beyond correlation in the detection of climate change impacts: Testing a mechanistic hypothesis for climatic influence on sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) productivity. *Plos One* 11:e0154356.

Torrezani CS, Pinho-Neto CF, Miyai CA, Sanches FHC, Barreto RE (2013) Structural enrichment reduces aggression in *Tilapia rendalli*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 46:183-190.

Turnbull JF, Adams CE, Richards RH, Robertson DA (1998) Attack site and resultant damage during aggressive encounters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr. *Aquaculture* 159:345-353.

Volpato GL, Barreto RE (2001) Environmental blue light prevents stress in Nile tilapia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 34:1041-1045.

Wabnitz CC, Lam V et al. (2018) Climate change impacts on marine biodiversity, fisheries and society in the Arabian Gulf. *Plos One* 13:e0194537.

Warren DT, Donelson JM, McCormick MI, Ferrari MCO, Munday PL (2016) duration of exposure to elevated temperature affects competitive interactions in juvenile reef fishes. *PLoS ONE* 11(10): e0164505.

Wingfield JC, Kitaysky AS (2002) Endocrine responses to unpredictable environmental events: stress or anti-stress hormones?. *Integrative and Comparative Biology* 42:600-609.

Wingfield JC (2003) Control of behavioural strategies for capricious environments. *Animal Behaviour* 66:807-816.

Woolway RI, Jennings E, Shatwell T, Golub M, Pierson DC, Maberly SC (2021) Lake heat waves under climate change. *Nature* 589:402-421.

Yamamoto ME, Chellappa S, Cacho MSRF, Huntingford FA (1999) Mate guarding in an Amazonian cichlid, *Pterophyllum scalare*. *Journal of Fish Biology* 55:888-891.

Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*. Pearson Education India.