



RAYSSA KAROLINA FERREIRA BORGES

**ASPECTOS POPULACIONAIS EM ESPÉCIES DE
CRUSTÁCEOS DO GÊNERO *Hyaella* EM DIFERENTES
AMBIENTES DA AMÉRICA DO SUL**

**LAVRAS - MG
2024**

RAYSSA KAROLINA FERREIRA BORGES

**ASPECTOS POPULACIONAIS EM ESPÉCIES DE CRUSTÁCEOS DO GÊNERO
Hyalella EM DIFERENTES AMBIENTES DA AMÉRICA DO SUL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas para a Obtenção do Título de Doutor.

Prof(a). Dr(a) Alessandra Angélica de Pádua Bueno
Orientadora

**LAVRAS - MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Borges, Rayssa Karolina Ferreira.

Aspectos populacionais em espécies de crustáceos do gênero *Hyaella* em diferentes ambientes da América do Sul / Rayssa Karolina Ferreira Borges. - 2024.
131 p.

Orientador(a): Alessandra Angélica de Pádua Bueno.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.
Bibliografia.

1. Ecologia Populacional. 2. Anfípode dulcícola. 3. Revisão sistemática. I. Bueno, Alessandra Angélica de Pádua. II. Título.

RAYSSA KAROLINA FERREIRA BORGES

**ASPECTOS POPULACIONAIS EM ESPÉCIES DE CRUSTÁCEOS DO GÊNERO
Hyaella EM DIFERENTES AMBIENTES DA AMÉRICA DO SUL**

**POPULATION ASPECTS IN CRUSTACEAN SPECIES OF THE GENUS *Hyaella* IN
DIFFERENT ENVIRONMENTS OF SOUTH AMERICA.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas para a Obtenção do Título de Doutor.

APROVADA em 13 de março de 2024.
Dra. Larissa Fonseca Andrade Vieira UFLA
Dra. Letícia Maria Vieira UFLA
Dra. Silvana Gomes Leite Siqueira UNICAMP
Dra. Giovanna Monticelli Cardoso UFRGS

Prof(a). Dr(a) Alessandra Angélica de Pádua Bueno
Orientadora

**LAVRAS - MG
2024**

*A todas as mulheres extraordinárias que cruzaram o meu caminho,
fortalecendo a minha jornada e inspirando
a pessoa e pesquisadora que me tornei,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Universidade Federal de Lavras, por me proporcionar a oportunidade de me tornar desde bacharel em biologia a doutora em ecologia aplicada. A UFLA mudou minha vida de tantas maneiras, que eu poderia escrever uma tese só sobre isso. Esta universidade sempre terá um papel enorme na minha vida e no meu coração. Iniciei meu ciclo acadêmico aqui em 2012, e finalizo aqui mais de 10 anos depois, obrigada UFLA! Serei uflaniana para sempre.

Meu maior agradecimento do mundo irá a minha orientadora, e amiga, prof. Alessandra Angélica de Pádua Bueno. Eu queria conseguir mensurar a diferença que ela fez na minha vida, pessoal, acadêmica e profissional. São mais de 10 anos no laboratório da Alê, e eu posso dizer com 100% de certeza que eu sou uma pessoa completamente diferente agora, muito por conta dela. Sabe aquelas pessoas transformadoras, que passam na nossa história? A Alessandra foi uma delas na minha vida. Obrigada por compartilhar o amor aos crustáceos, à docência, a biologia e até mesmo a vida. Espero continuar ser uma amiga por toda essa vida!

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada e a todo o corpo do departamento de Ecologia e Conservação pela formação da ecóloga que sou. Além dos diplomas de mestrado e doutorado, essas experiências proporcionaram-me uma perspectiva mais doce e respeitosa em relação à natureza. Expresso também minha gratidão à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela bolsa de incentivo à pesquisa. Sem ela, a realização e conclusão do doutorado seriam impossíveis.

A toda equipe do Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES-BIO) da UFSCar, em especial a professora Maria Elina, a Lina! Por fornecer parte do material que permitiu a construção de parte desse estudo. Também agradeço a todos que toparam ir coletar comigo, seja no meio subterrâneo ou terrestre, foi divertidíssimo! Agradeço a vocês, de todo o meu coração

Meu agradecimento puro a minha família! A minha mãe Maria Amelia, meu pai Marcos Valério, ao meu irmão Dimitrius Guilherme e minha cunhada, Monique Ferraz. Obrigada por me ouvirem falar de biologia o tempo todo, militar pelos bichos e apoiar por toda minha jornada.

Aos meus amigos André (Dedé), Joyce, Matheus Duarte, Amanda, Mirella, Ludmilla, Ana Júlia e Alice, dedico meu mais sincero carinho e gratidão. Assim como as meninas do Laboratório Carcinologia, o “lab” mais feminino do universo. Vocês transformaram a árdua jornada da pós-graduação em algo leve e divertido! Não sei como seria minha trajetória sem o apoio de vocês.

Agradeço ao Sr. Luiz Paulo e sua esposa Magna, por me permitirem coletar uma espécie nova de *Hyalella* em sua fazenda e ainda serem super receptivos e carinhosos. Obrigada pela parceria em coletas, pelos bolos, pão de queijo, doces e conversas enriquecedoras!

Por fim, mas não menos importante, ao meu “namorado” João Pedro! O meu mais sincero agradecimento por sempre estar ao meu lado, seja em coletas, em momentos difíceis e sombrios ou quando achei que tudo daria errado. Obrigada principalmente por me incentivar a continuar, mesmo quando eu quis largar tudo e endoidei. Você é, e sempre será, melhor parceiro que já tive nessa vida, te amo!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

RESUMO

O estudo das dinâmicas populacionais desempenha um papel fundamental na compreensão da permanência e resistência das populações ao longo do tempo, bem como na formulação de medidas eficazes de preservação. Uma análise abrangente desses estudos permite identificar padrões compartilhados entre organismos pertencentes ao mesmo gênero, fornecendo uma visão mais holística das interações populacionais. Os crustáceos anfípodes do gênero *Hyalella*, presentes em toda a América do Sul, apresentam uma ampla diversidade. Embora diversos estudos populacionais tenham sido conduzidos sobre essa diversidade, lacunas significativas ainda persistem. Duas lacunas específicas são identificadas neste contexto. A primeira destaca a necessidade de expansão dos estudos para abranger todas as espécies já descritas, enquanto a segunda se concentra na compreensão de padrões entre as histórias de vida destas espécies. Portanto, o objetivo central desta tese é explorar os aspectos ecológicos de espécies de *Hyalella*, tanto epígeas quanto hipógeas, e avaliar possíveis padrões que possam surgir em ambientes similares. Para atingir esse objetivo, a tese foi dividida em três artigos. O primeiro artigo consiste em uma revisão sistemática dos estudos populacionais relacionados ao gênero *Hyalella* na América do Sul. O segundo foca na análise de aspectos populacionais de uma espécie troglóbia específica, a *H. veredae*. Por fim, o terceiro artigo investiga a estrutura populacional de uma espécie recentemente descoberta e ainda não descrita, denominada *Hyalella sp.* Este amplo estudo sobre a ecologia do gênero *Hyalella* revelou padrões comuns nas dinâmicas populacionais, especialmente quando se consideram as ecorregiões, contradizendo algumas hipóteses baseadas em latitude, que foram propostas por outros pesquisadores. Além disso, mesmo em ambientes subterrâneos, observou-se que espécies geograficamente próximas, sejam elas epígeas ou hipógeas, podem compartilhar semelhanças em suas estruturas populacionais. Essa tese oferece insights significativos que enriquecem o entendimento da ecologia de *Hyalella*, contribuindo para a expansão do conhecimento nesse campo de pesquisa.

Palavras-Chave: Revisão, ecologia populacional, Amphipoda

ABSTRACT

The study of population dynamics plays a fundamental role in understanding the persistence and resilience of populations over time, as well as in formulating effective preservation measures. A comprehensive analysis of these studies allows for the identification of shared patterns among organisms within the same genus, providing a more holistic view of population interactions. Amphipod crustaceans of the genus *Hyalella*, found throughout South America, exhibit a wide diversity. Despite various population studies conducted on this diversity, significant gaps persist. Two specific gaps are identified in this context. The first emphasizes the need to expand studies to encompass all described species, while the second focuses on understanding patterns within the life histories of these species. Therefore, the central aim of this thesis is to explore the ecological aspects of both epigeal and hypogean species of *Hyalella* and evaluate possible patterns that may emerge in similar environments. To achieve this objective, the thesis is divided into three articles. The first article comprises a systematic review of population studies related to the *Hyalella* genus in South America. The second focuses on analyzing population aspects of a specific troglobitic species, *H. veredae*. Finally, the third article investigates the population structure of a recently discovered and yet undescribed species, referred to as *Hyalella* sp. This extensive study on the ecology of the *Hyalella* genus has revealed common patterns in population dynamics, particularly when considering ecoregions, contradicting some latitude-based hypotheses proposed by other researchers. Additionally, even in subterranean environments, it has been observed that geographically proximate species, whether epigeal or hypogean, may share similarities in their population structures. This thesis provides significant insights that enrich the understanding of *Hyalella* ecology, contributing to the expansion of knowledge in this research field.

Keywords: Review, population ecology, Amphipoda.

INDICADOR DE IMPACTO

A pesquisa intitulada "Aspectos populacionais em espécies de crustáceos do gênero *Hyaella* em diferentes ambientes da América do Sul" visa elucidar a biodiversidade de pequenos crustáceos dulcícolas, parcialmente responsáveis por manter o equilíbrio dos ambientes em que habitam, impactando, assim, a área ambiental e o meio ambiente. Seu principal objetivo é compreender os aspectos ecológicos das espécies de *Hyaella*, tanto epígeas quanto hipógeas, e avaliar os possíveis padrões que ocorrem nesses mesmos ambientes. Esses organismos habitam diferentes biomas que estão sendo amplamente impactados por ações humanas, como o aquecimento global. Foi observado que os aspectos populacionais desses crustáceos indicam que sua história de vida depende das condições intrínsecas aos biomas, e quaisquer alterações podem levar à perda desses indivíduos, afetando o equilíbrio dos cursos d'água. A perda desses animais pode acarretar não apenas na diminuição da biodiversidade, mas também na alteração dos serviços ecossistêmicos essenciais tanto para a manutenção do ambiente quanto para os seres humanos. A perda desses serviços fornecidos por eles pode resultar em uma queda na qualidade da água, elemento vital para a vida no planeta. Além disso, esses organismos são reconhecidos como bioindicadores de qualidade da água, e entender seus aspectos populacionais é fundamental para usar essas informações com essa finalidade. Dessa forma, esta pesquisa impacta positivamente o meio ambiente ao promover a preservação da biodiversidade, dos serviços ecossistêmicos e ao oferecer uma possível ferramenta para a conservação da vida aquática.

IMPACT INDICATOR

The research entitled "Population aspects in crustacean species of the genus *Hyalella* in different environments of South America" aims to elucidate the biodiversity of small freshwater crustaceans, partially responsible for maintaining the balance of the environments they inhabit, thus impacting the environmental area and the environment. Its main objective is to understand the ecological aspects of *Hyalella* species, both epigeal and hypogean, and to evaluate the possible patterns that occur in these same environments. These organisms inhabit different biomes that are being widely impacted by human actions, such as global warming. It was observed that the population aspects of these crustaceans indicate that their life history depends on the intrinsic conditions of the biomes, and any changes can lead to the loss of these individuals, affecting the balance of watercourses. The loss of these animals can result not only in the decrease in biodiversity but also in the alteration of essential ecosystem services both for the maintenance of the environment and for humans. The loss of these services provided by them can result in a decrease in water quality, a vital element for life on the planet. In addition, these organisms are recognized as bioindicators of water quality, and understanding their population aspects is fundamental to using this information for this purpose. Thus, this research positively impacts the environment by promoting the preservation of biodiversity, ecosystem services, and by offering a possible tool for the conservation of aquatic life.

Sumário

PRIMEIRA PARTE	7
INTRODUÇÃO GERAL	8
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9
SEGUNDA PARTE	11
ARTIGOS.....	11
ARTIGO 1 - Avaliação da dinâmica populacional e aspectos reprodutivos das espécies sul americanas de anfípodes do gênero <i>Hyaella</i> Smith, 1874 (Peracarida: Hyalellidae)	12
1. INTRODUÇÃO	15
2. METODOLOGIA.....	18
4.1 Aspectos populacionais e reprodutivos em <i>Hyaella</i>	25
4.2 Espécies de <i>Hyaella</i> com ecologia conhecida em relação a ecorregião e possíveis ameaças.....	28
5. ECOLOGIA POPULACIONAL DAS <i>Hyaella</i> SUL-AMERICANAS	35
5.1 Tamanho.....	35
5.2 Aspectos reprodutivos	37
5.3 Influência de fatores abióticos	39
6. BIOINDICADOR	47
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS	50
ARTIGO 2 - Aspectos populacionais de três populações do anfípode troglóbio <i>Hyaella veredae</i> Cardoso & Bueno, 2014, do sudeste brasileiro (MALACOSTRA, AMPHIPODA).....	59
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1. Local de estudo.....	64
2.2. Amostragem dos anfípodes <i>Hyaella veredae</i>	65

2.3. Análises estatísticas.....	66
3. RESULTADOS	67
3.1. Abundância populacional e estrutura populacional.....	67
3.2. Aspectos reprodutivos	74
3.3. Dados abióticos.....	77
4. DISCUSSÃO	78
4.1. Abundância e estrutura populacional.....	79
4.2. Aspectos reprodutivos	81
4.3. O ambiente subterrâneo versus aspectos populacionais	82
5. CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS	85
ARTIGO 3 - Estrutura populacional de uma nova espécie <i>Hyalella sp.</i> (Amphipoda: Hyalellidae) do sul do Estado de Minas Gerais, Brasil	89
1. INTRODUÇÃO	92
2. MATERIAL E MÉTODOS	93
2.1. Local de estudo.....	93
2.2. Coleta dos animais para a Dinâmica Populacional.....	95
2.3. Análises Estatísticas	96
3. RESULTADOS	98
3.1. Estrutura e Abundância populacional.....	98
3.2. Tamanho	100
3.3. Aspectos reprodutivos	109
3.4. Parâmetros abióticos	112
4. DISCUSSÃO	113
4.1. Estrutura e Abundância populacional.....	113
4.2. Tamanho	115
4.3. Aspectos reprodutivos	117

5. CONCLUSÃO.....	118
REFERÊNCIAS	120

PRIMEIRA PARTE

Introdução Geral

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas dulcícolas estão entre os mais ameaçados pela degradação antrópica. Um dos grandes exemplos desta degradação é o uso indiscriminado de agrotóxicos por diversos países (Reid *et al.*, 2019; Torremorell *et al.*, 2021). Tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas estão expostas a estes agentes poluentes, embora de formas diferentes (Castaño-Sánchez; Hose; Reboleira, 2020; Torremorell *et al.*, 2021). Justamente por este fato, a biodiversidade aquática está em constante ameaça (Reid *et al.*, 2019), e muitas vezes sendo extinta sem ter sua identidade ou ecologia conhecida.

Dentre a fauna comum dos ambientes aquáticos, estão os crustáceos anfípodas. No Brasil, um importante representante da ordem é o gênero *Hyaella* Smith, 1874. Estes crustáceos são exclusivos das Américas e só ocorrem em ecossistemas dulcícolas. Além disso, apresentam uma grande endemicidade de espécies, o que faz com que a diversidade do gênero possa estar em constante ameaça por qualquer impacto (Väinölä *et al.*, 2008).

A diversidade de *Hyaella* está em constante crescimento com várias espécies sendo descritas nos últimos anos. Nos últimos anos, pelo menos 10 espécies foram descritas (Streck *et al.*, 2017; Marx; Castiglioni, 2020; Reis *et al.*, 2020; Talhaferro *et al.*, 2021; Limberger; Santos; Castiglioni, 2022; Rangel *et al.*, 2022), o que nos permite hipotetizar que exista uma diversidade de espécies não conhecida. Não somente descrições têm sido feitas em relação a estes organismos, como também têm crescido estudos ecológicos relacionados ao seu ciclo de vida e dinâmicas populacionais (Ozga; Castiglioni, 2017; Ozga *et al.*, 2018; Castiglioni *et al.*, 2020).

No Brasil, apesar do aumento do número de pesquisas relacionadas ao gênero, ainda existe uma lacuna de conhecimento acerca da ecologia populacional das espécies. O estudo destes parâmetros ecológicos é essencial tanto para sua conservação e proteção. Partindo deste pressuposto e o crescente impacto em ambientes aquáticos, a pesquisa focada no gênero *Hyaella* tem grande potencial para ser explorada (Martins; Bianchini, 2011).

O objetivo geral desta tese é conhecer os aspectos ecológicos de espécies de *Hyaella* tanto epígeas quanto hipógeas, e avaliar possíveis padrões que as espécies que ocorrem em mesmos ambientes possam ter. Ou seja, trazer dados inéditos da história de vida, ciclo de vida e a ecologia populacional, de uma espécie que irá ser descrita, a *Hyaella sp.* e de uma espécie

cavernícola, a *Hyaella veredae* Cardoso ; Bueno, 2014. Por fim, fazer uma avaliação de todos os aspectos ecológicos e reprodutivos conhecidos para as espécies de *Hyaella* que ocorrem na América do Sul, realizando uma revisão da literatura comparando os dados entre as espécies. Para isso, a tese será dividida em três capítulos em formato de artigos, seguindo a norma NBR6022 (ABNT 2018), como sugerido pelo manual de normalização da UFLA.

REFERÊNCIAS

- CASTAÑO-SÁNCHEZ, A.; HOSE, G. C.; REBOLEIRA, A. S. P. S. Ecotoxicological effects of anthropogenic stressors in subterranean organisms: A review. **Chemosphere**, v. 244, p. 125422, 2020.
- CASTIGLIONI, D. D. S., *et al.*,. Population and reproductive traits of a freshwater amphipod (Crustacea, Peracarida, Hyalellidae) from northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, p. e20190872, 2020.
- LIMBERGER, M.; SANTOS, S; CASTIGLIONI, D. D. S . *Hyaella luciae* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae)—a new species of freshwater amphipod from Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5174, n. 5, p. 568-582, 2022.
- MARTINS, S. E.; BIANCHINI, A. Toxicity tests aiming to protect Brazilian aquatic systems: current status and implications for management. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 7, p. 1866-1875, 2011.
- MARX, M. T. S; CASTIGLIONI, D. D. S. A new species of freshwater amphipod (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) from state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, 2019.
- OZGA, A. V; CASTIGLIONI, D. D. S. . Reproductive biology of two species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) from southern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 51, n. 41-42, p. 2509-2521, 2017.
- OZGA, A. V; CASTRO, V. D. S. D; CASTIGLIONI, D. D. S . Population structure of two freshwater amphipods (Crustacea: Peracarida: Hyalellidae) from southern Brazil. **Nauplius**, v. 26, 2018.
- RANGEL, C *et al.* First island species of *Hyaella* (Amphipoda, Hyalellidae) from Florianópolis, state of Santa Catarina, Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5116, n. 1, p. 40-60, 2022.
- REID, A. J. *et al.* Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019.
- REIS, G. O.; PENONI, L. R.; BUENO, A. A. P. First record of the genus *Hyaella* (Amphipoda: Hyalellidae) from Santa Catarina State, Brazil, with description of two new species. **Biota Neotropica**, v. 20, 2020.

STRECK, M. T. *et al.* Two new species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae) from state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 4337, n. 2, p. 263-278, 2017.

TALHAFERRO, J. T. *et al.* Three new species of *Hyaella* (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae) from the Southern Brazilian Coastal Plain. **Zootaxa**, v. 4970, n. 2, p. 257292, 2021.

TORREMORELL, A. *et al.* Current and future threats for ecological quality management of South American freshwater ecosystems. **Inland Waters**, v. 11, n. 2, p. 125-140, 2021.

VÄINÖLÄ, R. *et al.* Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. Freshwater animal diversity assessment, p. 241-255, 2008.

SEGUNDA PARTE

ARTIGOS

ARTIGO 1

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA POPULACIONAL E ASPECTOS REPRODUTIVOS
DAS ESPÉCIES SUL AMERICANAS DE ANFÍPODES DO GÊNERO *Hyaella*
SMITH, 1874 (PERACARIDA: HYALELLIDAE)**

RESUMO

Os estudos populacionais desempenham um papel crucial na compreensão da persistência e resiliência das espécies ao longo do tempo, bem como na formulação de medidas de proteção. Essas pesquisas abrangem dados tanto bióticos quanto abióticos, evidenciando padrões que refletem a história de vida das espécies. A hipótese relacionada aos padrões de vida de organismos é que espécies submetidas a condições semelhantes podem apresentar dinâmicas populacionais similares, permitindo identificar os parâmetros de maior influência. Um exemplo para estudos neste sentido, são os crustáceos anfípodes *Hyaella*, comumente encontrados em ambientes límnicos. Esses pequenos crustáceos estão distribuídos por todo o continente americano, especialmente na América do Sul, onde foram objeto de diversos estudos populacionais. Justamente por isso, as *Hyaella* fornecem a oportunidade de avaliar como dinâmicas populacionais sob diferentes ecorregiões, podem ser estruturadas, e ainda demonstrar padrões, ameaças e possíveis lacunas através de seus estudos. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi, através de uma revisão sistemática, avaliar como as dinâmicas populacionais publicadas sobre *Hyaella*, se estruturam, são ameaçadas e se assemelham em diferentes ecorregiões da América do Sul. O presente estudo adotou a abordagem metodológica do PRISMA, onde através de uma busca literária, foram eleitos e analisados 113 artigos relevantes. Revelou-se que, em relação ao número geral de artigos, há uma escassez de estudos exclusivamente populacionais para o gênero *Hyaella*. As espécies desse gênero estão distribuídas em 17 ecorregiões terrestres e 24 límnicas, enfrentando diversas ameaças, desde mudanças climáticas até a fragmentação de ambientes. A influência da ecorregião emerge como um fator dominante nos padrões ecológicos das espécies de *Hyaella*, superando a latitude em sua relevância. Parâmetros abióticos, como temperatura e pluviosidade, exercem considerável impacto nas dinâmicas populacionais desses crustáceos. A análise também revelou lacunas significativas, incluindo a concentração de estudos em poucas espécies, a falta de dados sobre variáveis abióticas e uma disparidade entre os estudos taxonômicos e os estudos de ecologia para *Hyaella*.

Palavras – Chave: Ecorregião, dinâmica populacional, Revisão sistemática

ABSTRACT

Population studies play a crucial role in understanding the persistence and resilience of species over time, as well as in formulating protective measures. These investigations encompass both biotic and abiotic data, revealing patterns that reflect the life history of species. The hypothesis related to organism life patterns is that species subjected to similar conditions may exhibit similar population dynamics, allowing the identification of influential parameters. An illustrative example for studies in this context is the amphipod crustacean genus *Hyaella*, commonly found in limnic environments. These small crustaceans are distributed throughout the American continent, particularly in South America, where they have been the subject of numerous population studies. Therefore, *Hyaella* provides the opportunity to assess how population dynamics under different ecoregions are structured and to demonstrate patterns, threats, and potential gaps through their studies. Hence, the objective of this research was, through a systematic review, to evaluate how published studies on population dynamics on *Hyaella* are structured, threatened, and similar in different ecoregions of South America. The present study adopted the PRISMA methodological approach, where, through a literature search, 113 relevant articles were selected and analyzed. It was revealed that, in comparison to the overall number of articles, there is a scarcity of exclusively population-focused studies for the genus *Hyaella*. The species of this genus are distributed across 17 terrestrial and 24 limnic ecoregions, facing various threats, from climate change to habitat fragmentation. The influence of ecoregion emerges as a dominant factor in the ecological patterns of *Hyaella* species, surpassing latitude in its relevance. Abiotic parameters, such as temperature and precipitation, exert a considerable impact on the population dynamics of these crustaceans. The analysis also revealed significant gaps, including the concentration of studies on a few species, a lack of data on abiotic variables, and a disparity between taxonomic and ecological studies for *Hyaella*.

Keywords: Ecoregion, Population dynamics, Systematic review

1. INTRODUÇÃO

A compreensão da abundância, distribuição e dinâmica populacional de uma espécie, se dá pelo estudo da sua história de vida, estrutura e dinâmica populacional (Koffel *et al.*, 202). Os meios bióticos e abióticos exercem influência sobre estes aspectos (Carscadden *et al.*, 2020). Estes meios compõem as condições e recursos, ou seja, o nicho, que quando está disponível permite a existência/permanência de uma espécie (Thurman *et al.*, 2020).

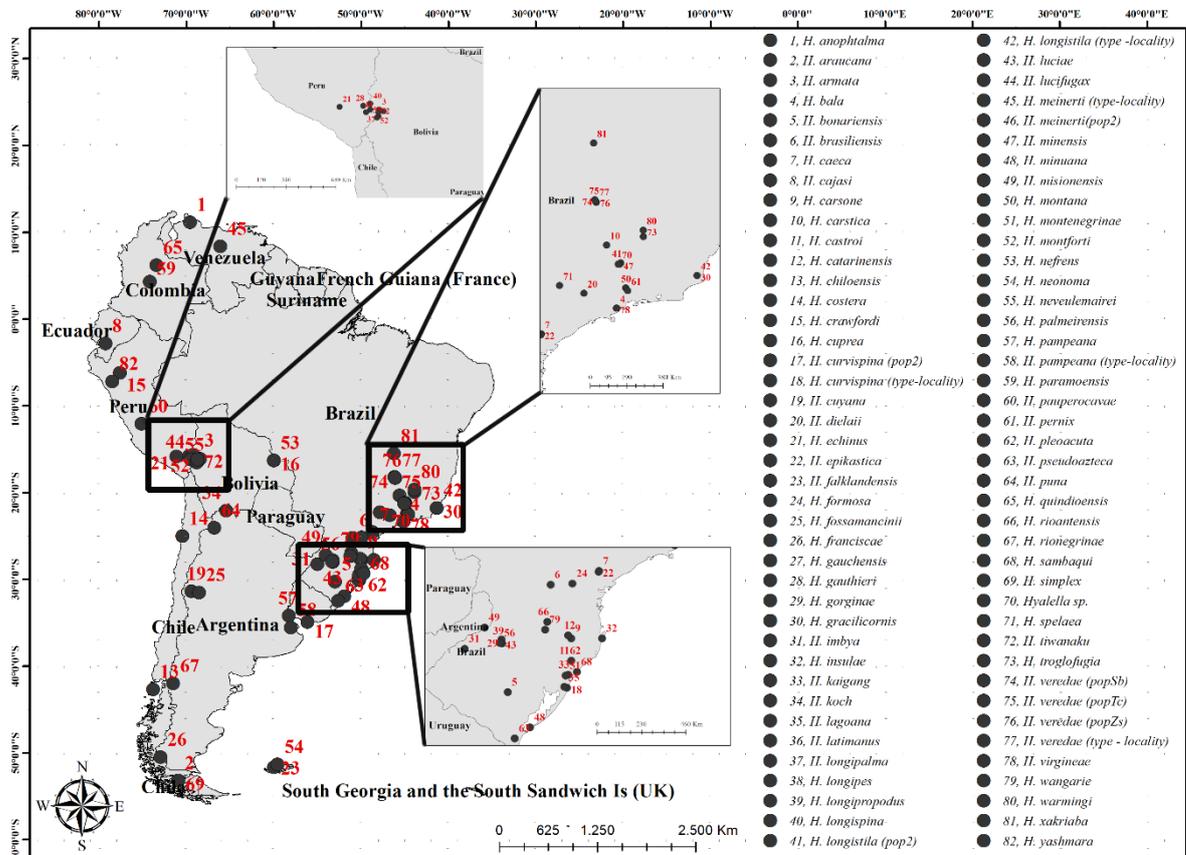
As condições que influenciam os organismos incluem, por exemplo, temperatura, altitude, longitude, condutividade e pH (Sainte-Marie, 1991; Carscadden *et al.*, 2020; Koffel *et al.*, 2021) Em um nível ótimo, essas condições permitem a sobrevivência, crescimento e a reprodução de um organismo (Thurman *et al.*, 2020). Em outras palavras, as condições ambientais afetam diretamente a população de uma espécie e a sua persistência ao longo do tempo. Além disso, os recursos também afetam aspectos populacionais e podem agir como limitantes na história de vida de uma população (Carscadden *et al.*, 2020). O alimento é um exemplo clássico de recurso, mas outros, como o oxigênio, também podem ser limitantes, especialmente para organismos aquáticos (Carscadden *et al.*, 2020). Portanto, o conhecimento dos fatores ambientais e dos recursos é fundamental para compreender e explicar mudanças em dinâmicas populacionais (Carscadden *et al.*, 2020; Thurman *et al.*, 2020; ; Koffel *et al.*, 2021).

Logo, cada espécie possui seu nível ótimo de condições e recursos, que garantem sua persistência ao longo do tempo (Carscadden *et al.*, 2020). O meio em que vivem, através das forças naturais de seleção, molda esses parâmetros, assegurando que as espécies com maior aptidão sobrevivam naquele ambiente (Carscadden *et al.*, 2020). Dessa forma, espécies que ocorrem em habitats, ambientes, biomas, ecorregiões, latitudes ou altitudes diferentes ou semelhantes podem apresentar padrões de vida e parâmetros similares ou distintos (Strong, 1972; March 1978; Cooper, 2014).

As *Hyalella* são crustáceos anfípodas límnicos, que tem importante função nas comunidades a qual pertencem, sendo importantes elos nas cadeias tróficas (Väinölä *et al.*, 2008; Moore, 1975). Suas espécies podem ser encontrados nos mais diversos ambientes quais? (Väinölä *et al.*, 2008). Nos últimos anos, um *grande número de espécies foram descobertas?*, tendo ao total 77 espécies conhecidas até o momento para a América do Sul (Cardoso *et al.*, 2011, 2014; Bastos – Pereira; Bueno, 2012; Rodrigues *et al.*, 2014; Marx *et*

al., 2017; Bastos-Pereira *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2020; Penoni *et al.*, 2021; Talhaferro *et al.*, 2021; Rangel *et al.*, 2022; Tomikawa *et al.*, 2023; Reis *et al.*, 2023). Contudo, há apenas 17 espécies com seus aspectos e suas dinâmicas populacionais conhecidas (Castiglioni; Bond-Buckup, 2008, 2009; Castiglioni ; Buckup, 2008; Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016a, 2016b; Borges, 2016; Castiglioni *et al.*, 2016, 2018; Ozga *et al.*, 2018; Penoni *et al.*, 2021).

As espécies de *Hyaella* ocorrem em diferentes ecorregiões da América do sul (Fig.1) (De Los Ríos; Morrone, Rivera, 2012; Torres, 2012; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016b; Ozga *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2023; Tomikawa *et al.*, 2023), variando de ambientes como cerrado brasileiro até mesmo a patagônia argentina e uruguaia (De Los Rios-Escarlate, 2012). Tais ecorregiões têm condições bióticas e abióticas intrínsecas que podem - ou não- apresentarem



similaridades.

Figura 1. Distribuição geográfica das populações de espécies de *Hyaella* na América do Sul. Algumas espécies ocorrem em várias localidades e são identificadas com "tipo de localidade" e "pop2" ou mais. Fonte: Do próprio autor (2023)

Os aspectos conhecidos para as *Hyalella* compreendem dados populacionais e de história de vida como aspectos reprodutivos, classes de tamanho, frequência de indivíduos, estrutura populacional, crescimento, densidade, recrutamento, razão sexual, fertilidade, maturidade sexual, dentre outros (Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008, 2009; Castiglioni ; Buckup, 2008; Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016a, 2016b; Castiglioni *et al.*, 2016, 2018; Ozga *et al.*, 2018). E todas apresentam semelhanças e diferenças associadas aos ambientes que vivem.

Partindo então desse pressuposto, o objetivo geral desta pesquisa é analisar de forma abrangente as dinâmicas populacionais, história de vida e aspectos reprodutivos conhecidos entre as espécies da América do sul de *Hyalella*, e a partir desta análise, obter: 1) Uma revisão dos dados disponíveis na literatura e destacando possíveis lacunas de conhecimento; 2) Um mapeamento das ecorregiões geográficas de ocorrência das diferentes espécies de *Hyalella*; 3) Compreender e pontuar as principais ameaças ao gênero, e principalmente, 4) A partir dos dados previamente publicados, realizar análise de espécies com ecologia conhecida. A partir disto, comparar quais variáveis bióticas ou abióticas têm maior influência sobre suas estratégias de vida, de acordo com a região do país e quais são semelhantes entre si.

Desta forma, a revisão irá buscar responder às seguintes hipóteses: A) As espécies que ocorrem no mesmo ecorregião têm suas dinâmicas populacionais e reprodutivas muito mais semelhantes do que aquelas que ocorrem em outras partes do país. Ou seja, seus padrões de recrutamento, épocas reprodutivas, razão sexual e entre outros, serão semelhantes se estiverem em um mesmo local como por exemplo, no Sul; B) As espécies de baixas latitudes são k-estrategistas, enquanto as de alta latitude são r- estrategistas; C) Embora ocorra em um ambiente bem peculiar, o subterrâneo, a espécie *H. veredae* terá sua dinâmica populacional semelhante às espécies de baixa latitude; D) Espécies que habitam ambientes relativamente estáveis ou com pouquíssima variação ao longo do ano, terão épocas reprodutivas contínuas e com pouca mudança; E) Os parâmetros populacionais das espécies de altas latitudes serão muito mais associadas à temperatura do que as de baixa, devido a maior amplitude térmica destes locais.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para selecionar os artigos foi o método Prisma, onde o checklist somado ao fluxograma (Fig. 2), determinaram a estruturação da revisão e os artigos eleitos (Galvão *et al.*, 2015).

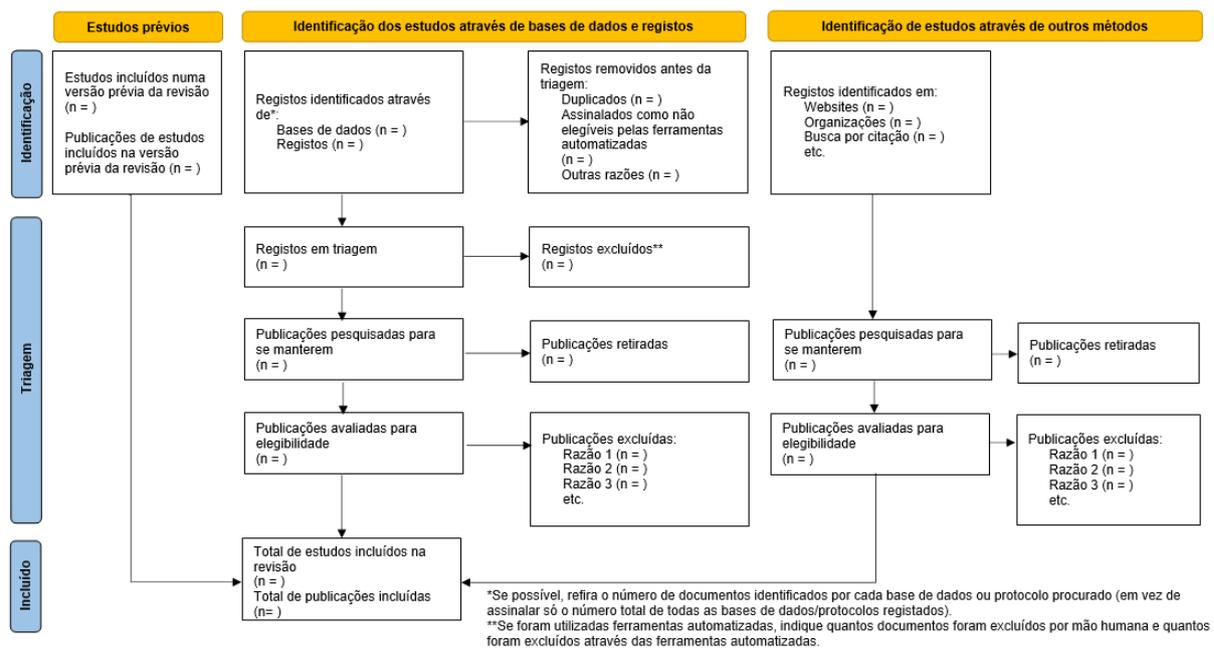


Figura 2. Prism 2020 FlowDiagram. Traduzido por: Verónica Abreu*, Sónia Gonçalves-Lopes*, José Luís Sousa* e Verónica Oliveira / *ESS Jean Piaget (Page *et al.*, 2020).

Embora os anfípodas do gênero *Hyaella* estejam distribuídos por todo o continente americano, esta revisão se concentra especificamente nos que ocorrem na América do Sul, devido à sua maior diversidade na região (Rogers *et al.*, 2020). Assim, apesar dos estudos abrangentes sobre a *Hyaella azteca*, este trabalho direciona sua atenção exclusivamente para o continente sul-americano a partir do primeiro tópico. Neste estudo, além da base de dados referente a espécies de *Hyaella* já estudadas, se insere também dados não publicados de três outras espécies: *Hyaella sp.* (nova espécie de Lavras - MG, com os dados detalhados no capítulo 3 desta tese); *Hyaella veredae* (Dados detalhados no capítulo 2 desta tese) e *Hyaella minensis* (Borges, 2017).

Os critérios de exclusão neste estudo foram aqueles artigos que usavam populações que já eram cultivadas a muito tempo em laboratório, ou que os dados eram exclusivos de cultivo *in situ*. A inclusão de dados ocorreu a partir de todos os artigos publicados que continham informações sobre a história de vida, dinâmica populacional ou aspectos reprodutivos das espécies de *Hyaella*, mesmo que tenha apenas citado alguns aspectos. Desta forma a equação de busca delimitada para esta revisão foi: (*Hyaella* OR Hyaellidae OR "freshwater-amphipod") AND (ecolog* OR populat* OR reproduct* OR "life history" OR ecotox* OR "biology" OR "natural environment") NOT ("bioassay" OR cultivat* OR "laboratory essay"). Também foi utilizada esta mesma equação em português, espanhol, e inglês para buscar os dados.

A *Web of science* foi a base escolhida para as buscas dos artigos, com a amplitude de artigos indo de 1975 a 2023. A busca ocorreu entre setembro de 2022 a setembro de 2023. Após a busca pelos artigos, os dados foram coletados das pesquisas selecionadas. A partir destes dados, comparações, análises e sínteses foram realizadas para avaliar os padrões de vida e os aspectos populacionais das espécies. Os dados abióticos, como temperatura média anual de pluviosidade anual, foram obtidos pelo instituto nacional de meteorologia (INMET) para as espécies que ocorrem no Brasil, enquanto as que ocorrem em outros países, os dados foram obtidos através dos artigos pesquisados.

Um mapa foi montado para obter as exatas ecorregiões terrestres e de água-doce que as espécies de *Hyaella* ocorrem. A confecção do mapa foi através do programa QGIS Versão 3.28, utilizando os *shapefiles* de The RESOLVE Ecoregions dataset, e Abell e colaboradores (2008).

2.1 Análises de dados

Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar como as espécies se distribuem em relação aos dados ambientais. A análise permitiu observar qual parâmetro abiótico tem mais influência sobre as espécies. Foram utilizados os parâmetros ambientais obtidos durante a coleta de dados. Um dendograma foi feito para verificar como estas espécies se separam/agrupam em relação às suas dinâmicas populacionais. Assim como a PCA, todos os dados possíveis obtidos em relação à dinâmica populacional e parâmetros ambientais, foram aplicados na construção do dendograma. As duas análises de dados foram feitas através do programa R, versão 4.3.2.

3. OS DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA

Ao total 431 artigos foram levantados, porém, apenas 113 artigos foram eleitos a partir do método prisma. Este número se divide em artigos de descrição, ecologia e a grande maioria de ensaios de toxicidade. Dentre os 318 artigos restantes, muitos foram descartados por serem replicatas ou por outros motivos, os quais serão explicados nos próximos parágrafos.

Uma grande problemática encontrada nos artigos, foi a falta de clareza da origem das populações estudadas, que foi um critério importante para esta revisão. Diversas vezes, foi impossível determinar, a partir dos dados fornecidos, a origem das populações de *Hyaella* utilizadas nos estudos, por não ser deixado claro na metodologia e, exatamente por este motivo, uma grande parcela dos artigos foram excluídos.

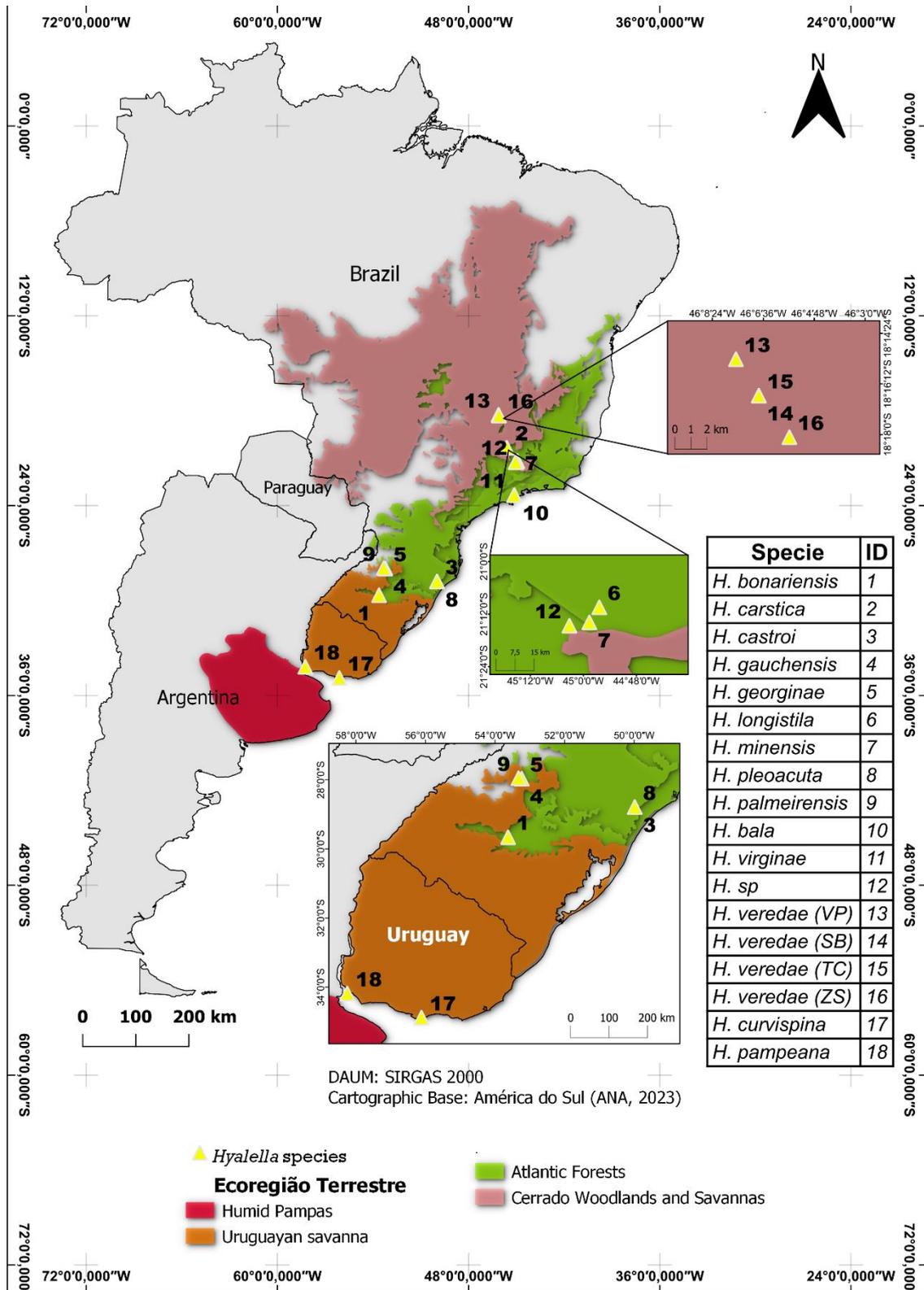
Além disso, do total de artigos eleitos, uma grande porcentagem envolve uma espécie em específico, inserida na porção norte do continente americano, a *Hyaella azteca* (Saussure, 1858). A *H. azteca* foi descrita em Vera Cruz, México, e é amplamente estudada. Desde 1965 até 2023, diversas pesquisas foram dedicadas ao estudo de sua ecologia. No entanto, pelo menos desde 1998, alguns autores sugerem que, na verdade, existem mais de um ecótipo de *H. azteca* (Hogg *et al.*, 1998; Wellborn, 2000; Witt ; Hebert, 2000; Wellborn ; Cothran, 2005; Major *et al.*, 2013; Soucek *et al.*, 2013), erroneamente identificados como uma única espécie.

Posteriormente na revisão, destacaremos a importância do gênero como organismo de teste para toxicidade e bioindicador, características atribuídas a esses organismos. Também discutiremos como erros na identificação de espécies podem distorcer conclusões relacionadas a essas características. (Derby *et al.*, 2022). Desde 1998, se mantém a problemática em relação a *H. azteca*, que é, a espécie de *Hyaella* mais utilizada para estudos de toxicidade. depor tratar-se de um “complexo de espécie” ou “complexo azteca” estudos genéticos e ecológicos podem demonstrar diferenças em seus resultados (Wellborn *et al.*, 2004, 2005). Inclusive, muitos dos artigos dentre estes 113, se não abordam a *H. azteca*, tratam de espécies inseridas em seu complexo (Weston *et al.*, 2013).

Em relação aos estudos ecológicos das espécies da América do sul, 35 pesquisas abordam diferentes aspectos de suas histórias de vida, desde informações mais superficiais relacionadas ao bioma, habitat ou tamanho, até a totalidade ecológica (Castiglioni *et al.*, 2008a, 2008b; 2009, 2020; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Talhaferro *et al.*, 2021a). Entre esses artigos, um se destaca por não apenas tratar da descrição das espécies, mas também por fornecer informações sobre aspectos populacionais das espécies *H. bala* e *H.*

virgineae (Penoni *et al.*, 2021). Ao apresentar observações pontuais sobre a biologia populacional, esse artigo se sobressai em relação aos demais no mesmo campo. Ao adicionar dados que podem auxiliar na conservação e preservação das espécies, além de identificar uma lacuna de estudo relacionada à coexistência dessas espécies e seus aspectos populacionais (Penoni *et al.*, 2021).

Outros artigos de descrição, que acabaram sendo excluídos pelos critérios selecionados, pela falta de informações ecológicas. Embora a taxonomia seja essencial, acrescentar - mesmo que poucos - pontos de ecologia, como o caso de Penoni e colaboradores, 2021, já é de grande avanço para adicionar conhecimento para o gênero,

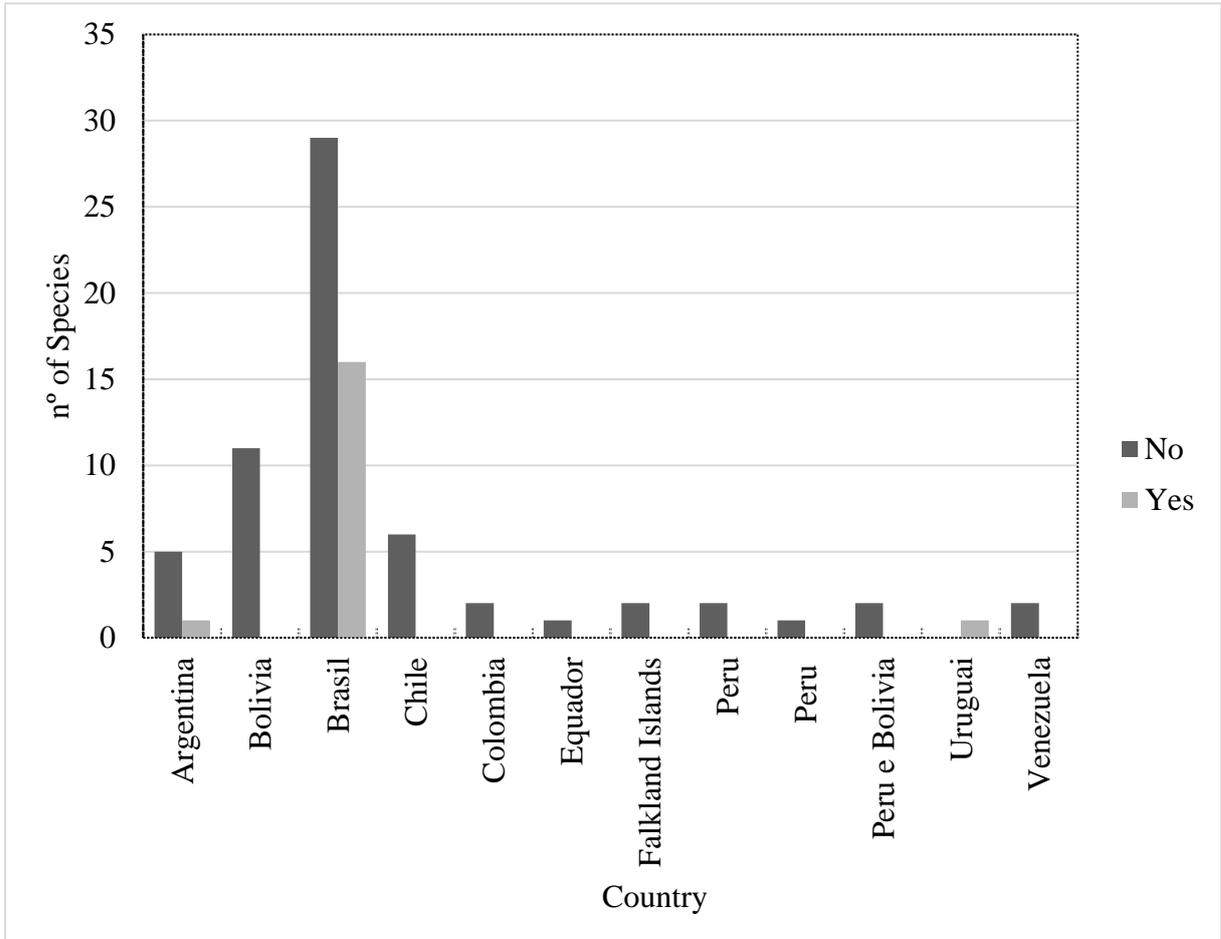


principalmente em relação ao seu habitat e conservação.

Figura 3. Mapa das espécies de *Hyaella* com sua ecologia conhecida, separada por ecorregiões terrestres. Mapa: Guimarães, J. P. B. (2023)

Ao todo, temos 77 espécies descritas, ocorrendo nas mais variadas ecorregiões e espalhados por uma grande parte da América do sul (Fig. 1). Destas, apenas 13 tem algum dos seus aspectos estudados, e são elas *Hyaella curvispina*, *H. castroi*, *H. minensis*, *H. carstica*, *H. longistila*, *H. bala*, *H. virgineae*, *H. pleoacuta*, *H. georginae*, *H. gauchensis*, *H. bonariensis*, *H. pampeana* e *H. palmeirensis* (Fig. 2). Com exceção da *H. curvispina* e *H. pampeana*, todos os outros estudos foram desenvolvidos dentro do Brasil (Fig. 3) (Castiglioni *et al.*, 2008a, 2008b, 2009, 2015; Ozga *et al.*, 2017, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Werdi, 2020; Talhaferro *et al.*, 2021a).

O Brasil, é o país que possui a maior diversidade destas espécies, possivelmente relacionado ao investimento de pesquisadores focados na área, favorecendo que o país tenha, o maior número de estudos populacionais (Fig 4). Contudo é necessário salientar a



necessidade destes estudos em outros países, que unicamente tem a descrição destas espécies e nada além disso, como é o caso da maior porção da diversidade de *Hyalella* conhecidas.

Figura 4. Número absoluto de espécies com ecologia documentada por país da América do Sul. Fonte: Do próprio autor (2023)

Até 2023, apenas 17% de todas as espécies sul-americanas descritas detém algum dos seus aspectos populacionais conhecidos. Uma das grandes deficiências que afetam o conhecimento acerca da diversidade, é exatamente a falta de estudos populacionais (Hortal *et al.*, 2015). Essa lacuna de conhecimento causa danos severos como a dificuldade, por exemplo, de inseri-la em uma lista de espécies ameaçadas como a IUCN, que necessita destes parâmetros (Cazalis *et al.*, 2022). Horta e colaboradores, 2015, argumentam que a ausência de dados além do nome da espécie pode impactar diretamente em estimativas, por exemplo, de populações mínimas viáveis ou levar a erros de estudos demográficos.

Ainda é de se surpreender que, mesmo que o continente sul-americano contenha a maior biodiversidade para o gênero *Hyaella* (Talhaferro *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2023) o número de estudos populacionais seja tão baixo, sendo inexistente em alguns países. A presença dessa lacuna de conhecimento, evita que grandes perguntas sejam exploradas e compreendidas (Horta *et al.*, 2015), como os mistérios que envolvem a dispersão, colonização e estabilização de uma nova população de *Hyaella* (Wellborn ; Caps, 2013). Além dos outros pontos citados aqui, estes organismos também podem ser grandes ferramentas para entender os impactos toxicológicos, sendo utilizados como bioindicadores (Graça *et al.*, 2002).

A época em que vivemos, o antropoceno, urge o conhecimento populacional dentro do gênero. As mudanças climáticas impactam os ambientes, alterando padrões bióticos e abióticos, que por consequência, afetam na sobrevivência das espécies (Dehdashti, 1991, France, 1992; Panov, 1998; Madsen *et al.*, 2015; Fulton *et al.*, 2021). Sendo importantes elos na cadeia trófica, as *Hyaella*, necessitam ser protegidas e para isso precisam ser estudadas e compreendidas. Como será explorado ao longo desta revisão, estes organismos estão nas mais diversas ecorregiões e estão expostas as mais diversas condições, qualquer alteração de seu meio, podem acarretar sua extinção.

4. O GÊNERO *Hyaella*, O CONHECIMENTO ENTORNO DO GÊNERO E AS ESPÉCIES SUL-AMERICANAS

4.1 Aspectos populacionais e reprodutivos em *Hyaella*

Como Já citado anteriormente, o gênero *Hyaella* ocorre em uma miríade de ambientes de água-doce; seja na coluna d'água, no sedimento de fundo ou aderido a macrófitas (Kruschwiyz, 1978; Wellborn, 1995; Bastos-pereira ; Bueno, 2016^a ou b; Talhaferro *et al.*, 2021). Devido a isto, os seus aspectos de vida são influenciados pelas características ambientais, baseado nas condições e recursos disponíveis (Strong, 1972; Wellborn *et al.*, 2005a) assim como outras forças de seleção, como por exemplo a seleção sexual (Goos *et al.*, 2005).

O seu ciclo reprodutivo, se inicia quando os indivíduos atingem a maturidade sexual, evidenciada pelo dimorfismo sexual, como o aumento do segundo par de gnatópodo nos machos. Já nas fêmeas, os pares de gnatópodos têm tamanhos semelhantes, contudo ocorre o desenvolvimento dos ovários e marsúpio, responsáveis pela produção e armazenamento dos ovos (Kruschwitz, 1978)

Após o amadurecimento sexual, o comportamento reprodutivo se inicia pela pré-cópula, onde o macho agarra a fêmea e se prende - com o primeiro par de gnatópodo - na fêmea. Durante este período, ele carrega sua parceria até ocorrer a muda da fêmea, e assim o macho pode realizar a transferência de gametas para a fertilização (Thiel, 1999). Ao ocorrer a fertilização, o macho solta e a fêmea carrega os ovos até o desenvolvimento completo da prole e uma nova muda ocorre (Cooper, 1965; Väinölä *et al.*, 2008). Os juvenis liberados pela fêmea, possuem o desenvolvimento direto, são exatamente iguais aos adultos, com exceção da ausência dos caracteres sexuais (Cooper, 1965; Thiel, 1999)

O comportamento reprodutivo em estudos ecológicos é denominado sucesso de pareamento, no qual os machos competem entre si pela busca e obtenção de uma fêmea, evitando predadores durante esse processo (Wellborn *et al.*, 2005b; Castiglioni; Bond - Buckup, 2008). Essa dinâmica resulta na seleção sexual, exercendo uma influência direta sobre o tamanho máximo alcançado pelos indivíduos, assim como de outras estruturas - *i. e* gnatópodo -, especialmente os machos (Wellborn *et al.*, 2005b; Goos *et al.*, 2016).

No caso das fêmeas, o tamanho que alcançam está frequentemente associado à capacidade de carregar ovos, refletindo sua fertilidade (Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008a). O esforço reprodutivo das fêmeas, dedicado a produção de ovos, está intimamente ligado à alocação de energia para a reprodução, exercendo assim um impacto no tamanho dessas fêmeas (Moore, 1996; Castiglioni; Bond-Buckup, 2009; Goos *et al.*, 2016).

O comportamento reprodutivo em *Hyaella* é fortemente influenciado pelo ambiente, em especial a temperatura, e pelos recursos disponíveis, como foi demonstrado em diversos estudos (Wellborn, 1994; Oberlin *et al.*, 1997; Panov, 1998; Madsen *et al.*, 2015). Este contexto conduz as espécies a adotarem duas estratégias reprodutivas diferentes. As anuais, ocorrendo durante períodos considerados ambientalmente favoráveis, denominados univoltinas (Sainte-Marie, 1991). Em contrapartida, em ambientes mais estáveis, as espécies podem reproduzir-se ao longo de todo o ano, sendo caracterizadas como multivoltinas (Sainte-Maire, 1991; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016).

A temporalidade do ciclo de vida, juntamente com os períodos reprodutivos, representa estratégias cruciais para a reprodução e sobrevivência populacional (Wellborn, 1995; Carscadden *et al.*, 2020). As espécies que adotam ciclos de vida mais curtos tendem a ser semélparas, ou seja, realizam uma única reprodução ao longo de suas vidas. Por outro lado, aquelas com maior longevidade são frequentemente iteróparas, reproduzindo-se várias vezes ao longo de suas vidas (Hughes, 2017). Ambos os padrões são encontrados para as

Hyalella (Wellbon, 1995b; Wellborn *et al.*, 2005 Castiglioni ; Bond - Backup, 2008b; Ozga *et al.*, 2018).

Em *Hyalella*, para ter acesso a todos esses conhecimentos acerca da reprodução, os estudos abrangem diversos aspectos reprodutivos (Castiglioni ; Bond-Backup, 2008a, 2008b; 2015; Ozga *et al.*, 2018). Os dados sobre maturidade sexual, fecundidade, produção/volume de ovos em relação ao tamanho corporal, pareamento e tamanho corporal, entre outros, compõem estes aspectos (Ozga *et al.*, 2018). Essa abordagem reflete na interconexão direta entre os dados populacionais e reprodutivos, pois envolve a avaliação de picos de recrutamento, dimensões corporais de machos, fêmeas e juvenis, razão sexual, classes de tamanho, épocas reprodutivas e estrutura etária populacional (Castiglioni ; Bond Backup, 2008a, 2008b; 2015). Não é possível dissociar um aspecto do outro. Essencialmente, o traço mais básico utilizado nas pesquisas para acessar essas informações, é o tamanho corporal e estrutura corporal, os demais acabam sendo relacionados a ele, a partir dele é possível avaliar diversos trade-offs relacionados a aspectos populacionais e reprodutivos (Cooper, 1965, Castiglioni ; Bond-Backup, 2008a, 2008b; 2015; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Waller ; Werde, 2020).

Portanto, ao estudar a população desses organismos, é imperativo ter conhecimento de suas características reprodutivas, além das corporais, pois permite aos pesquisadores realizar suposições sobre a dinâmica populacional, e até mesmo a história de vida a partir destes dados (Singh, 2024). Destes dados saem conclusões sobre taxas de migração, nascimento, mortalidade, flutuações populacionais, específicos das espécies em relação ao seu habitat, dentre outros (Singh, 2024).

É importante ressaltar, que todo este passo - passo de estudo populacional em *Hyalella* realizado pelos pesquisadores, se correlacionam a variáveis abióticas e relações inter e intra-específicas (Cooper, 1965, Wellborn *et al.*, 2002; 2004; 2005; Castiglioni; Bond-Backup, 2008a?, 2008b; 2015;). Tais dados, permitem fazer inferências maiores ainda, como hipóteses relacionadas ao endemismo, raridade, diferenças morfológicas e fisiológicas das espécies (Cooper, 1965).

Por fim, todo este conhecimento gerado pelas pesquisas populacionais com o gênero, permitiu que ele fosse utilizado como bioindicadores e organismos - modelo para ensaios de toxicidade (Cooper, 1965; Graça, 2002; Jergentz, 2004). Devido ao fato de: A) os dados

populacionais abrangem os “*endpoints*” (ou pontos de análise) mais utilizados nos estudos que envolvem pesquisas nestes temas. B) Diversas pesquisas, principalmente com *Hyalella azteca*, demonstraram que o gênero é sensível a mudanças ambientais advindas da presença de poluentes (Cooper, 1965; Graça, 2002; Jergentz, 2004).

4.2 Espécies de *Hyalella* com ecologia conhecida em relação a ecorregião e possíveis ameaças

No tópico anterior, discutiu-se sobre os dados necessários para se obter conhecimento sobre a reprodução, estrutura populacional e história de vida destes organismos. Neste, iremos aprofundar sobre cada parâmetro que envolve a história de vida e aspectos populacionais das espécies que têm estes dados conhecidos, relacionado às ecorregiões que estes ocorrem. Partindo de quais espécies estão inseridas em quais ecorregiões e como são as características destes locais.

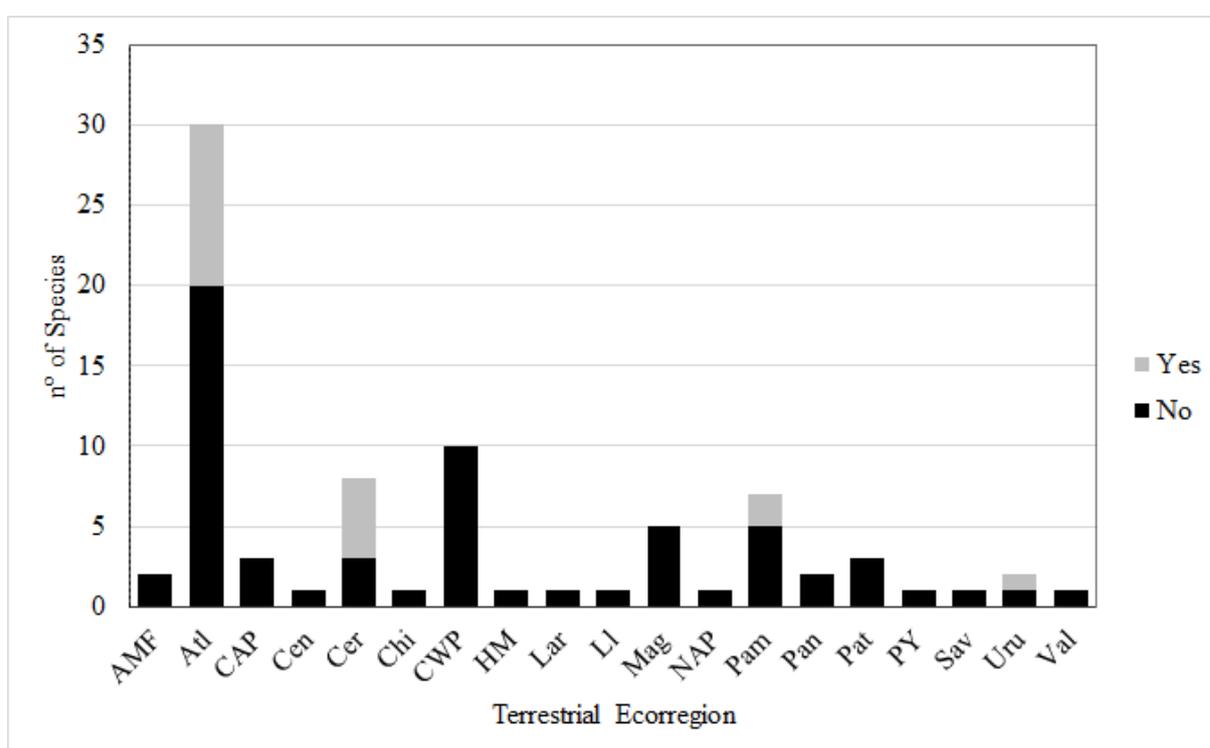


Figura 5. Número absoluto de espécies de *Hyalella* por ecorregião terrestre da América do Sul, categorizados pelo conhecimento (Yes) ou não (No), de sua ecologia. Legenda: AMF: Floresta de Araucária; Atl - Floresta Atlântica; Cer - Cerrado; Chi - Matorral Chileno; CWP - Puna Úmida Andina Central; HM - Monte Alto; Lar - Floresta Lara - Fálcon ; Ll - Llanos; Mag - Floresta subpolar Magellanica; NAP - Parámo Andino Norte; Pam - Pampas; Pan -

Pantanal; PY - Yungas peruvianas; Sav - Savannah; Uru - Savana Uruguaiana; VAI - Floresta Temperada Valdivian. Fonte: Do próprio Autor (2023)

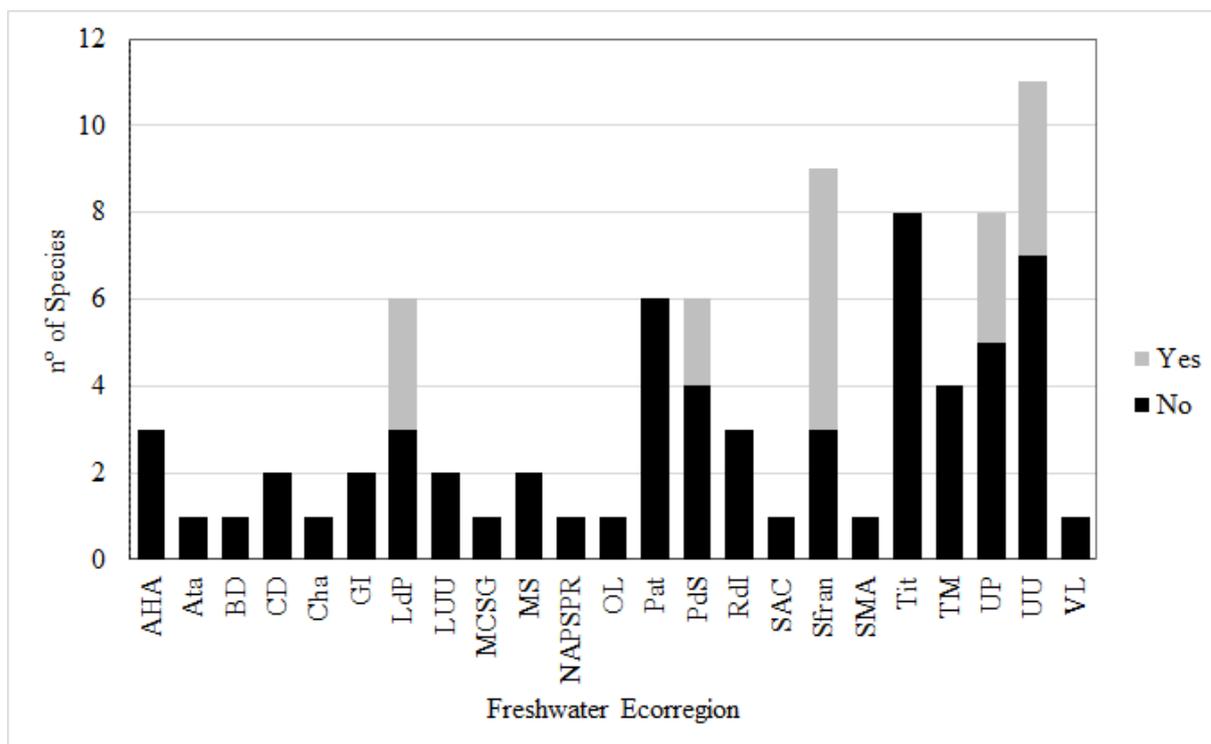


Figura 6. Número absoluto de espécies de *Hyalella* por ecorregião de água-doce da América do Sul, categorizados pelo conhecimento (Yes) ou não (No), de sua ecologia. Legenda: AHA - Altos Andes Amazônicos; Ata - Atacama; BD - Drenagens Bonaerenses; CD - Cuyan - Desaguadero; Cha - Chaco; GI - Guapore - Itenez; LdP- Laguna dos Patos; LUU - Baixo Uruguai; MCSG - Mar Chiquita–Salinas Grandes; MS - Magdalena Sinu; NAPSPR - Encosta Norte Andina do Pacífico – Rio Atrato; OL - Orinoco Llanos; Pat - Patagonia - PdS - Paraíba do Sul; RdI - Ribeira do Iguape; SAC - Caribe Sul - Americano; Sfran - São francisco; SMA - Sudeste da Mata Atlântica ; Tit - Lago Titicaca; TM - Tramandaí- Mampituba; UP - Alto Paraná; UU - Alto Uruguai; VL - Lagos Valdivianos. Fonte: Do proprio Autor (2023).

Ao todo, as espécies de *Hyalella* ocorrem em 17 ecorregiões terrestres distintas e distribuídas em 24 ecorregiões límnicas (Fig 5 e 6), ao longo de toda a América do Sul (Abell *et al.*, 2008; Dinerstein *et al.*, 2017). As ecorregiões terrestres com maior biodiversidade de *Hyalella* são a floresta atlântica, seguindo pelo “Central Andean Wet Puna”, “Pampas” e “Cerrado” (Fig 5). Consequentemente, as espécies da floresta atlântica são as mais estudadas, seguido pelas espécies do cerrado, pampas e a savana uruguaiana. Ou seja, embora as espécies ocorram em 15 biomas distintos, apenas as espécies de quatro biomas foram estudadas com

enfoque ecológico?, e não apenas taxonômicos. Não chega a 30% de biomas estudados. É importante destacar, que a maior parte destes estudos populacionais ou de história de vida estão inseridos dentro do Brasil e mais especificamente na Região Sul (Fig. 3).

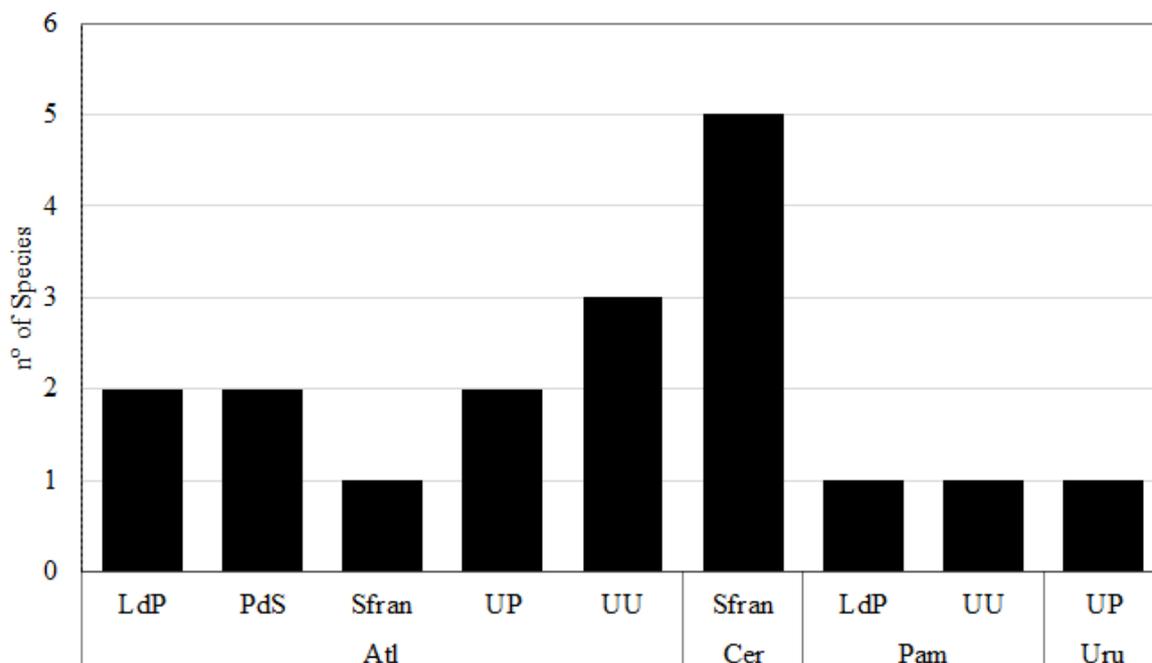


Figura 7. Número absoluto de espécies de *Hyalella* por ecoregião terrestre e de água doce com a ecologia conhecida da América do Sul?. Legenda: Atl - Floresta Atlântica; Cer - Cerrado; Pam - Pampas; Uru - Savannah Uruguaiana; LdP - Laguna dos Patos; PdS - Paraíba do Sul; UP - Alto Paraná; UU - Alto Uruguai; Sfran - São Francisco; Pat - Patagonia. Fonte: Do próprio Autor (2023).

A Mata Atlântica é conhecida como um dos maiores hotspots de diversidade do mundo (Marques *et al.*, 2021), e notavelmente, é o bioma com o maior número de espécies conhecidas para o gênero (González *et al.*, 2006; Bastos-Pereira ; Bueno, 2013; Cardoso *et al.*, 2014; Penoni *et al.*, 2021; Talhaferro *et al.*, 2021). Exceto a espécie *Hyalella bonariensis*, que é amplamente distribuída pelo sul do Brasil, *H. longistila*, *H. castroi*, *H. pleoacuta* e *H. pampeana* que ocorrem em pelo menos duas localidades dentro do bioma (Gonzalez ; Watling, 2002; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016; Talhaferro *et al.*, 2021), todas as outras são conhecidas apenas pela sua localidade – tipo, como a *H. minensis* e *Hyalella sp.* (Bastos-Pereira ; Bueno, 2012; Borges ; Bueno, in prep – Artigo 3). Ou seja, tendo um alto número de espécies endêmicas ao bioma. A *H. bonariensis* é a única espécie do gênero ocorrendo em dois biomas, a Mata Atlântica e Pampas (Talhaferro *et al.*, 2021). Importante pontuar que a

Hyalella longistila tem duas populações ocorrendo em localidades muito distantes (Bastos – Pereira ; Bueno, 2012), sendo uma encontrada em Minas Gerais, e utilizada nos estudos de Bastos-Pereira e Bueno, 2016, e a outra, encontrada no Rio de Janeiro (González ; Watling, 2003; Bastos-Pereira ; Bueno, 2012). Essa ocorrência põe luz em uma lacuna de conhecimento sobre as *Hyalella*, sua dispersão. O conhecimento sobre a dispersão do gênero é pouco conhecido. Discute-se que possivelmente que a capacidade de dispersão é restrita a pequenas distâncias, seja por arrasto de água ou então por uma “foresia” com vertebrados (Wellborn, 2013). Por este motivo, há tantas espécies endêmicas, e também, o novo local da *H. longistila* merece uma atenção especial, causando questionamento interessante: Afinal, como esta espécie se dispersou por uma distância tão longa?

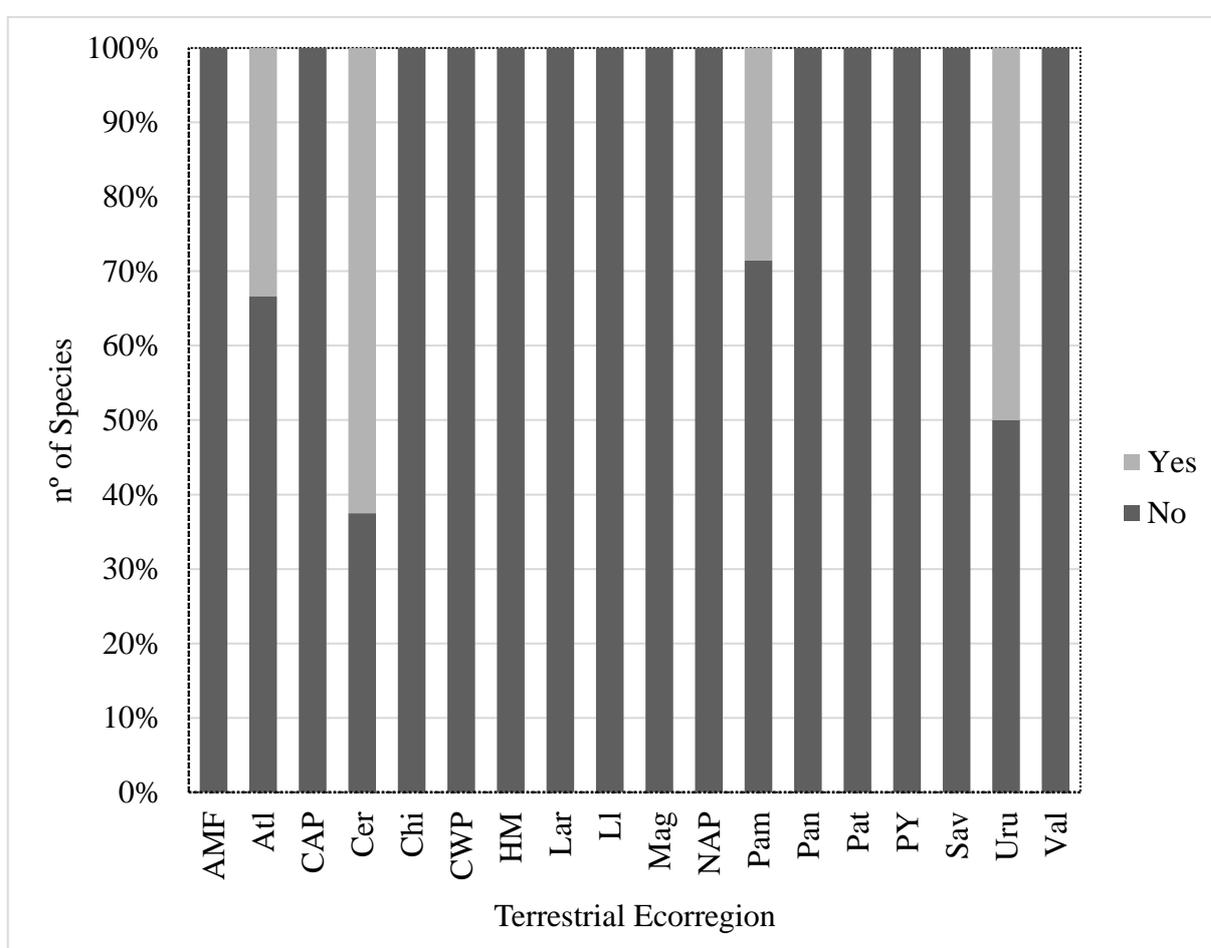


Figura 8. Número relativo (%) de espécies de *Hyalella* por ecoregião terrestre. Legenda: AMF: Floresta de Araucária; Atl - Floresta Atlântica; Cer - Cerrado; Chi - Matorral Chileno; CWP - Puna Úmida Andina Central; HM - Monte Alto; Lar - Floresta Lara - Fálcon; Ll - Llanos; Mag - Floresta subpolar Magellanica; NAP - Parámo Andino Norte; Pam - Pampas;

Pan - Pantanal; PY - Yungas peruvianas; Sav - Savannah; Uru - Savana Uruguaiana; VAl - Floresta Temperada Valdivian. Fonte: Do proprio Autor (2023).

A Mata Atlântica é um dos biomas mais degradados e com a menor área de extensão atual, da América do Sul (Galetti *et al.*, 2021). Tendo sua área constantemente destruída desde a colonização (Carlucci *et al.*, 2021). Existem diversas ameaças constantes ao bioma, como uso da terra por monoculturas por exemplo (Lira *et al.*, 2021), ameaçando toda a integridade do bioma e obviamente sua fauna. É neste bioma, tão ameaçado, que se encontra a maior diversidade de espécies de *Hyaella* e com o menor número de estudos proporcionais em relação à ecologia (Fig. 5 e 8) (Pereira, 1989, 2004; Gonzalez *et al.*, 2003; Bastos- Pereira ; Bueno, 2012; Bastos- Pereira ; Bueno, 2013; Cardoso *et al.* ., 2014; Rodrigues *et al.*, 2014; 2017; Bastos- Pereira *et al.*, 2018; Limberger *et al.*, 2021; 2022; Talhaferro *et al.*, 2021; Penoni *et al.*, 2021;Rangel *et al.*, 2022). O conhecimento gerado por estes estudos populacionais, podem ser ferramentas essenciais para a manutenção da sobrevivência destas espécies, mediante aos riscos e impactos que estes organismos, possivelmente vem sofrendo (Singh, 2024).

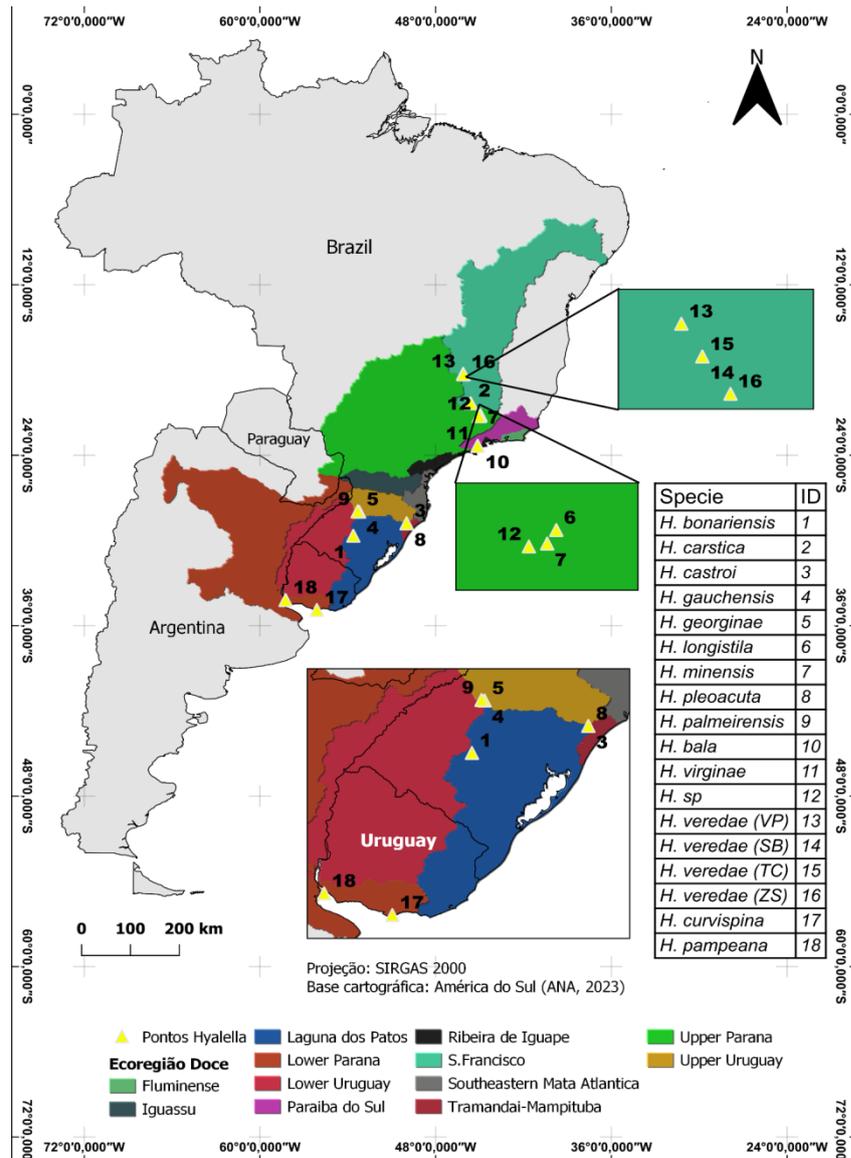


Figura 9. Mapa das espécies de *Hyalella* com sua ecologia conhecida, separada por ecorregião límnic. Mapa: Guimarães, J. P. B. (2023)

A segunda ecorregião com maior estudo populacional em *Hyalella* é o cerrado brasileiro, também considerado *hotspot* (Fig. 3, 4). Porém, proporcionalmente ao número de espécies conhecidas, é a região com maior conhecimento de ecologia das espécies (Fig. 8). As espécies estudadas são: *H. carstica*, *H. veredae* – os dados populacionais estão inseridos no capítulo 2 desta tese – com suas três populações (Torres *et al.*, 2015; Borges, 2020).

Diferentemente da maior parte das espécies, a *H. veredae* é uma das poucas que tem mais de uma população (Zepon *et al.*, 2021) e além disso é um dos poucos representantes cavernícolas do gênero. A *H. veredae* é a primeira espécie troglóbia do gênero a ter seus aspectos populacionais estudados. As populações estudadas estão inseridas na mesma ecorregião terrestre X, também está na ecorregião de água-doce, a bacia do São Francisco (Fig. 2, 7 e 9). A dinâmica hídrica destas ecorregiões, levam a ter um período de seca mais severa, que pode acarretar na interrupção do fluxo de água. Essa dinâmica, influencia a ecologia das populações que ocorrem no Bioma, como veremos em próximos tópicos (Torres *et al.*, 2015).

O cerrado, a savana brasileira, sofre com a degradação. Principalmente se tratando dos recursos hídricos, já que grande parte é utilizado para o consumo da população assim como pelo agronegócio (Latrubesse *et al.*, 2020). A existência de barragens em rios altera totalmente a dinâmica fluvial e isso, para organismos aquáticos, pode levar a consequências sérias (Ferreira *et al.*, 2022; Junk *et al.*, 2022). Quase todas as ecorregiões de água-doce do bioma, ou possuem barragens em funcionamento ou então tem planos para sua implementação (Ferreira *et al.*, 2022).

A interferência nos cursos dos rios pode ter impactos significativos na dinâmica populacional de várias espécies, como prolongar períodos de seca e até mesmo levar à extinção de espécies não adaptadas (Alho, 2020; Ferreira *et al.*, 2022). Além do barramento dos rios, as mudanças climáticas também contribuem para a perturbação da dinâmica natural destes bioma (Rodrigues *et al.*, 2020). A sazonalidade do cerrado desempenha um papel crucial para espécies como *H. carstica* (Torres *et al.*, 2015), e qualquer alteração nesse padrão afetará diretamente o ciclo reprodutivo dessas espécies.

A savana uruguaia, também apresenta os mesmos impactos do cerrado (Fearnside, 2001). Neste bioma está inserido um outro problema taxonômico do gênero *Hyaella*, o complexo “curvispina”. E é nele que está inserida a segunda maior contribuição proporcional número de espécies conhecidas vs. Estudos ecológicos (Fig. 8). O complexo “curvispina” tem muitas semelhanças ao “azteca”, possui diversas populações atribuídas à mesma espécie e a ampla utilização em ensaios de toxicidade (Graça *et al.*, 2002; Giusto *et al.*, 2014; Waller *et al.*, 2020; 2022).

Embora os dados populacionais sejam excelentes para avaliar estes impactos e criar formas de proteção à espécie, o fato de existir um complexo de espécies pode levar a conclusões errôneas em outras populações. São populações com características ecológicas e genéticas diferentes, que tem respostas diferentes (Waller *et al.*, 2020; Derby *et al.*, 2022), e basear-se em uma para todas pode causar falsas conclusões.

O último bioma com a presença de estudos ecológicos, e com a ocorrência de muitas espécies, é o Pampa (Fig. 3 e 8). O bioma é único, tendo características muito peculiares (Rubert *et al.*, 2022). As espécies com ecologia estudada neste bioma são: *H. pampeana* e *H. palmeirensis* (Colla ; Cesar, 2019; Talhaferro *et al.*, 2021; Castiglioni *et al.*, 2020), porém no caso da *H. pampeana*, apenas para a população que ocorre na Ilha de San Martín, Argentina (Colla ; Cesar, 2019). As espécies ocorrem em regiões de água doce diferentes, Laguna dos Patos e Alto Uruguai, contudo sofrem de impactos semelhantes, como captação de água para uso urbano, agricultura e lixiviação de pesticidas (Bueno *et al.*, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Marx ; Castiglioni, 2020).

5. ECOLOGIA POPULACIONAL DAS *Hyaella* SUL-AMERICANAS

Dos 113 artigos eleitos para esta pesquisa, em torno de 57% falam da ecologia populacional de espécies sul-americanas. No entanto, com uma pesquisa refinada nesses 57%, os que tratam unicamente de aspectos populacionais e/ou reprodutivos, e não de ensaios de toxicologia, são apenas 13. Proporcionalmente são apenas 18% do total, sendo uma parcela pequena quando comparado ao todo. Os ensaios toxicológicos, são focados quase que exclusivamente em uma única espécie, a *Hyaella curvispina* (Graça *et al.*, 2002; Jergentz *et al.*, 2004; Garcia *et al.*, 2010, 2012; Dutra *et al.*, 2011; Negro, *et al.*, 2013; ; Anguiano *et al.*, 2014; 2017).

5.1 Tamanho

As espécies que estão inseridas neste pequeno grupo, de estudos populacionais são: *H. bonariensis* Bond-Buckup, Araújo ; Santos, 2008; *Hyaella bala* Penoni ; Bueno, 2021; *H. carstica* Bastos-Pereira ; Bueno, 2012; *H. curvispina* Shoemaker, 1942; *H. georginae* Streck ; Castiglioni, 2017, *H. gauchensis* Streck ; Castiglioni, 2017; *H. longistila* (Faxon, 1876); *H. minensis* Bastos-Pereira ; Bueno, 2013; *Hyaella pampeana* Cavalieri, 1968; *H. palmeirensis* Streck-Marx ; Castiglioni, 2019; *Hyaella virgineae* Lares, Penoni ; Bueno; 2021, *H. veredae* Cardoso ; Bueno, 2014; *Hyaella sp.*; as simpátricas *H. castroi* Bond-Buckup, Araujo ;

Santos, 2008 e *H. pleoacuta* Bond-Buckup, Araujo ; Santos, 2008 (Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3; Torres *et al.*, 2015; Bastos - Pereira ; Bueno, 2016a?, 2016b; Castiglioni *et al.*, 2007, 2008a; 2008b, 2009; 2015, 2020; Ozga ; Castiglioni, 2017, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Werdi, 2020; Penoni *et al.*, 2021). Elas estão distribuídas pelo Brasil (onde grande parte dos estudos foram realizados), Argentina e Uruguai.

Algo comum em *Hyaella*, são os machos serem maiores que as fêmeas (Cooper, 1965; Cothran ; Wellborn, 2004). Este padrão é encontrado, tanto para as espécies do hemisfério Norte, quanto as do Sul (Cothran ; Wellborn, 2004; Wellborn ; Bartholf, 2005; Bastos -Pereira ; Bueno, 2016; Castiglioni *et al.*, 2008b; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019). Os autores dos trabalhos associam o tamanho ao papel reprodutivo exercido por cada um dos gêneros. Os machos, além de carregarem a fêmea por todo comportamento de pré-cópula, ainda precisam disputar por elas com outros machos, o que favorece tamanhos maiores. Já as fêmeas, após sua maturidade sexual, alocam os recursos para produção e incubação dos ovos, o que levaria a tamanhos menores (Thiel, 1999)

As espécies inseridas em mesmas ecorregiões, tendem a exibir tamanhos corporais semelhantes (Fig. 3 a 9). A *H. georginae* atinge maiores tamanhos, com indivíduos chegando a 1.61mm de tamanho, seguido pela *H. castroi*, *H. curvispina*, *H. gauchensis*, e *H. pleoacuta* (Castiglioni *et al.*, 2008; Ozga; Castiglioni, 2017; Waller ; Werdi, 2020) e todas ocorrem entre os Pampas e a Mata-Atlântica. Estudos com *H. azteca* indicam que o tamanho corporal pode ser influenciado por fatores bióticos e abióticos, como a presença de predadores, disponibilidade de recursos e temperatura (Wellborn, 1994; Panov, 1998; Wellborn; Broughton, 2008). Comparativamente às outras espécies, essas estão presentes em áreas caracterizadas por temperaturas mais baixas registradas (Tabela 2).

Enquanto isso, as outras espécies atingem tamanhos menores, como demonstra a tabela 1 (Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira; Bueno, 2016; Borges, 2016; 2020). As espécies estão divididas entre a Mata Atlântica brasileira e o Cerrado (Fig. 3). Estas espécies ocorrem em habitats diferentes, variando entre nascentes, riachos, travertinos e lagos e nestes locais as temperaturas são mais altas e pouca variação (Tabela 2).

A temperatura é um fator determinante para estes organismos (March 1978; Panov, 1998). Os locais que são reconhecidos por atingirem temperaturas menores, tendem a ter indivíduos maiores enquanto o contrário é verdadeiro (Wellborn, 1994). O tamanho corporal é um traço ecológico importante para as *Hyaella*. (Strong, 1972; Moore, 1996; Panov, 1998; Wellborn, 1994, 2002). O tamanho que esses indivíduos podem alcançar é um *trade-off* entre

aspectos abióticos e bióticos, que maximizam sua sobrevivência, capacidade de explorar recursos e chances reprodução (Strong, 1972; Wellborn 1994, 2002; Moore, 1996; Panov, 1998; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016, 2016b; Colla ; Cesar, 2019).

Partindo deste pressuposto, atingir grandes tamanhos pode ser uma estratégia para aumentar o sucesso reprodutivo ou otimizar a sobrevivência, especialmente em ambientes sujeitos a perturbações recorrentes, e como períodos de seca e períodos prolongados de baixas temperaturas (Ozga ; Castiglioni, 2017; Castiglioni et al., 2018; Wellborn, 1995; Wellborn et al., 1996; Ozga et al., 2018). Enquanto tamanhos menores, em locais com maiores médias anuais e menores variações de temperatura, (Tabela 2), serviriam de adaptabilidade para sobrevivência em um local mais estável e sem mudanças bruscas de temperatura; ainda é possível pontuar que também possa ocorrer variações de tamanho ao longo do ano (Castiglioni; Bond-Buckup, 2007; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016), já que as condições do habitat mudam de acordo com a estação.

5.2 Aspectos reprodutivos

As espécies do sudeste brasileiro, a *Hyaella longistila*, *H. cartisca*, *H. minensis*, *Hyaella sp.* e *H. veredae*, apresentam ecologias semelhantes, apesar de habitarem ambientes distintos. Enquanto *H. longistila* e *H. carstica* são encontradas em riachos que secam anualmente (Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016), *H. minensis* habita uma nascente que, embora não seque durante os períodos de seca, experimenta redução no fluxo nesse período. A *Hyaella sp.* também ocorre em uma nascente, porém o nível de água permanece constante devido ao represamento do habitat (Observação pessoal). A única espécie cavernícola do estudo, *H. veredae*, ocorre em riachos, lagos e travertinos (Tabela 2), cujos níveis de água sofrem variações (Zepon et al., 2021; Borges, 2020).

As espécies *H. longistila*, *H. carstica*, *H. minensis*, *Hyaella sp.* e *H. veredae* se reproduzem ao longo de todo o ano. A proporção sexual dessas espécies tende a favorecer os machos (Tabela 1) e a iteroparidade é confirmada, pela presença contínua de fêmeas ovígeras ao longo de todo o estudo (Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira; Bueno, 2016b; Borges, 2016; Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3). Contudo para *H. longistila*, há dois picos bem demarcados de reprodução - meio do inverno e fim da primavera - enquanto as outras espécies tem proporções semelhantes de fêmeas ao longo do ano, tendo uma reprodução mais discreta (Torres *et al.*, 2015; Bastos- Pereira; Bueno, 2016; Borges, 2016; Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3).

Os casais encontrados em comportamento de pré-copula, para *H. longistila*, *H. bala* e *H. virgineae* demonstraram maior sucesso reprodutivo e os casais eram maiores em comparação a outros (Bastos- Pereira ; Bueno, 2016; Penoni *et al.*, 2021). Para *Hyaella sp*, embora não há uma análise profunda da comparação entre o tamanho dos casais, observou-se que as fêmeas ovíferas eram maiores que as não ovíferas (Borges ; Bueno, in prep – Artigo 3). Este resultado talvez possa indicar um padrão semelhante entre as espécies citadas anteriormente, em relação ao tamanho vs. sucesso reprodutivo. A relação de sucesso reprodutivo e tamanhos dos indivíduos em pré-cópula, pode estar associada a papéis reprodutivos, assim como a seleção sexual, como já foi citado anteriormente nesta revisão e é um padrão comum para anfípodes (Wellborn 1995; Castiglioni ; Bond-Buckup, 2007; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016; Goos *et al.*, 2016). Já para a espécie *H. carstica* não existe essa relação entre o tamanho dos indivíduos e a escolha ou a chance de sucesso reprodutivo dos casais (Torres *et al.*, 2015). Para as espécies *H. veredae* e *H. minensis* não existem dados com estas informações.

Em relação às espécies mais ao sul do hemisfério sul, as espécies mais voltadas ao centro do continente têm as menores taxas de fertilidade, com apenas duas exceções. A *H. virgineae* tem a fertilidade muito semelhante às espécies de ambiente mais frios, como as do Sul, enquanto a *H. pampeana* se aproxima mais das espécies de ambiente mais quentes e estáveis (Tabela 2) (Colla ; Cesar, 2019; Penoni *et al.*, 2021). Dentre as espécies conhecidas, a *H. veredae*, *Hyaella sp*. e *H. minensis* são as que possuem menores fertilidades (Borges, 2017; Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3). Existe uma relação positiva para a quantidade de ovos e o tamanho das fêmeas para *H. carstica*, *H. bala* e *H. virgineae*, enquanto para *H. longistila*, *Hyaella sp*. e *H. minensis*, não existe (Torres *et al.*, 2015; Penoni, *et al.*, 2021; Bastos- Pereira ; Bueno, 2016, Borges 2016; Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3).

A *H. bonariensis*, *H. curvispina*, *H. gauchensis*, *H. georginae*, *H. palmeirensis*, *H. pampeana*, *H. castroi* e *H. pleoacuta*, estão em direção ao sul do continente e apresentam dinâmicas reprodutivas bem semelhantes, com exceção da *H. pampeana* (Colla ; Cesar, 2019). A razão sexual destas espécies, tendem as fêmeas. Diferentemente das espécies relatadas em parágrafos anteriores, estas possuem períodos demarcados de reprodução. O inverno é o pico reprodutivo para *H. bonariensis*, *H. curvispina*, *H. castroi* e *H. pleoacuta* enquanto para *H. gauchensis*, *H. palmeirensis* é entre o outono e inverno; *H. georginae* e *H. pampeana* durante a primavera (Castiglioni *et al.*, 2008; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020).

Assim como outras espécies a *H. bonariensis*, *H. gauchensis*, *H. georginae*, *H. pleoacuta* e *H. castroi*, tem o sucesso reprodutivo associado ao tamanho dos indivíduos (Castiglioni *et al.*, 2008; Ozga ; Castiglioni, 2017; Marx ; Castiglioni, 2020). As espécies *H. curvispina* e *H. pampeana* não possuem dados referente a este traço. A *H. bonariensis*, no entanto, embora com o sucesso reprodutivo associado ao tamanho, é apenas quando os machos paream com fêmeas menores (Castiglioni *et al.*, 2020). A fecundidade destas espécies são altas (Tabela 1), se assemelhando - ou superando - a *H. azteca* e outras espécies do Hemisfério Norte (Castiglioni *et al.*, 2009; Ozga *et al.*, 2017; Castiglioni *et al.*, 2018). Já *H. pampeana*, tem a fecundidade muito semelhante a *H. carstica* (Colla ; Cesar, 2019). Em todas estas espécies desta região, existe uma correlação entre o tamanho das fêmeas e o número de ovos. Além disso, para as espécies *H. bonariensis*, *H. pleoacuta*, *H. castroi* e *H. georginae* também há diminuição do volume dos ovos com o desenvolvimento do embrião (Castiglioni *et al.*, 2016, 2018; Ozga *et al.*, 2017; Castiglioni, *et al.*, 2020).

Diferentes taxas de fertilidade, proporções sexuais e estratégias reprodutivas podem estar associados às variações ambientais nos locais de ocorrência das espécies. Em ambientes mais estáveis, como aqueles habitados pelas *Hyaella* mais ao norte, tender a ter uma dinâmica k-estrategistas, onde o investimento em proles menores com menor taxa de mortalidade, pode ser favorecido afim de maximizar seu *fitness* (Singh, 2024). Por outro lado, as espécies encontradas em regiões mais ao sul parecem adotar uma estratégia mais r-estrategista, priorizando a produção de um grande número de ovos para aumentar a sobrevivência da prole (Singh, 2024). Ao examinar essas últimas espécies, a hipótese de serem r-estrategistas parece plausível, especialmente considerando o ambiente menos estável e as variações mais pronunciadas de temperatura ao longo do ano (Tabela 2) (Singh, 2024)..

5.3 Influência de fatores abióticos

Dentre as hipóteses que permeiam este estudo é a influência da latitude sobre a ecologia das espécies, e pelos dados levantados, isto não parece ser uma realidade para as *Hyaella* do hemisfério sul (Fig. 10). Em estudos que envolvem anfípodes Gammarídeos, como o caso das *Hyaella* (Sainte- Marie, 1991), associa-se às alterações nos parâmetros ecológicos e populacionais interespecíficos, de acordo com a mudança de latitude. Isso se daria, principalmente, pela alteração de temperatura (Sainte- Marie, 1991).

Ainda de acordo com Sainte-Marie, 1991, a hipótese é que espécies de altas latitudes, influenciadas principalmente pela temperatura, teriam ciclos de vida bianuais ou perenes,

maiores tamanhos corporais - e atingiriam a maturidade sexual mais tarde, tendo poucos ovos, mas com grande volume. As espécies que se encaixam, com esta hipótese, seriam as espécies *H. bonariensis*, *H. pleoacuta*, *H. castroi*, *H. georginae*, *H. gauchensis*, *H. palmeirensis*, *H. pampeana* e *H. curvispina*. Contudo, os próprios autores discordam de Sainte-Marie, 1991, em relação à *H. pampeana*, *H. castroi* e *H. pleoacuta*, por exemplo, associando suas ecologias a espécies de baixa latitude (Castiglioni ; Bond- Buckup, 2007, Colla ; Cesar, 2019).

Através da PCA (Fig. 10) é possível observar que a única que parece que a latitude apresenta uma maior influência é a *H. bonariensis*, de fato, seus aspectos populacionais se assemelham a características de espécies de alta latitude (Castiglioni *et al.*, 2015). Contudo, as outras espécies da região, tem associações diferentes. *H. pampeana* e *H. curvispina* estão opostas a todos os parâmetros utilizados, sendo que quais têm influência negativa sobre essas espécies. Enquanto para *Hyaella georginae*, *H. pleoacuta*, *H. castroi* e *H. gauchensis*, um parâmetro importante para suas dinâmicas populacionais é a pluviosidade anual e são negativamente afetados pela temperatura média anual (Fig. 10).

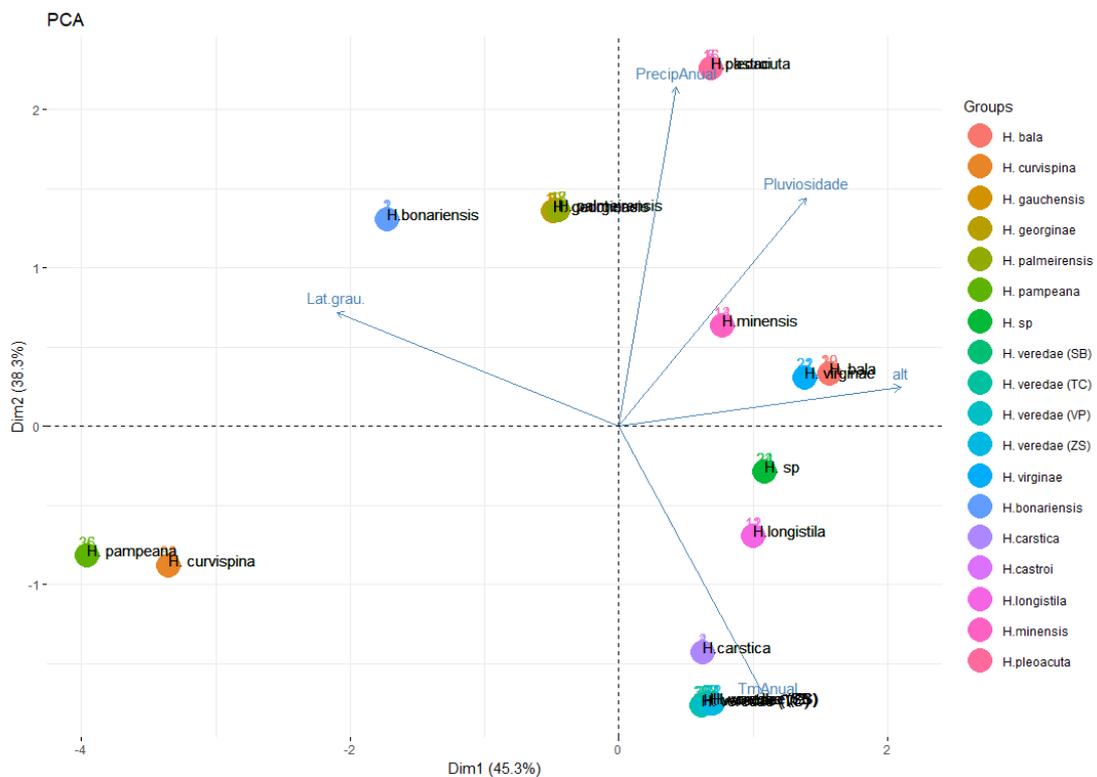


Figura 10. Análise de Componentes Principais (PCA), realizada para avaliar a influência de parâmetros abióticos em relação à dinâmica populacional das espécies de *Hyaella* da

América do sul; Legenda: Lat.Grau – Latitude; TmAnual – Temperatura Anual; Alt – Altitude; PrecipAnual – Precipitação Anual. Fonte: Do autor (2023).

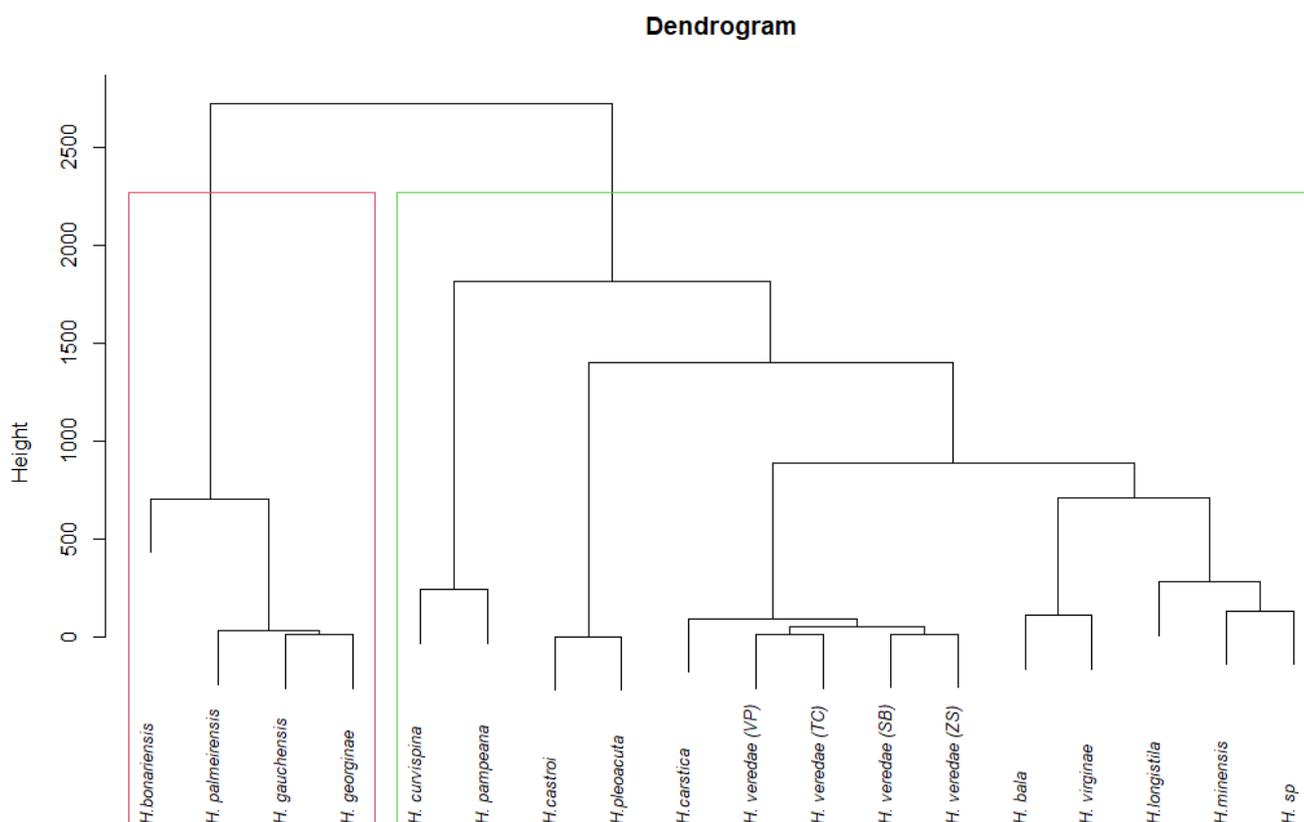


Figura 11. Dendrograma demonstrando a relação das dinâmicas populacionais entre as populações de *Hyalella* da América do Sul. Legenda: 1) Grupo representado pela cor vermelha; 2) Grupo representado pela cor verde. Fonte: Do próprio Autor (2023).

As espécies do sudeste brasileiro, se associaram positivamente a parâmetros como pluviosidade, altitude e temperatura anual. Sendo que *H. bala* e *H. virgineae* estão muito relacionadas à altitude, sendo um grande parâmetro de influência, e são elas as espécies do sudeste que ocorrem em maiores altitudes, também sinalizados como limitantes para o gênero (Madsen *et al.*, 2015; Penoni *et al.*, 2021). Quando agrupados no dendrograma (Fig. 11), é formado dois grupos (1 e 2), sendo eles um formado por parte das espécies do sul (1) - com exceção da *H. curvispina*, *H. castroi*, *H. pleoacuta* e *H. pampeana* - e outros agrupando o restante (2). O grupo 1, indicado em vermelho no gráfico (Fig. 11) contém espécies inseridas na mesma ecorregião terrestre e de água-doce (Fig. 11), sendo que *H. palmeirensis* está inserida nos pampas (terrestre), mas ainda sim são muito próximas geograficamente.

O grupo 2, no dendograma, reflete bem a PCA, onde espécies próximas geograficamente são mais semelhantes entre si, ainda sim, se agrupam possivelmente por influências dos parâmetros demonstrados. A hipótese possível, é que a partir das análises de dados, que as condições ambientais locais, moldadas seja pela ecorregião terrestre ou aquática, influenciam muito mais sobre suas dinâmicas, do que a latitude que estas ocorrem. Contrário ao Sainte-Maire, 1991, as *Hyaella* que estão no Hemisfério Sul estão ocorrendo sobre as mesmas condições, devido ao tamanho e extensão dessas ecorregiões, o que levaria a uma semelhança em suas estratégias de vida. Até mesmo *H. veredae* que é uma espécie de caverna, embora ocorra em um local muito peculiar (Zepon *et al.*, 2021), ainda sim tem sua dinâmica populacional semelhante a espécies de mesma região. Ou seja, possivelmente um grande modelador das dinâmicas populacionais e reprodutivas, venham destes ecossistemas mais globais.

Partindo desta hipótese, muito das mudanças globais, alterarão diversos destes parâmetros, o que pode ameaçar seriamente a resistência e dinâmica destas espécies. Estudos com as *Hyaella*, já demonstraram que alterações na temperatura, oxigênio e recursos, podem ameaçar seriamente as espécies do gênero (Hogg *et al.*, 1996; Panov *et al.*, 1998; Madsen *et al.*, 2015; Fulton *et al.*, 2021)

Tabela 1. Aspectos populacionais das espécies de *Hyalella* da América do Sul

<i>Specie</i>	sex	HL	DPH L	HLmax	HLmi n	sexratio	fecundity	DPfe	HLFO	DPFO	Maturity	Referencia
<i>H. bonariensis</i>	M	0,49	0,11	0,92	0,3	0,91	17,4	3,9	0,55	0,07	0,4	1
	F	0,46	0,11	0,74	0,3						0,38	
<i>H. carstica</i>	M	0,48	0,05	0,66	0,37	0,75	12,6	7,2	0,49	0,05	-	2
	F	0,45	0,05	0,62	0,37						-	
<i>H. castroi</i>	M	0,84	0,004	1,25	0,46	0,78	31,4	10,7	0,83	0,005	0,72	3
	F	0,72	0,003	1,12	0,67						0,67	
<i>H. gauchensis</i>	M	0,52	0,11	1,12	0,35	0,95	25,7	6,5	0,56	0,1	0,35	4
	F	0,48	0,09	0,97	0,35						0,3	
<i>H. georginae</i>	M	0,89	0,22	1,61	0,4	0,9	37,4	10,7	0,75	0,19	0,77	5
	F	0,79	0,19	1,61	0,37						0,57	
<i>H. longistila</i>	M	0,54	0,07	0,75	0,39	0,75	12,88	2	0,57	0,06	-	5
	F	0,47	0,07	0,8	0,39						-	
<i>H. minensis</i>	M	0,51	0,05	0,62	0,41	0,31	6,3	3,6	0,5	0,03	0,43	10
	F	0,48	0,06	0,59	0,41						0,41	
<i>H. pleoacuta</i>	M	0,74	0,002	1,12	0,42	0,88	36	13,5	0,71	0,004	0,53	3
	F	0,66	0,001	1,04	0,41						0,48	
<i>H. palmeirensis</i>	M	0,52	0,1	0,74	0,27	0,2	19,6				0,45	6

	F	0,44	0,08	0,72	0,27			4,34	0,48	0,06	0,37	
<i>H. bala</i>	M	0,5	0,1	0,6	0,3						-	
	F	0,5	0,2	0,9	0,7	0,62	9,35	4,25	0,6	0,07	-	7
<i>H. virginiae</i>	M	0,6	0,1	0,7	0,4						-	
	F	0,5	0,1	0,8	0,4	1,28	15,75	6,97	0,5	0,08	-	
<i>Hyaella sp.</i>	M	0,57	0,08	0,8	0,56						0,56	
	F	0,48	0,06	0,72	0,4	2,15	5,4	2,72	0,5	0,06	0,4	
<i>H. veredae (VP)</i>	M	0,4	0,9	-	-						-	
	F	0,4	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>H. veredae (SB)</i>	M	0,53	0,07	-	-						-	
	F	0,49	0,07	-	-	0,92	2,8	2,26	0,56	0,07	-	11
<i>H. veredae (TC)</i>	M	0,48	0,07	-	-						-	
	F	0,45	0,07	-	-	1,52	2,85	2,26	0,45	0,04	-	
<i>H. veredae (ZS)</i>	M	0,48	0,07	-	-						-	
	F	0,43	0,08	-	-	1,53	7,6	4,8	0,52	0,07	-	
<i>H. curvispina</i>	M	0,72	0,24	1,6	0,3						0,6	
	F	0,54	0,16	1,3	0,2	0,5	93	50	0,82	0,15	0,5	8
<i>H. pampeana</i>	M	0,47	0,08	0,75	0,24						-	
	F	0,4	0,07	0,63	0,21	1,16	9,97	3,7	-	-	-	9

Legenda: M – Machos; F – Fêmeas HL – Tamanho médio da cabeça em mm; DPHL – Desvio Padrão de HL; HlMax é tamanho máximo de cabeça (mm); Hlmin – Tamanho Mínimo de cabeça (mm); Sexratio – Razão Sexual; Fecundity – Fecundidade; DPFe – Desvio Padrão da

Fecundidade; HLFO – Tamanho médio da cabeça das Fêmeas Ovíferas(mm); DPFO – Desvio Padrão do Tamanho Médio de HLFO; Maturity: Tamanho em que alcançou a maturidade sexual (mm). Refs: 1) Castiglioni *et al.* (2018); 2) Bastos-Pereira (2014); 3) Castiglioni ; Bond-Buckup (2007); 4) Ozga ; Castiglioni (2017); 5) Bastos-Pereira ; Bueno (2016); 6) Marx ; Castiglioni, 2020. 7) Penoni *et al.*, 2021. 8) Waller ; Werdi, 2020. 9) Colla ; Cesar, 2019. 10) Borges, 2016; 11) Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3. Fonte: Do próprio Autor (2023)

Tabela 2. Características ambientais do habitat de *Hyalella* em estudos da América do Sul.

Specie	Alt(m)	Tmédia(A) (°C)	Precip(A) (mm)	Pluviosidade (mm)	VariaT(°C)	Superfície	Habitat	Subs	Ref
<i>H. bonariensis</i>	90	19.6	2308.6	1600	10 a 15	Epígea	Nascente de cabeceira	Macrófita	1
<i>H. carstica</i>	740	21.5	1081.4	1400	15 a 18	Epígea	Riacho	<i>Spirodela</i>	2
<i>H. castroi</i>	110	15.3	461.6	1700	3.4 a 24.1	Epígea	Lago artificial	<i>Senecio</i>	3
<i>H. gauchensis</i>	539	20.3	2116.2	1800	10 a 15	Epígea	Lago artificial	<i>Salvinia</i>	4
<i>H. georginae</i>	540	20.3	2116.2	1800	10 a 15	Epígea	Lago artificial	Sedimento	4
<i>H. longistila</i>	800	21.4	1359	1500	15 a 18	Epígea	Lago artificial	<i>Typha</i>	5
<i>H. minensis</i>	900	17.4	1567.8	1500	15 a 18	Epígea	Nascente Lago	Sedimento	10
<i>H. pleoacuta</i>	110	15.3	461.6	1700	3.4 a 24.1	Epígea	Lago artificial	<i>Senecio</i>	3
<i>H. palmeirensis</i>	560	20.3	2116.2	1800	10 a 15	Epígea	Lago natural	<i>Egeria</i>	6
<i>H. bala</i>	913	20.5	1278.7	2000	15 a 18	Epígea	Riacho	Sedimento	7
<i>H. vrgineae</i>	821	20.5	1278.7	2000	15 a 18	Epígea	Riacho	Macrófitas	7
<i>Hyalella sp.</i>	874	20.9	1466.3	1500	15 a 18	Epígea	Pequena nascente	Sedimento	
<i>H. veredae</i> (vp)	782	22.5	1067.5	1400	15 a 18	Hipógea	Travertinos	Sedimento	
<i>H. veredae</i> (sb)	804	22.5	1067.5	1400	15 a 18	Hipógea	Riacho subterraneo	Sedimento	11
<i>H. veredae</i> (tc)	772	22.5	1067.5	1400	15 a 18	Hipógea	Pequeno Lago	Sedimento	
<i>H. veredae</i> (zs)	817	22.5	1067.5	1400	15 a 18	Hipógea	Riacho subterraneo	Sedimento	
<i>H. curvispina</i>	179	17	1000	1000	13.5 a 24 12.3 a	Epígea	Small mud puddles	<i>Juncus.sp</i>	8
<i>H. pampeana</i>	9	17	1000	1000	26	Epígea	lago	Sedimento	9

Legenda: Alt – Altitude; TmédiaA – Temperatura Média Anual; Precip(A) – Precipitação Anual; VariaT – Variação de Temperatura Anual; Subs – Substrato. Ref (Referencia): 1) Castiglioni *et al.* (2018); 2) Bastos-Pereira (2014); 3) Castiglioni ; Bond-Buckup (2007); 4) Ozga ; Castiglioni (2017); 5) Bastos-Pereira ; Bueno (2013); 6) Bastos-Pereira ; Bueno (2016); 6) Marx ; Castiglioni, 2020. 7) Penoni *et al.*, 2021. 8) Waller ; Werdi, 2020. 9) Colla ;

Cesar, 2019, 10) Borges, 2016. 11) Borges ; Bueno, in prep – Artigo 2 e 3. Fonte: Do próprio Autor (2023).

6. BIOINDICADOR

Muitas das informações obtidas durante estudos ecológicos, possibilita com que as *Hyaella* sejam utilizadas em testes toxicológicos. Além do fácil acesso a dados populacionais e reprodutivos, estes animais também são de fácil cultivo, manutenção e sensível a alterações ambientais (Graça *et al.*, 2002; Somma, *et al.*, 2011; Clark *et al.*, 2015; Javidmehr *et al.*, 2015; Wash *et al.*, 2019; Cornejo *et al.*, 2021).

A *H. azteca* é a principal espécie utilizada em estudos por todo continente americano, seja em análises de sedimento ou em relação à coluna d'água (Bartlett *et al.*, 2021; Lizzote *et al.*, 2021). Foi demonstrado a sensibilidade destes organismos a uma variedade imensa de contaminantes. Existem diversos estudos com os mais variados inseticidas e pesticidas, como com pteroides, atrazina, DDT, bifentrina, organofosforados, cipermetrina, neonicotinoides e butenolide afetando a reprodução e mortalidade (Weston *et al.*, 2013; Clark *et al.*, 2015; Bartlett *et al.*, 2019; Lizzote *et al.*, 2021). Assim como efeitos de hormônios, hidrocarbonetos, selenium, amônia metais pesados e cromo sobre a ecologia populacional (Dussault *et al.*, 2009; Novoa-Luna *et al.*, 2016; Satbhai *et al.*, 2017; Nolte *et al.*, 2021)

Já com as espécies do Hemisfério Sul, estes estudos se resumem a algumas espécies, mesmo tendo a possibilidade de usar outras que já possuem ecologia conhecida. A *Hyaella curvispina* é a principal espécie utilizada, tendo inclusive um manual de cultivo para utilização nestes estudos (Somma *et al.*, 2011). A espécie já foi utilizada com diversos contaminantes para avaliar aspectos como reprodução, mortalidade e resistência a poluentes. Dentre os contaminantes que afetam estes aspectos estão: carbaryl, organofosforado, cadmium (Graça *et al.*, 2002; Garcia *et al.*, 2010; 2012; Negro *et al.*, 2013; Anguiano, *et al.*, 2014, 2017).

No entanto, é preciso especial atenção ao realizar estudos toxicológicos com *Hyaella*. Muitos estudos apontam que espécies que estão no ambiente natural, podem reagir de maneiras diferentes aos poluentes, do que aquelas já cultivadas a anos em laboratório. As espécies selvagens podem tanto ser mais sensíveis, ou mesmo já apresentarem resistência prévia, que pode ser passada hereditariamente entre os indivíduos (Duan *et al.*, 1997; Wang *et al.*, 2004; Clark *et al.*, 2015; Beery *et al.*, 2017). Além disso, outra problemática são os complexos de espécies, onde localidades diferentes do complexo podem responder de

maneiras diferentes a contaminantes (Pieterik *et al.*, 2012; Major *et al.*, 2013; Soucek *et al.*, 2013; Weston *et al.*, 2013), podendo levar a comparações errôneas, caso não tenha conhecimento prévio da população utilizada.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredito que em relação esta revisão, é possível levantar três pontos principais. O primeiro a ser levado em conta, quando se fala em estudos ecológicos para o gênero *Hyaella*, ainda é a sua escassez. Há uma desigualdade significativa entre os estudos de taxonomia e ecologia, onde há uma disparidade considerável entre o número de estudos taxonômicos em relação aos ecológicos. A nossa urgência climática põe holofote na necessidade de mudar esse panorama, para que estas espécies sejam protegidas antes que a extinção as alcance. Somado a isso existe também outros impactos antrópicos, como alteração, destruição e fragmentação de ecorregiões, sendo elas terrestres ou límnicas, reforçando a necessidade de mais estudos com enfoque na ecologia de *Hyaella*. Pensando numa maneira de começar a mudar esta situação, sugiro que os estudos taxonômicos possam ser os pontos de virada. Se as descrições de espécies forem mais “ecológicas” ao acrescentar dados populacionais e não somente morfologicamente descritivos, nem que sejam pontuais, já contribuíram significativamente para mudar este cenário.

O segundo ponto seria, como o olhar global sobre a ecologia destas espécies, podem evidenciar lacunas e padrões em comum, que precisam ser mais explorados. Foi possível demonstrar que espécies geograficamente próximas ou em ecorregiões iguais, sendo elas epígeas ou hipógeas, tem suas dinâmicas populacionais muito parecidas. Porém, embora as espécies aqui citadas tenham quase todo seu ciclo de vida contemplado, ainda sim faltam estudos para avaliar algumas lacunas. Por exemplo, faltam pesquisas relacionados a dispersão, baixa fecundidade ou mesmo sobre a influência dos parâmetros abióticos – ou bióticos – sobre as populações. Algumas espécies, como por exemplo *H. pampeana* e *H. curvispina*, podem ter outros parâmetros influenciando em suas dinâmicas, que não foram evidenciados pela PCA, devido à falta de dados.

O que nos leva ao terceiro ponto, como a existência destes dados, nos demonstra que existem padrões na dinâmica destas espécies. A revisão aqui realizada, demonstrou que as ecorregiões e suas características influenciam muito mais nas estruturas ou estratégias das populações – como serem r ou k – estrategistas, do que a comum hipótese da latitude. Uma

boa maneira de tentar compreender esse padrão, seria adicionando mais espécies ao estudo e mais parâmetros, desta forma pode-se caminhar para a compreensão do porquê isto ocorre.

REFERÊNCIAS

- ABELL, Robin *et al.* Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, v. 58, n. 5, p. 403-414, 2008.
- ALHO, C. J. Hydropower dams and reservoirs and their impacts on Brazil's biodiversity and natural habitats: a review. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 6, n. 3, p. 205-215, 2020.
- ANGUIANO, O. L. *et al.* Acute toxicity and esterase response to carbaryl exposure in two different populations of amphipods *Hyalella curvispina*. **Aquatic Toxicology**, v. 188, p. 72-79, 2017.
- ANGUIANO, O. L. *et al.* Acute toxicity and biochemical effects of azinphos methyl in the amphipod *Hyalella curvispina*. **Environmental Toxicology**, v. 29, n. 9, p. 1043-1053, 2014.
- BARTLETT, A. J. *et al.* Acute and chronic toxicity of neonicotinoid and butenolide insecticides to the freshwater amphipod, *Hyalella azteca*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 175, p. 215-223, 2019.
- BARTLETT, A. J. *et al.* Lethal and sublethal toxicity of perfluorooctanoic acid (PFOA) in chronic tests with *Hyalella azteca* (amphipod) and early-life stage tests with *Pimephales promelas* (fathead minnow). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 207, p. 111250, 2021.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. D. P. New species and new report of *Hyalella* SI Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Dogielinotidae) from Minas Gerais state, Southeastern Brazil. **Zootaxa**, v. 3350, n. 1, p. 58-68, 2012.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. A new species of freshwater amphipod (Dogielinotidae, *Hyalella*) from Southeastern Brazil. **Nauplius**, v. 21, p. 79-87, 2013.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. D. P. Dynamics of a natural population of a hyallelid amphipod from Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n. 2, p. 154-162, 2016a.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. D. P. Reproductive Biology and Egg Production of *Hyalella Longistila* (Amphipoda: Hyalellidae), a Freshwater Amphipod in Southeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n. 5, p. 724-730, 2016b.
- BASTOS-PEREIRA, R.; DE OLIVEIRA, M. P. A.; FERREIRA, R. L. Anophtalmic and epigean? Description of an intriguing new species of *Hyalella* (Amphipoda, Hyalellidae) from Brazil. **Zootaxa**, v. 4407, n. 2, p. 254-266, 2018.
- BEERY, S. R.; GAUTHIER, P. T.; PYLE, G. G. Testing local adaptation in five populations of *Hyalella azteca* in northern Alberta's oil sands region. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 72, p. 189-199, 2017.

- BORGES, R. K. F. ASPECTOS POPULACIONAIS E CRESCIMENTO DE UM ANFÍPODO DE ÁGUA DOCE EM UMA NASCENTE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - MG. 33p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- BORGES, R. K. F. Variabilidade fenotípica entre populações de uma espécie de anfípode troglóbico de Presidente Olegário - MG. 2020. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.
- BUENO, A. A. *et al.* Two new species of *Hyaella* (Amphipoda, Dogielinotidae) from Brazil. **Crustaceana**, v. 86, n. 7-8, p. 802-819, 2013.
- BUENO, C. *et al.* A multi-proxy assessment of long-term anthropogenic impacts in Patos Lagoon, southern Brazil. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 3, p. 276-290, 2019.
- CARSCADDEN, K A. *et al.* Niche breadth: causes and consequences for ecology, evolution, and conservation. **The Quarterly Review of Biology**, v. 95, n. 3, p. 179-214, 2020.
- CARDOSO, G. M.; BUENO, A. A. P.; FERREIRA, R. L. A new troglobiotic species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from Southeastern Brazil. **Nauplius**, v. 19, p. 17-26, 2011.
- CARDOSO, G. M.; ARAUJO, P.; BUENO, A. A. P.; FERREIRA, R. L. Two new subterranean species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae) from Brazil. **Zootaxa**, v. 814, n. 3, p. 353-368, 2014.
- CASTIGLIONI, S. D.; BOND-BUCKUP, G. Pairing and reproductive success in two sympatric species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta Oecologica**, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2008a.
- CASTIGLIONI, S. D.; BOND-BUCKUP, G. Ecological traits of two sympatric species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta Oecologica**, v. 33, n. 1, p. 36-48, 2008b.
- CASTIGLIONI, S. D.; BOND-BUCKUP, G. Egg production of two sympatric species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) in aquaculture ponds in southern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 43, n. 21-22, p. 1273-1289. 2009.
- CASTIGLIONI, D. D. S.; STRECK, M. T.; RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. A. D. P. Reproductive strategies of a population of a freshwater amphipod (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae) from southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18., 2018
- CASTIGLIONI, D. D. S.; LIMBERGER, M.; CASTRO, V. D. S.; UBESSI, F. Population and reproductive traits of a freshwater amphipod (Crustacea, Peracarida, Hyaellidae) from northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, 2020.

CARLUCCI, M. B.; MARCILIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. The southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. In: *The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-Diverse Forest*, p. 91-111, 2021.

CAZALIS, V. *et al.* Bridging the research-implementation gap in IUCN Red List assessments. **Trends in Ecology ; Evolution**, 2022.

CLARK, S. L. *et al.* Comparative sensitivity of field and laboratory populations of *Hyalella azteca* to the pyrethroid insecticides bifenthrin and cypermethrin. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 34, n. 10, p. 2250-2262, 2015.

COLLA, M. F.; CÉSAR, I. I. Ecological aspects of natural populations of *Hyalella pampeana* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) from the natural reserve island of Martín García (Río de La Plata, Argentina). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 91, 2019.

CORNEJO, A. *et al.* High sensitivity of invertebrate detritivores from tropical streams to different pesticides. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 216, p. 112226, 2021.

COOPER, W. E. Dynamics and production of a natural population of a fresh-water amphipod, *Hyalella azteca*. **Ecological Monographs**, v. 35, n. 4, p. 377-394, 1965.

COOPER, M. J.; LAMBERTI, G. A.; UZARSKI, D. G. Spatial and temporal trends in invertebrate communities of Great Lakes coastal wetlands, with emphasis on Saginaw Bay of Lake Huron. **Journal of Great Lakes Research**, v. 40, p. 168-182, 2014

COTHRAN, R. D. *et al.* Phenotypic manipulation provides insights into the function of a sexually selected trait in a freshwater crustacean species complex. **Animal Behaviour**, v. 80, n. 3, p. 543-549, 2010.

DEHDASHTI, B.; BLINN, D. W. Population dynamics and production of the pelagic amphipod *Hyalella montezuma* in a thermally constant system. **Freshwater Biology**, v. 25, n. 1, p. 131-141. 1991.

DE LOS RÍOS, P.D; MORRONE, J.; RIVERA, R. Distributional patterns of the South American species of *Hyalella* (Amphipoda: Hyalellidae). 2012.

DINERSTEIN, Eric *et al.* An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. **BioScience**, v. 67, n. 6, p. 534-545, 2017.

DERBY, A. P. *et al.* Effects of temperature and salinity on bioconcentration and toxicokinetics of permethrin in pyrethroid-resistant *Hyalella azteca*. **Chemosphere**, v. 299, p. 134393, 2022.

DUAN, Y.; GUTTMAN, S. I.; ORIS, J. T. Genetic differentiation among laboratory populations of *Hyalella azteca*: implications for toxicology. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 16, n. 4, p. 691-695. 1997.

DUSSAULT, È. B.; *et al.* Bioaccumulation of the synthetic hormone 17 α -ethinylestradiol in the benthic invertebrates *Chironomus tentans* and *Hyalella azteca*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1635-1641. 2009.

- DUTRA, B. K.; SANTOS, R. B.; BUENO, A. A.; OLIVEIRA, G. T. Effect of different diets in the biochemical composition, lipid peroxidation and reproductive traits of *Hyalella pleoacuta* and *Hyalella curvispina*. **Animal Biology**, v. 61, n. 4, p. 349-368. 2011.
- FEARNSIDE, P. Ecosystems of South America: Status and threats. National Institute for Research in the Amazon (INPA). Manaus, Brazil, p. 345-359. 2001.
- FERREIRA, M. E.; *et al.* Dams Pose a Critical Threat to Rivers in Brazil's Cerrado Hotspot. **Water**, v. 14, n. 22, p. 3762. 2022.
- FUENTES-CASTILLO, T.; HERNÁNDEZ, H. J.; PLISCOFF, P. Hotspots and ecoregion vulnerability driven by climate change velocity in Southern South America. **Reg Environ Change**, v. 20, p. 27 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01595-9>
- GALETTI, M.; *et al.* Causes and consequences of large-scale defaunation in the Atlantic forest. **The atlantic forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**, p. 297-324. 2021.
- GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. D. S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 335-342. 2015.
- GARCÍA, M. E.; CAPÍTULO, A. R.; FERRARI, L. Age-related differential sensitivity to cadmium in *Hyalella curvispina* (Amphipoda) and implications in ecotoxicity studies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 5, p. 771-778. 2010.
- GIUSTO, A.; SALIBIÁN, A.; FERRARI, L. Biomonitoring toxicity of natural sediments using juvenile *Hyalella curvispina* (Amphipoda) as test species: evaluation of early effect endpoints. **Ecotoxicology**, v. 23, p. 293-303. 2014.
- GRAÇA, M. A.; RODRÍGUES-CAPÍTULO, A.; OCÓN, C., ; GÓMEZ, N. In situ tests for water quality assessment: a case study in Pampean rivers. **Water Research**, v. 36, n. 16, p. 4033-4040. 2002.
- GONZÁLEZ, E. R.; WATLING, L. A new species of *Hyalella* from Brazil (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae), with redescrptions of three other species in the genus. **Journal of Natural History**, v. 37, n. 17, p. 2045-2076. 2003.
- GONZÁLEZ, E. R.; BOND-BUCKUP, G.; ARAUJO, P. B. Two new species of *Hyalella* from Southern Brazil (Amphipoda: Hyalellidae) with a taxonomic key. **Journal of Crustacean Biology**, v. 26, n. 3, p. 355-365. 2006.
- GOOS, J. M.; COTHRAN, R. D.; JEYASINGH, P. D. Sex-specific nutrient use and preferential allocation of resources to a sexually selected trait in *Hyalella* amphipods. **Journal of Experimental Biology**, v. 219, n. 5, p. 649-657. 2016.
- HORTAL, J.; *et al.* Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 46, p. 523-549. 2015.

HUGHES, P. W. Between semelparity and iteroparity: empirical evidence for a continuum of modes of parity. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 20, p. 8232-8261, 2017.

JAVIDMEHR, A., *et al.* 10-Day survival of *Hyalella azteca* as a function of water quality parameters. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 115, p. 250-256. 2015.

JUNK, W. J., *et al.* Riparian wetlands of low-order streams in Brazil: extent, hydrology, vegetation cover, interactions with streams and uplands, and threats. **Hydrobiologia**, p. 1-22. 2022.

JURADO-RIVERA, J. A., *et al.* Morphological and molecular species boundaries in the *Hyalella* species flock of Lake Titicaca (Crustacea: Amphipoda). **Contributions to Zoology**, v. 89, n. 4, p. 353-372. 2020.

KOFFEL, T.; DAUFRESNE, T.; KLAUSMEIER, C. A. From competition to facilitation and mutualism: a general theory of the niche. **Ecological Monographs**, v. 91, n. 3, p. e01458, 2021.

LATRUBESSE, E. M., *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, e77. 2019.

LIMBERGER, M., CASTIGLIONI, D. D. S., ; GRAICHEN, D. A. S. A new species of freshwater amphipod (Crustacea, Peracarida, Hyalellidae) from Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5026, n. 2, p. 182-200. 2021.

LIMBERGER M, S. S, CASTIGLIONI D. D. S. *Hyalella luciae* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae)—a new species of freshwater amphipod from Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5174, n. 5, p. 568-582. 2022. DOI: 10.11646/zootaxa.5174.5.5.

LIRA, P. K., PORTELA, R. D. C. Q., ; TAMBOSI, L. R. Land-cover changes and an uncertain future: will the Brazilian atlantic forest lose the chance to become a hopespot?. In: **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**, p. 233-251. 2021.

LIZOTTE, R. E., STEINRIEDE, R. W., ; LOCKE, M. A. Occurrence of agricultural pesticides in Mississippi Delta Bayou sediments and their effects on the amphipod: *Hyalella azteca*. **Chemistry and Ecology**, v. 37, n. 4, p. 305-322. 2021.

MADSEN, P. B., *et al.* Altitudinal distribution limits of aquatic macroinvertebrates: an experimental test in a tropical alpine stream. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 5, p. 629-638. 2015.

MARCH, B. D., 1978. The effects of constant and variable temperatures on the size, growth, and reproduction of the freshwater amphipod *Hyalella azteca* (Saussure). **Canadian Journal of Zoology**, v. 56, p. 1801-1806.

MARQUES, M. C., ; GRELLE, C. E. **The Atlantic Forest. History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Springer International Publishing. 2021.

- MARX, M. T. S., ; CASTIGLIONI, D. D. S. A new species of freshwater amphipod (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) from state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20. 2019.
- MOORE, D. W., ; FARRAR, J. D. Effect of growth on reproduction in the freshwater amphipod, *Hyalella azteca* (Saussure). **Hydrobiologia**, v. 328, n. 2, p. 127-134. 1996.
- NEGRO, C. L., CASTIGLIONI, M., SENKMAN, L. E., LOTESTE, A., ; COLLINS, P. Cost of reproduction. Changes in metabolism and endosulfan lethality caused by reproductive behavior in *Hyalella curvispina* (Crustacea: Amphipoda). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 90, p. 121-127. 2013.
- NOVOA-LUNA, K. A., *et al.* Oxidative stress induced in *Hyalella azteca* by an effluent from a NSAID-manufacturing plant in Mexico. **Ecotoxicology**, v. 25, p. 1288-1304. 2016.
- NOLTE, T. M., *et al.* Ammonia and chromate interaction explains unresolved *Hyalella azteca* mortality in Flanders' sediment bioassays. **Chemosphere**, v. 271, 129446. 2021.
- OBERLIN, G.; BLINN, D. The effect of temperature on the metabolism and behavior of an endemic amphipod, *Hyalella montezuma*, from Montezuma Well, Arizona, USA. **Freshwater Biology**, v. 37, n. 1, p. 55-59. 1997.
- OZGA, A. V.; DA SILVA CASTIGLIONI, D. Reproductive biology of two species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) from southern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 51, n. 41-42, p. 2509-2521. 2017.
- OZGA, A. V.; CASTRO, V. D. S. D.; CASTIGLIONI, D. D. S. Population structure of two freshwater amphipods (Crustacea: Peracarida: Hyalellidae) from southern Brazil. **Nauplius**, v. 26, p. Nota Técnica. 2018.
- PAGE M.J, *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. n71. 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71. <http://www.prisma-statement.org/>
- PANOV, V. E.; MCQUEEN, D. J. Effects of temperature on individual growth rate and body size of a freshwater amphipod. **Canadian Journal of Zoology**, v. 76, n. 6, p. 1107-1116. 1998.
- PEREIRA, V. F. G. C. Uma nova espécie de anfípode cavernícola do Brasil: *Hyalella caeca* sp. n. (Amphipoda, Hyalellidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 6, p. 49-55. 1989.
- PEREIRA, V. F. G. C. *Hyalella dielaii* sp. nov. from São Paulo, Brazil (Amphipoda, Hyalellidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, p. 179-184. 2004.
- PIETEREK, T.; PIETROCK, M. Comparative selenium toxicity to laboratory-reared and field-collected *Hyalella azteca* (Amphipoda, Hyalellidae). **Water, Air, ; Soil Pollution**, v. 223, p. 4245-4252. 2012.

- RANGEL, C., *et al.* First island species of *Hyaella* (Amphipoda, Hyalellidae) from Florianópolis, state of Santa Catarina, Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5116, n. 1, p. 40-60. 2022.
- REIS, G. O., BUENO, A. A. P.; ARAUJO, P. B. Two new species of *Hyaella* Smith, 1874 (Malacostraca: Amphipoda: Hyalellidae) from the state of Santa Catarina, Brazil. **Zootaxa**, v. 5319, n. 3, p. 351-372. 2023.
- RICKLEFS, R.; R. RELYEA. A Economia da Natureza. **Guanabara Koogan LTDA**, Rio de Janeiro. 2016.
- RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. D. P.; FERREIRA, R. L. A new troglotrophic species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) with a taxonomic key for the Brazilian species. **Zootaxa**, v. 3815, n. 2, p. 200-214. 2014.
- RODRIGUES, S. G., *et al.* A new species of *Hyaella* (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) from Itatiaia National Park, Brazil: an epigeal freshwater amphipod with troglotrophic traits at 2,200 meters of altitude. **Zootaxa**, v. 4344, n. 1, p. 147-159. 2017.
- RODRIGUES, J. A., *et al.* Climate change impacts under representative concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 5, p. 2511-2526. 2020.
- RUBERT, G.C.; *et al.* Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors. **Water**, v. 10, 1864. 2018. <https://doi.org/10.3390/w10121864>
- SAINTE-MARIE, B. A review of the reproductive bionomics of aquatic gammaridean amphipods: variation of life history traits with latitude, depth, salinity and superfamily. **Hydrobiologia**, v. 223, p. 189-227. 1991.
- SATBHAI, K. M.; LOUKA, F. R.; KLERKS, P. L. Individual and combined effects of petroleum hydrocarbons phenanthrene and dibenzothiophene on reproductive behavior in the amphipod *Hyaella azteca*. **Water, Air, ; Soil Pollution**, v. 228, p. 1-14. 2017.
- SINGH, V. Population Ecology. In: **Textbook of Environment and Ecology**. Springer, Singapore, 2024. p. 41-52.
- SOUCEK, D. J., *et al.* Effect of test duration and feeding on relative sensitivity of genetically distinct clades of *Hyaella azteca*. **Ecotoxicology**, v. 22, p. 1359-1366. 2013.
- SOMMA, A.; GIUSTO, A.; FERRARI, L. Manual de producción de *Hyaella curvispina* en laboratorio. **Comisión de investigaciones científicas**, Buenos Aires, 25. 2011.
- STRONG Jr, D. R. Life history variation among populations of an amphipod (*Hyaella azteca*). **Ecology**, v. 53, n. 6, p. 1103-1111. 1972.
- TALHAFERRO, J. T. Diversity and distribution of the genus *Hyaella* (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) in temporary wetlands from the southern Brazilian Coastal Plain, with a taxonomic key to the species in the region. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, p. 1-17. 2021a.

TALHAFERRO, J. T. Three new species of *Hyaella* (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae) from the Southern Brazilian Coastal Plain. **Zootaxa**, v. 4970, n. 2, p. 257-292. 2021b.

THURMAN, L. L. *et al.* Persist in place or shift in space? Evaluating the adaptive capacity of species to climate change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 18, n. 9, p. 520-528, 2020.

TOMIKAWA, K., *et al.* Description of a new thermal species of the genus *Hyaella* from Peru with molecular phylogeny of the family Hyaellidae (Crustacea, Amphipoda). **Invertebrate Systematics**, v. 37, n. 4, p. 254-270. 2023.

TORRES, S. H. S.; BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. D. P. Reproductive aspects of *Hyaella carstica* (Amphipoda: Hyaellidae) in a natural environment in southeastern Brazil. **Nauplius**, v. 23, p. 159-165. 2015.

WALSH, S., *et al.* The establishment of a new culture of *Hyaella azteca* that would permit toxicity tests to be conducted on low-ionic strength waters. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 38, n. 3, p. 585-590. 2019.

WALLER, A.; RAMOS, T.; VERDI, A. Estructura poblacional y aspectos reproductivos de una población de *Hyaella curvispina* (Shoemaker, 1942) de Uruguay. **Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay**, v. 29. 2020.

WALLER, A.; *et al.* Genus *Hyaella* (Amphipoda: Hyaellidae) in Humid Pampas: molecular diversity and a provisional new species. **Arthropod Systematics ; Phylogeny**, v. 80, p. 261-278. 2022.

WALSH, S.; GOSSELIN, I.; LEE, D.; STUART, M. The establishment of a new culture of *Hyaella azteca* that would permit toxicity tests to be conducted on low-ionic strength waters. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 38, n. 3, p. 585-590. 2019.

WESTON, D. P., *et al.* Multiple origins of pyrethroid insecticide resistance across the species complex of a nontarget aquatic crustacean, *Hyaella azteca*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 41, p. 16532-16537. 2013.

WELLBORN, G. A. The mechanistic basis of body size differences between two *Hyaella* (Amphipoda) species. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 9, n. 2, p. 159-168. 1994.

WELLBORN, G. A. Determinants of reproductive success in freshwater amphipod species that experience different mortality regimes. **Animal Behaviour**, v. 50, n. 2, p. 353-363. 1995.

WELLBORN, G. A.; BROUGHTON, R. E. Diversification on an ecologically constrained adaptive landscape. **Molecular Ecology**, v. 17, n. 12, p. 2927-2936. 2008.

WELLBORN, G. A.; COTHRAN, R.; BARTHOLF, S. Life history and allozyme diversification in regional ecomorphs of the *Hyaella azteca* (Crustacea: Amphipoda) species complex. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 84, n. 2, p. 161-175. 2005a.

WELLBORN, G. A.; BARTHOLF, S. E. Ecological context and the importance of body and gnathopod size for pairing success in two amphipod ecomorphs. **Oecologia**, v. 143, p. 308-316. 2005.

WELLBORN, G. A.; CAPPS, E. Establishment of a new population by a single gravid colonist: implications for *Hyalella* biogeography and speciation. **Evolutionary Ecology**, v. 27, p. 101-115. 2013.

ARTIGO 2

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

**VARIAÇÃO POPULACIONAL DO ANFÍPODE TROGLÓBIO *Hyaella veredae*
CARDOSO & BUENO, 2014, DO SUDESTE BRASILEIRO (MALACOSTRACA,
AMPHIPODA)**

RESUMO

Ambientes subterrâneos, com características únicas e peculiares, desempenham um papel fundamental na formação da biodiversidade, influenciando a fisiologia, morfologia e história de vida das espécies. Ou seja, as espécies que colonizam esses ambientes podem apresentar ecologias populacionais distintas. O anfípodo *Hyalella* faz parte do grupo de organismos encontrados no ambiente subterrâneo, e pouco se sabe sobre suas dinâmicas populacionais nesses locais. Portanto, o objetivo desta pesquisa é avaliar os aspectos populacionais das três comunidades de *Hyalella veredae* encontradas em cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais. Os animais foram coletados e levados ao laboratório, onde todos os parâmetros, como sexo, tamanho e fecundidade, foram mensurados. Esses dados foram comparados por meio de Kruskal-Wallis e o método Parwise + Bonferroni test para avaliar se houve diferenças significativas entre as localidades. Ao todo, 184 indivíduos foram coletados, sendo 93 machos, 77 fêmeas, 17 fêmeas ovígeras e 11 juvenis. O tamanho amostral foi considerado baixo quando comparado a outras espécies do gênero. O tamanho médio da espécie foi semelhante a espécies próximas; contudo, não houve diferença intraespecífica. A presença constante de fêmeas ovígeras e juvenis indica reprodução contínua, similar a espécies geograficamente próximas. A razão sexual tendeu a 1:1, um resultado pouco comum para o gênero. A fecundidade da espécie foi a menor entre todas as espécies de *Hyalella* conhecidas. Houve uma correlação negativa fraca entre o tamanho da cabeça das fêmeas e o número de ovos. Os resultados indicam influência tanto do ambiente subterrâneo quanto do epígeo na estruturação populacional desta espécie. O ambiente subterrâneo exerce maior influência sobre a fecundidade e tamanho das fêmeas, enquanto o ambiente epígeo impacta nas épocas reprodutivas. O baixo tamanho amostral talvez tenha sido um fator de influência nos resultados deste estudo.

Palavras – Chave: Troglóbio, dinâmica populacional, aspectos reprodutivos

ABSTRACT

Subterranean environments, with unique and peculiar characteristics, play a fundamental role in shaping biodiversity by influencing the physiology, morphology, and life history of species. In other words, species inhabiting these environments may exhibit distinct population ecologies. The amphipod *Hyaella* is part of the group of organisms found in subterranean environments, and little is known about its population dynamics in these locations. Therefore, the aim of this research is to assess the population aspects of the three communities of *Hyaella veredae* found in caves in Presidente Olegário, Minas Gerais. The animals were collected and taken to the laboratory, where all parameters, such as sex, size, and fecundity, were measured. These data were compared using the Kruskal-Wallis and the Parwise + Bonferroni test to assess significant differences. In total, 184 individuals were collected, comprising 93 males, 77 females, 17 ovigerous females, and 11 juveniles. The sample size was considered low compared to other species in the genus. The average size of the species was similar to nearby species; however, there was no intra-specific difference. The constant presence of ovigerous females and juveniles indicates continuous reproduction, similar to geographically proximate species. The sex ratio tended towards 1:1, an uncommon result for the genus. The species' fecundity was the lowest among all known species of *Hyaella*. A weak negative correlation was observed between the head size of females and the number of eggs. The results indicate an influence of both the subterranean and epigeal environments on the population structure of this species. The subterranean environment exerts a greater influence on the fecundity and size of females, while the epigeal environment impacts reproductive seasons. The low sample size may have been a factor influencing the results of this study.

Keywords: Troglobite, population dynamics, reproductive aspects

1. INTRODUÇÃO

Ambientes subterrâneos são conhecidos pelas suas características únicas, como ausência de luz, uma predominante oligotrofia, umidade e temperatura constantes (Trajano ; Bichuette, 2006). Essas características são modeladoras da biodiversidade que ali coloniza em diversos aspectos, dentre eles a sua fisiologia, morfologia e também sua história de vida (Fong, 2012; Howarth ; Moldovan, 2018).

A história de vida de um organismo é determinada pela sua relação com o ambiente e as condições/recursos que esse meio pode proporcionar (Singh, 2024). Estudos realizados com animais que habitam ambientes hipógeos revelam que os aspectos do ciclo de vida e da dinâmica populacional são influenciados pelo meio subterrâneo (Taylor et al., 2015). Observações em organismos desses ambientes têm revelado variações em aspectos como longevidade, maturidade sexual, tamanho populacional e fecundidade (Fong, 2012; Taylor et al., 2015).

Os trabalhos com enfoque ecológico, seja em população ou em comunidade são um importante passo para o conhecimento mais profundo do ecossistema (Gotelli, 2004). As pesquisas que abrangem o nível populacional, por exemplo, são essenciais para compreender os padrões ecológicos que as espécies apresentam, tais como as flutuações, estabilidade, épocas reprodutivas, dentre outros. Além de somar informação sobre a história de vida (Cooper, 1965; Townsed *et al.*, 2010), o conhecimento destes dados é uma importante ferramenta para a criação de medidas de conservação e proteção.

Os mais diversos animais ocorrem nos ambientes subterrâneos, dentre eles existem os crustáceos da ordem Amphipoda (Väinölä *et al.*, 2008). Estima-se que pelo menos que pelo menos 45% da sua diversidade de espécies de anfípodes, ocorra nestes ambientes (Väinölä *et al.*, 2008, Lowry ; Myers, 2013). No Brasil, dentre as espécies de anfípodes *Hyaella* conhecidas, uma pequena porcentagem ocorre em ambientes subterrâneos. Das 38 espécies brasileiras (Talhaferro *et al.*, 2021; Rangel *et al.*, 2022), pelo menos oito são pertencentes à fauna hipógea, apresentando inclusive traços típicos de animais destes ambientes.

O conhecimento acerca da ecologia e diversidade do gênero *Hyaella* no Brasil, está em constante crescimento, com estudos focados, por exemplo em aspectos populacionais e descrição de novas espécies (Castiglioni ; Bond-Buckup 2007, 2008a, 2008b, 2009; Castiglioni *et al.* 2007; Torres *et al.* 2015; Bastos-Pereira ; Bueno 2016a, 2016b; Castiglioni

et al. 2016; Ozga ; Castiglioni 2017; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; César 2019; Castiglioni, *et al.*, 2020). No entanto, grande parte destas pesquisas em ecologia são feitas com espécies epígeas, enquanto com as hipógeas ainda são escassas.

A *Hyalella veredae* Cardoso ; Bueno, 2014 é uma espécie troglóbia, possuindo características típicas de organismos cavernícolas, como aumento de apêndices, tegumento despigmentado e ausência ou redução dos olhos. A espécie ocorre em quatro cavernas distintas: a Lapa da Fazenda de São Bernardo, a Lapa Zé de Sidinei, a Toca do Charco e a sua localidade-tipo, a Lapa Vereda da Palha (Zepon *et al.*, 2021). Outra diferença entre as populações, são os microhabitats que estas ocorrem, sendo que duas estão em locais com dinâmicas semelhantes (Zepon *et al.*, 2021). Os estudos já desenvolvidos com esta espécie são a sua descrição, distribuição e a relação da sua morfologia com o microhabitat (Cardoso *et al.*, 2014; Borges, 2020; Zepon *et al.*, 2021), contudo os seus aspectos populacionais ainda são desconhecidos.

Análises preliminares, baseadas em observações pessoais, sugerem que as três populações podem apresentar dinâmicas populacionais distintas, possivelmente influenciadas pela complexidade das cavernas onde estão localizadas. Dessa forma, o objetivo deste artigo é detalhar os aspectos populacionais das três comunidades de *Hyalella veredae* encontradas em Presidente Olegário, Minas Gerais. Serão examinados elementos como os períodos reprodutivos, variação de tamanho corporal entre diferentes classes, maturidade sexual, fecundidade e semelhanças entre as populações. O entendimento desses aspectos contribuirá para a expansão dos estudos e pesquisas relacionados ao gênero, proporcionando dados inéditos sobre essa espécie troglóbia.

Portanto, as perguntas investigadas para esta pesquisa foram: A) Por estarem em microhabitats semelhantes, as populações das cavernas São Bernardo e Zé de Sidinei têm os aspectos populacionais semelhantes? B) A população da Toca do Charco se reproduz ao longo de todo ano, por estar em um ambiente com constante disponibilidade de alimento e aspectos abióticos estáveis? C) Como a fecundidade das três populações se relaciona com o tamanho das fêmeas? Existe uma relação inversamente proporcional, ou seja, as fêmeas maiores terão um número menor de ovos, mas com ovos de maior volume?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

As cavernas onde as populações ocorrem estão localizadas no município de Presidente Olegário, em Minas Gerais, no sudeste brasileiro ($18^{\circ}25'4''\text{S}$, $46^{\circ}25'4''\text{W}$). O ambiente está ao sul da bacia do Alto São Francisco e está inserido nas drenagens da sub-bacia do rio Paracatu. As cavernas pertencem ao afloramento horizontal de calcário do Grupo Bambuí, datado do Proterozóico Superior (Secutti ; Bichuette 2013) (Fig. 1).

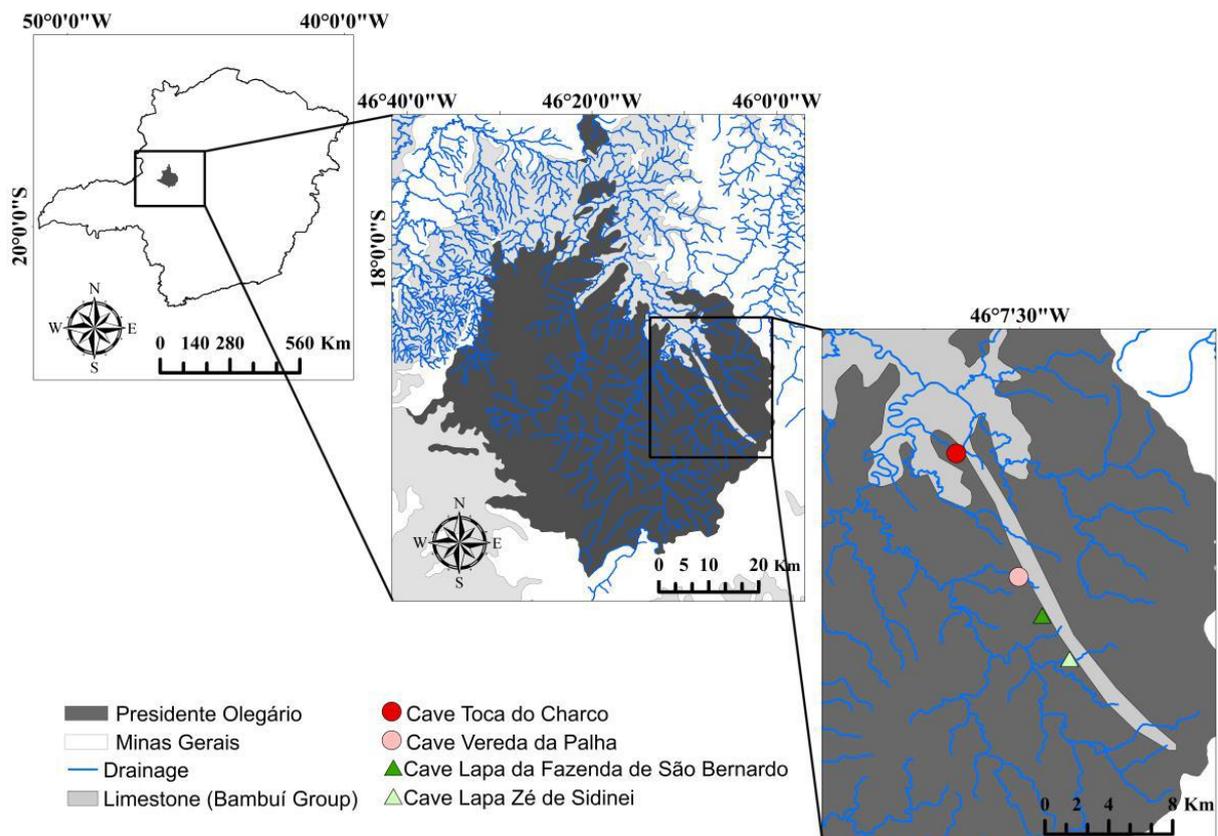


Figura 1. Localidades da *Hyaella veredae* no município de Presidente Olegário - Minas Gerais. Fonte: Borges, 2020

As cavernas estão a uma altitude aproximada de 900 metros, tendo um clima predominantemente sub quente e semiúmido. A estação seca começa em abril e termina em agosto. A vegetação do entorno é tipicamente cerrado, anteriormente impactado por agricultura e plantações de Eucalyptus, mas que em alguns trechos está se recuperando (Secutti ; Bichuette 2013; Resende *et al.* 2016; Gallão ; Bichuette 2018).

As populações de *H. veredae* estão localizadas em quatro cavernas distintas: Lapa Vereda da Palha (VP), Lapa Zé de Sidinei (ZS), Toca do Charco (TC) e Lapa da Fazenda de São Bernardo (SB). As cavernas têm habitats diferentes, como demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 1. Características das cavernas localizadas em Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.

Cave	Coordinates	Drainage types	Site sampled
Lapa Vereda da Palha (VP)	18°15'18.77"S, 46°07'33.63"W	A epigean stream and a hypogean subterranean stream	Travertine dams
Lapa Zé de Sidinei (ZS)	18°18'05.62"S, 46°05'40.63" W	A hypogean stream	Subterranean stream
Toca do Charco (TC)	18°11'05.63"S, 46°09'39.31"W	A small lake formed by phreatic water	Small lake
Lapa da Fazenda de São Bernardo (SB)	18°16'36.83"S, 46°06'45.52"W	A small hypogean stream	Subterranean stream

Fonte: Borges, 2020

2.2. Amostragem dos anfípodos *Hyaella veredae*

As coletas das populações ocorreram em três períodos distintos, a primeira de setembro de 2013 a setembro de 2014, mensalmente. A segunda em julho de 2019 e a última em janeiro de 2021. As coletas tiveram apoio do Laboratório de Estudos Subterrâneos da UFSCar, o LES-BIO, em 2019 e do Laboratório Centro de Estudos em Biologia Subterrânea da UFLA, o CEBS, em 2021. A primeira coleta foi feita exclusivamente pela equipe do LES-BIO. Os organismos foram coletados através de busca ativa, sem determinação de tempo e com o auxílio de uma pipeta. As amostras foram conservadas em eppendorfs com álcool 70%. Os parâmetros ambientais foram medidos apenas nos anos de 2019 e 2021, a fim de apenas caracterizar o ambiente que estes animais vivem. Os indivíduos foram levados ao laboratório de Carcinologia da UFLA para as análises.

As populações foram determinadas como sendo da mesma espécie, de acordo com a pesquisa de Zepon e colaboradores, 2021. Em laboratório, os organismos foram sexados e identificados para avaliar se todos as populações eram da mesma espécie, de acordo com o artigo de descrição da espécie (Cardoso *et al.*, 2014), comparada com lâminas permanentes confeccionadas em laboratório e depositadas na coleção do laboratório de Carcinologia da UFLA. No ato da sexagem, os organismos foram divididos em 4 categorias distintas, sendo

elas A) Fêmeas, B) Fêmeas Ovíferas/FO (com ovos no marsúpio), C) Machos e D) Juvenis (menor que a menor fêmea ovígera encontrada) (Bastos- Pereira; Bueno, 2016b).

Além disso, os animais foram todos fotografados inteiros com um estereomicroscópio com câmera acoplada ZEISS, onde foram medidos quanto ao comprimento da cabeça (CC). As fêmeas ovíferas foram dissecadas, com o auxílio de uma agulha, para a contagem e medição dos ovos que estavam em seu marsúpio.

2.3. Análises estatísticas

Devido à natureza das populações de caverna, comumente, serem menores e mais difíceis de serem coletadas, o N amostral tende a ser baixo. Devido a isto, os resultados obtidos durante este projeto, serão de natureza descritiva em sua maior parte. Tendo apenas algumas análises estatísticas feitas, relacionadas a aspectos reprodutivos.

Os crustáceos coletados para este experimento, foram agrupados em períodos de chuva (entre os meses de outubro a abril) e de seca (maio a setembro). Essa categorização foi feita a fim de aumentar o poder estatístico (Østbye *et al.*, 2018) desses dados devido ao baixo N amostral.

Inicialmente os dados passaram por um teste de normalidade de Shapiro-wilk, para determinar se seriam feitos testes paramétricos ou não paramétricos. Os aspectos do ciclo de vida de cada população, foram analisados das seguintes formas: se houve diferenças na abundância dos animais por estação, e por caverna, através de uma análise da Kruskal-Wallis; para comparar tamanho de CC entre as categorias foi feito Kruskal- Wallis e confirmado com um *Pairwise comparison*, com o método de ajuste Bonferroni. Também comparou-se se existem diferenças das categorias entre as populações.

A razão sexual (OSR) foi determinada dividindo o número total de machos pelo número total de fêmeas para cada população. Um teste de qui-quadrado foi aplicado para avaliar se houve significância. Foi considerado como indicador de maturidade sexual, os tamanhos maiores do que a menor fêmea ovígera coletada. A fecundidade foi calculada e comparada entre estações e entre populações, através de uma Kruskal - Wallis. Uma correlação de Pearson foi realizada para avaliar se existe correlação entre o tamanho das fêmeas e o número de ovos para todas as populações. Toda as Análises foram feitas pelo programa R versão 4.3.2

3. RESULTADOS

3.1. Abundância populacional e estrutura populacional

Ao todo foram coletados 184 indivíduos ao longo das campanhas, sendo 77 fêmeas, 17 fêmeas ovígeras, 93 machos e 11 juvenis. O período de chuva, foi o que apresentou maior abundância de indivíduos, para todas as categorias avaliadas (Tabela 2). O período de seca apresentou a menor abundância e também o menor número de fêmeas ovígeras e juvenis coletadas. Justamente durante este período que a caverna Lapa Zé de Sidnei, não obteve nenhuma FO. Os juvenis só estiveram presentes na caverna SB, tendo sua maior abundância de indivíduos no período chuvoso (Fig. 2). Embora a ocorrência de mais indivíduos na época chuvosa, não houve diferença significativa entre estações ($p = 0.4115$), nem entre cavernas por estações ($p = 0.85$ estação seca; $p = 0.202$ estação chuvosa)

Tabela 2. Número absoluto de indivíduos de *Hyalella veredae* coletados

Categoria	Estação	
	Chuva	Seca
F	43	33
FO	14	3
J	10	1
M	59	35

Legenda: F - Fêmeas; FO - Fêmeas Ovígeras; J - Juvenis; M - Machos. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Na Lapa Vereda da Palha, foram coletados apenas 2 indivíduos em 2019, sendo um macho e uma fêmea, e por este motivo não foi utilizado no restante do estudo. Embora a visita na localidade em anos e em épocas diferentes, a coleta destes organismos nesta caverna é bem rara, gerando um N amostral baixíssimo. As outras categorias não foram encontradas em nenhuma coleta realizada.

Em relação à frequência relativa das categorias analisadas, observou-se que os juvenis e as fêmeas ovígeras foram as classes menos representativas nas três populações estudadas, durante todas as estações e de maneira geral (Fig. 1, 2, 3 e 4). Embora os machos e as fêmeas tenham apresentado, em geral, proporções semelhantes dentro das populações, as fêmeas ovígeras representaram uma pequena parcela (Figs. 1, 2, 3, 4 e 5). Os juvenis eram escassos, com exceção da população encontrada na caverna de SB (Fig.1; Tabela 2).

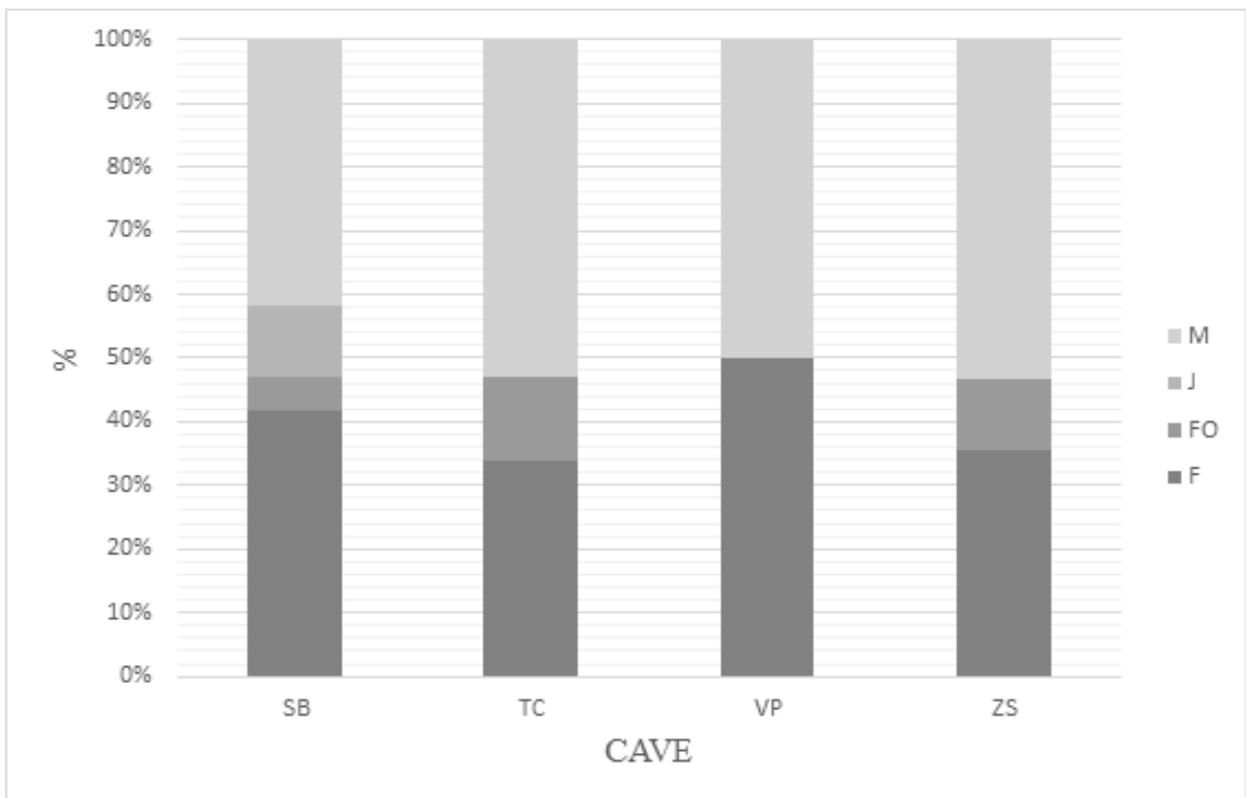


Figura 2. Abundância relativa (%) de *Hyalella veredae* das categorias amostradas por caverna. Legenda: F - refere-se a Fêmeas; M - refere-se a Machos; J - são os juvenis e FO - As fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Apesar do número diminuto de juvenis coletados em SB, é possível hipotetizar que houve reprodução contínua nessa população (Fig. 1 e 2; Tabela 1). Além disso, foi observado um pequeno pico na época chuvosa, que coincidiu com o período de maior coleta de juvenis (Tabela 1). Não foi observado esse dado nas outras populações analisadas (Fig. 2, 3 e 4). Os juvenis e as fêmeas ovígeras apresentaram baixa representatividade nas três populações estudadas, enquanto machos e fêmeas apresentaram números semelhantes (Fig. 2, 3 e 4). Ainda, a população encontrada na caverna de SB apresentou um pequeno pico de juvenis na época chuvosa, indicando possível reprodução contínua nessa população (Tabela 1, Fig.2).

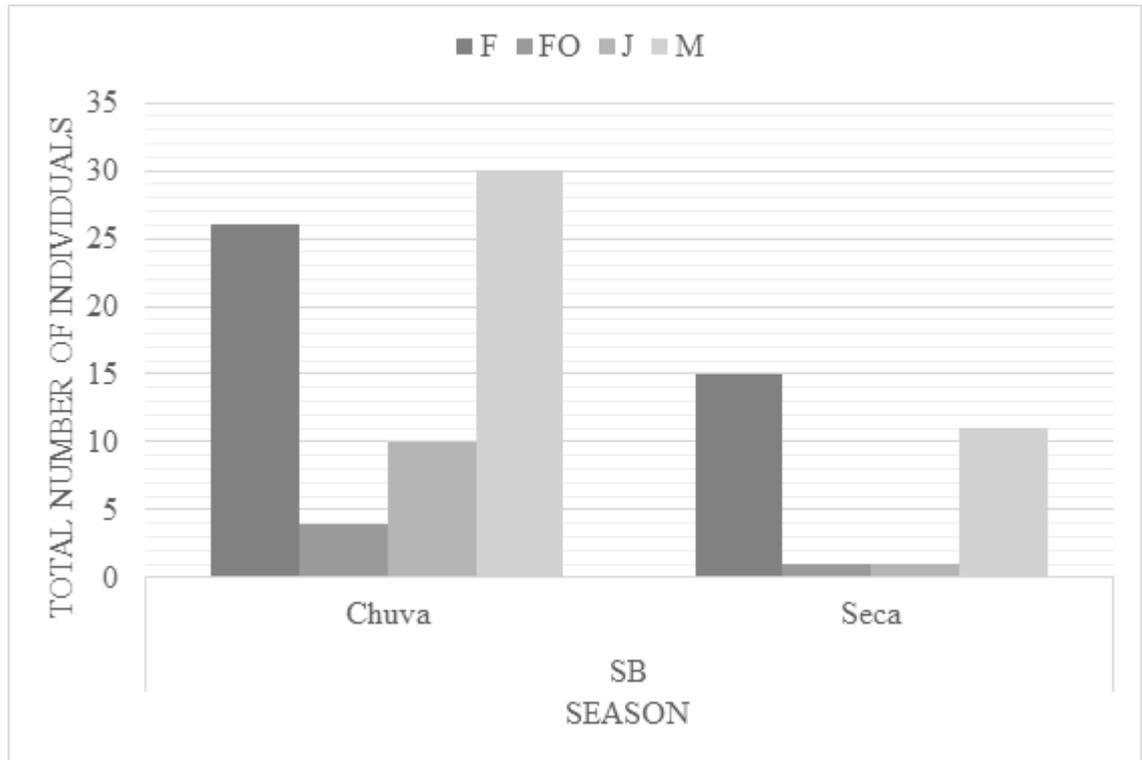


Figura 3. Número absoluto de indivíduos de *H. veredae* por estação para a população da caverna Lapa de São Bernardo, por estação. Legenda: SB - Lapa de São Bernardo; F - refere-se a Fêmeas; M - refere-se a Machos; Juv - são os juvenis e FO - As fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

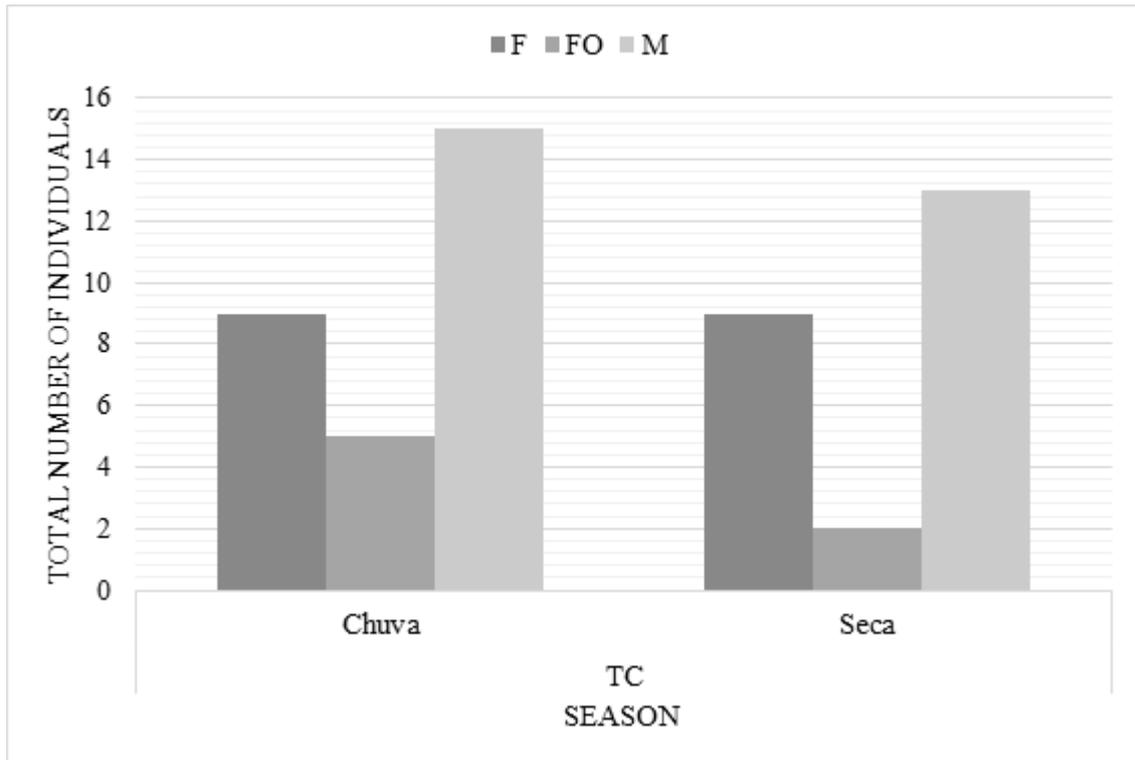


Figura 4. Número absoluto de indivíduos por estação para a população da caverna Toca do Charco, por estação. Legenda: TC - Toca do Charco; F - refere-se a Fêmeas; M - refere-se a Machos; Juv - são os juvenis e FO - As fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

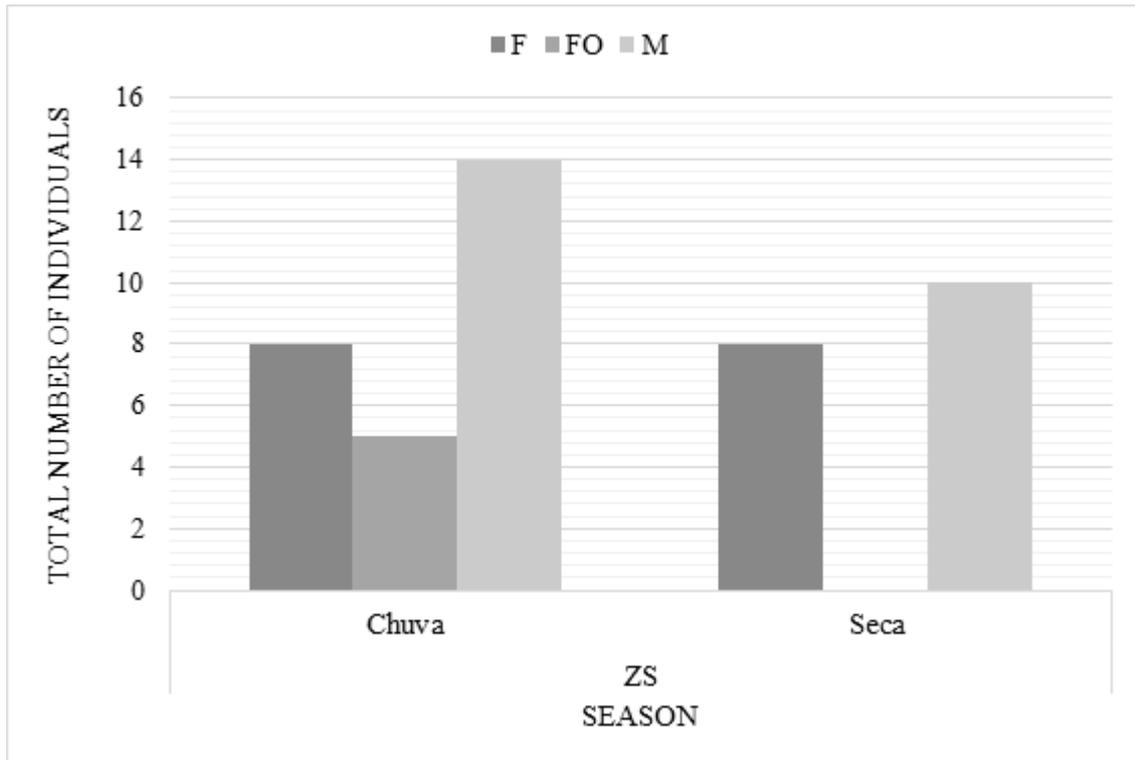


Figura 5. Número absoluto de indivíduos de *H. veredae* por estação para a população da caverna Lapa de Zé de Sidinei por estação. Legenda: ZS - Lapa Zé de Sidinei; F - refere-se a Fêmeas; M - refere-se a Machos; Juv - são os juvenis e FO - As fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

/ Estação								
SB	0,49	0.07	0,56	0.07	0,19	0.07	0,53	0.07
Chuva	0,52	0.04	0,59	0.05	0,17	0.05	0,53	0.07
Seca	0,44	0.08	0,45	0	0,36	0	0,54	0.06
TC	0,45	0.07	0,45	0.04	-	-	0,48	0.07
Chuva	0,49	0.05	0,44	0.04	-	-	0,47	0.08
Seca	0,41	0.08	0,48	0.06	-	-	0,49	0.06
VP	0,41	0	-	-	-	-	0,43	0
Seca	0,41	0	-	-	-	-	0,43	0
ZS	0,43	0.08	0,52	0.07	-	-	0,48	0.07
Chuva	0,39	0.08	0,52	0.07	-	-	0,48	0.07
Seca	0,46	0.05	-	-	-	-	0,49	0.07

Legenda: “F” representa as Fêmeas; “FO” as fêmeas ovígeras; “J” os juvenis; “M” os machos. SD indica o desvio padrão. SB - Cave Lapa de São Bernardo; TC - Cave Toca do Charco; VP - Lapa Vereda da Palha e ZS - Lapa Zé de Sidinei; Os locais preenchidos por “-” indicam ausência de valor, devido a falta de coleta de indivíduos. Os representados por “0”, é devido à coleta de um único indivíduo, o que não permite o cálculo do SD. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Tabela 4. Analise *Pairwise comparisons* com o método Bonferroni-test, para demonstrar as diferenças entre categorias.

	F	FO	J
FO	1.0	-	-
J	1.1 ⁻⁶	5.0 ⁻⁵	-
M	0.1	1.0	4.5 ⁻⁷

Legenda: F - refere-se a Fêmeas; M - refere-se a Machos; Juv - são os juvenis e FO - As fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Ao observar o OSR de *Hyalella veredae*., foi possível observar que a proporção entre machos e fêmeas é próxima de 1M:1F ($X^2 = 2.382$; $p = 0.1228$) para todas as cavernas

estudadas (Fig. 1 a 5), entre estações e de forma geral. Sendo em ZS, 1.53:1 ($X^2 = 1.6$ $p = 0.2059$), seguido por 1.52:1 para TC ($X^2 = 2.6889$; $p = 0.1011$) e 0.92:1 em SB ($X^2 = 0.012$; $p = 0.91$) de machos por fêmea. O total geral indica uma razão de 1.19:1. A razão sexual entre estações, fica sendo para chuva de 1.39:1 ($X^2 = 2.80$; $p = 0.09$) e para a seca, 1.09:1 ($X^2 = 0.1343$; $p = 0.714$) de machos por fêmea. Portanto, todas as populações apresentaram uma proporção equilibrada de número de machos em relação ao número de fêmeas.

3.2. Aspectos reprodutivos

A fecundidade total variou entre as três populações estudadas, sendo que as FO da caverna ZS apresentaram a maior taxa, de 7.6 ± 4.8 , seguido por TC 2.85 ± 2.26 e por fim ZS com 2.8 ± 2.26 ovos por fêmea (Fig.7). A comparação entre estações, trouxe algumas informações interessantes. A época chuvosa foi a que apresentou o maior número de ovos por fêmea, para a caverna TC (Fig. 8). Contudo, a Caverna Lapa de São Bernardo, teve seu pico médio de número de ovos na época seca, com ± 5 ovos por fêmea. Já na Caverna ZS, houve FO apenas no período chuvoso. Contudo, o teste de Kruskal-Wallis demonstrou ausência de diferenças significativas na fecundidade entre estações ($p = 0.1467$) e entre cavernas ($p = 0.5249$).

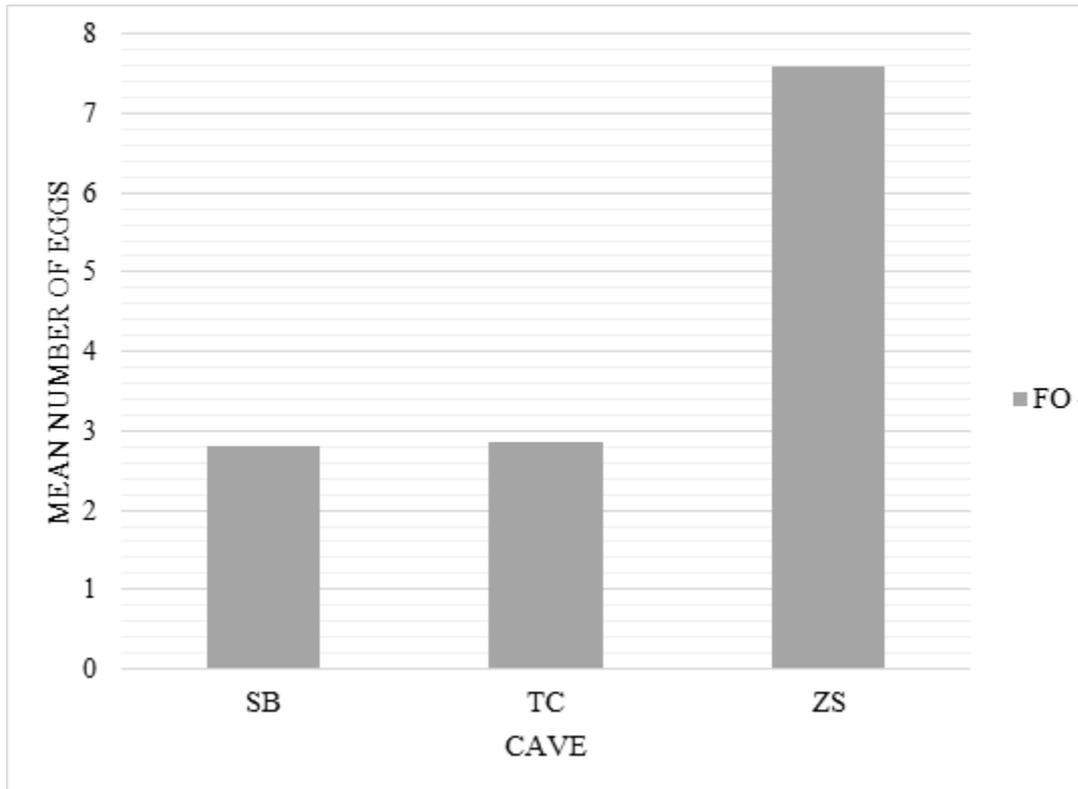


Figura 7. Número médio de ovos por fêmea de *H. veredae* por população. Legenda: SB - Lapa de São Bernardo; TC - Toca do Charco; ZS - Lapa Zé de Sidinei; FO - refere-se às fêmeas ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023).

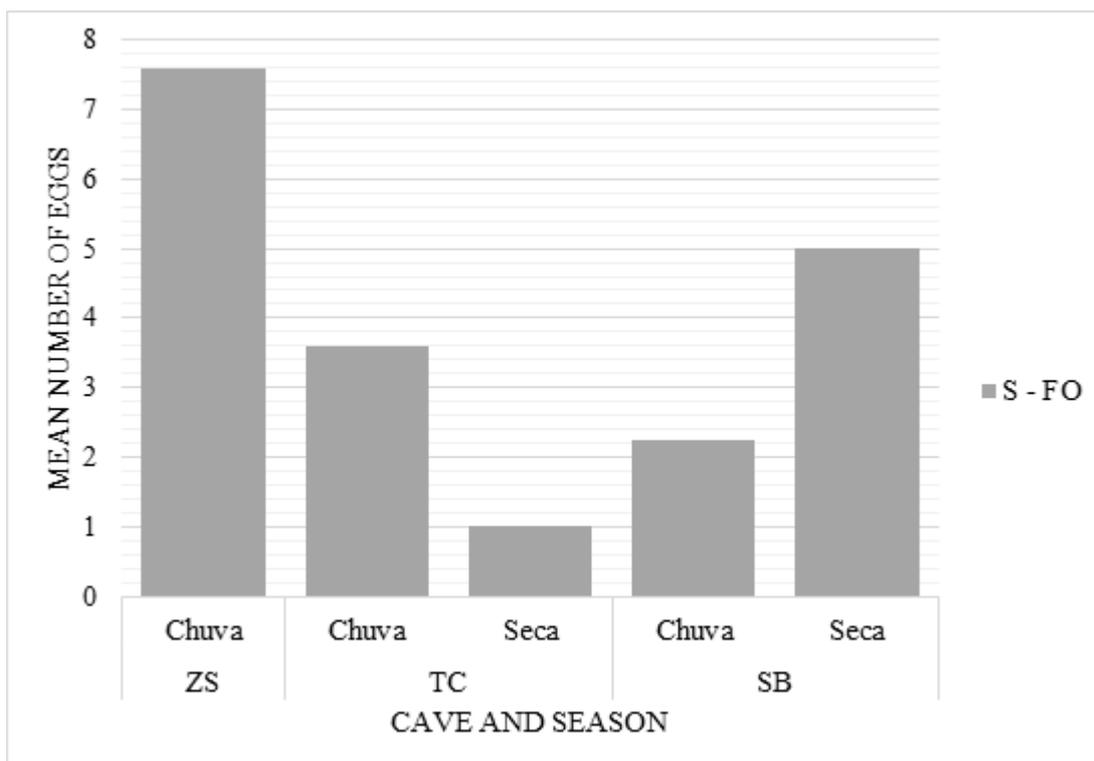


Figura 8. Número absoluto de Fêmeas Ovíferas de *H. veredae* por população e entre estações. Legenda: SB - Lapa de São Bernardo; TC - Toca do Charco; ZS - Lapa Zé de Sidinei; FO - refere-se às fêmeas ovíferas. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Em relação ao tamanho das fêmeas, parece haver uma leve tendência negativa entre o tamanho da cabeça e o número de ovos. Através da correlação de Pearson, foi possível observar que quanto maior a fêmea, menor o número de ovos que ela carrega em seu marsúpio (Fig. 9). No entanto, essa tendência foi considerada fraca, de acordo com os resultados da análise. A correlação de Pearson entre o tamanho da cabeça (C) e o número de ovos é igual a -0.1280433 . O valor negativo indica uma correlação fraca e negativa entre as variáveis. No entanto, como a correlação é próxima de zero, a relação linear entre as variáveis é considerada fraca.

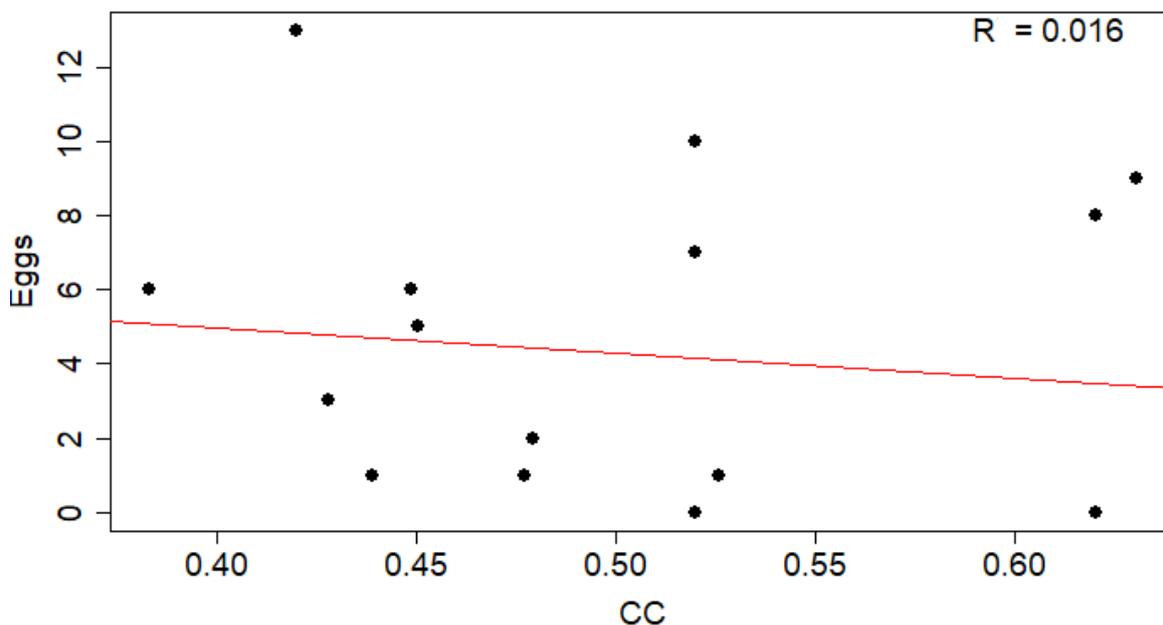


Figura 9. Gráfico com os resultados da análise de correlação de Pearson entre o tamanho da cabeça e o número de ovos. Fonte: Do próprio Autor (2023).

3.3. Dados abióticos

O período seco (Junho de 2019), apresentou valores inferiores para Temperatura e Oxigênio dissolvido, em todas as cavernas amostradas. A condutividade apresentou maior valores durante o período de seca, e menores durante o período de chuva (Janeiro de 2021). O Ph manteve-se relativamente estável durante as duas estações amostradas (Tabela 6.).

Tabela 6. Variáveis abióticas das cavernas amostradas.

Caverna	Temp (°C)	Cond (mS/cm)	Ph	OD (mg/L)
Junho de 2019				
Toca do Charco	18.1	533	6.93	1.38
Lapa São Bernardo	16.4	512	7.62	6.95
Zé de Sidnei	14.1	539	7.61	10.31

Janeiro de 2021				
Toca do Charco	23.9	-	6.54	5.15
Lapa de São Bernardo	21.7	393	7.24	19.32
Zé de Sidnei	19.3	317	6.77	19.9

Obs: “Temp” refere-se a temperatura, “Cond” a condutividade e “OD” ao Oxigênio Dissolvido. Fonte: Do próprio Autor (2023).

4. DISCUSSÃO

Embora o Brasil tenha o conhecimento mais abrangente sobre a diversidade do gênero *Hyaella* (Talhaferro *et al.*, 2021; Lindenberg *et al.*, 2022), nota-se um desequilíbrio em relação aos estudos populacionais, em relação aos estudos taxonômicos, especialmente quando voltados para sua fauna estigobionte. Dentre os 42% das espécies que tem sua história de vida - ou parte dela - conhecida, nenhuma envolve espécies subterrâneas (como demonstrado no artigo 1 desta tese). Os dados ecológicos obtidos através desta pesquisa além de serem inéditos, são singulares por se tratarem de uma espécie de *Hyaella* que ocorre em um ambiente subterrâneo e com populações em diferentes microhabitats (Cardoso *et al.*, 2014; Zepon *et al.*, 2021).

As populações de *H. veredae* avaliadas apresentaram aspectos populacionais semelhantes, embora tenham diferenças morfológicas, conforme relatado na pesquisa de Borges (2020). Diversos estudos demonstram que o ambiente subterrâneo é capaz de gerar uma seleção capaz de causar uma convergência de traços populacionais, levando a diferentes espécies terem dinâmicas semelhantes (Venarsky *et al.*, 2023). Contudo, em geral, a morfologia está muito associada aos seus traços de vida (Venarsky *et al.*, 2023), o que não ocorre para as populações desta espécie em específico, como veremos e discutiremos a frente. As dinâmicas populacionais encontradas entre as populações desta espécie, são semelhantes. A espécie tem inclusive, padrões semelhantes a espécies epígeas, que ocorrem em nascentes (Borges, 2017).

4.1. Abundância e estrutura populacional

Em comparação a outras espécies do gênero, a abundância das populações de *H. veredae* é bem diminuta. Espécies como, *H. bonariensis*, *H. gauchensis*, *H. georginae*, *H. longistila* chegam a variar entre 120 a 500 espécimes coletados por campanha de coleta (Castiglioni *et al.*, 2015; Bastos- Pereira ; Bueno, 2016; Ozga *et al.*, 2018). A abundância *H. veredae* só chegou próximo ao N mínimo destas espécies citadas, quando somado todas as coletas realizadas. Sua abundância populacional só foi semelhante à espécie epígea *H. minensis* (Artigo 1), espécie esta que ocorre em uma pequena nascente, com no máximo 30 cm de profundidade.

A baixa densidade populacional para *H. veredae* pode estar associada às características bióticas e abióticas de seu ambiente e habitat, ao *template* do habitat subterrâneo (Venarsky *et al.*, 2023). Embora existam populações abundantes, é comum o número reduzido de espécimes por coleta na fauna subterrânea, quando comparada a fauna epígea. Estudos demonstram que espécies que ocorrem dentro de caverna, tendem a ter densidades menores do que aquelas espécies relacionadas que ocorrem em ambiente externo (Casane *et al.*, 2023).

A migração de indivíduos entre poças, em busca de recursos e condições melhores podem ocorrer (Zepon *et al.*, 2021; Cardoso *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2015), além do arraste dos mesmos durante períodos chuvosos (Culver, 1972; Allan, 1995; Mundhal *et al.*, 2011; Wellborn ; Capps, 2013; Willbanks ; Mullis, 2022), causando pequenas alterações em suas abundâncias (Culver, 1972). Esses fatores, junto com as condições únicas do ambiente subterrâneo, como a oligotrofia e espaços restritos, podem levar a populações menores e pequenas alterações na abundância da *H. veredae* (Trajano ; Bichuette, 2006; Zepon *et al.*, 2021; Venarsky *et al.*, 2023).

As três populações estudadas de *Hyalella veredae* não se diferenciam quanto ao seu tamanho de cabeça e são semelhantes a outras espécies tanto hipógeas quanto epígeas, como é o caso, por exemplo da *Hyalella formosa* Cardoso ; Bueno, 2014, *H. imbya* Rodrigues ; Bueno 2012, *H. spelaea* Bueno ; Cardoso, 2011, *H. carstica* Bastos-Pereira ; Bueno, 2012, *H. minensis* Bastos-Pereira ; Bueno, 2013, *H. longistila* (Faxon, 1876) (Rodrigues *et al.*, 2012; Cardoso *et al.*, 2011, 2014; Bastos- Pereira ; Bueno, 2012, 2013). Sendo maior, apenas que uma espécie estigobionte, a *H. epikarstica* (Rodrigues *et al.*, 2014). A *H. veredae* tem tamanho semelhante tanto as espécies que estão próximas geograficamente, como aquelas que

ocorrem em latitudes mais distantes, como é o caso da *H. bonariensis* ou mesmo *H. palmeirensis* (Castiglioni, *et al.*, 2015; 2020)

O tamanho de um organismo pode estar relacionado a fatores tanto bióticos como abióticos. Pode ser relacionado a mecanismos de *trade-off*, relações intraespecíficas e interespecíficas. E tem um impacto sobre a dinâmica populacional, em relação a taxas de sobrevivência e reprodução. Estudos como de Wellborn e colaboradores 2002, demonstraram que a presença ou ausência de um predador pode causar um efeito seletor no tamanho de anfípodes. O tamanho corporal e a temperatura também podem ter uma ligação (Panov, 1998). No caso de espécies de caverna, em específico, o tamanho do microhabitat que está espécie se encontra, também pode ter relação direta tanto com seu tamanho corporal como de seus apêndices (Culver *et al.*, 2010; Trontelj *et al.*, 2012; Fišer *et al.*, 2023), devido a restrição que esses habitats e ambientes podem apresentar. Partindo então destes pressupostos, podemos hipotetizar que a restrição em seu tamanho venha, tanto de fatores externos quanto ao do ambiente cavernícola (Sainte- Marie, 1991; Panov, 1998, Wellborn *et al.*, 2002)

A razão sexual não tendeu para nenhum dos gêneros, para *H. veredae*, mesmo em estações e microhabitat diferentes. Em estudos como de Dickson e Holsinger de 1981 e Premate e colaboradores, 2021, onde as populações do anfípodes *Crangonyx antennatus*, Packard 1881, ou com os anfípodes do gênero *Niphargus* demonstraram também este padrão, contudo este último gênero, parece sofrer uma influência do habitat na razão sexual. A razão sexual da *H. veredae* pode não sofrer influência em relação ao microhabitat ou habitat, como no caso de *Niphargus* (Premate *et al.*, 2021), ou então a falta de tendencia na razão sexual, podem ser consequência da dificuldade de coleta destes animais.

Quando comparado a outras espécies do gênero, apenas a epígea *Hyaella pampeana* que também não tem uma razão sexual tendendo a algum dos sexos (Colla ; Cesar, 2019). A pesquisa realizada por Moore em 1981, discute que a razão sexual dentro de anfípodes, tende a ser 1:1, com possíveis tendências para ou machos ou fêmeas, dependendo de variações sazonais. Dentro de *Hyaella* é comum encontrar razões tendendo as fêmeas ou para machos, dificilmente na proporção 1:1 (Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008; Ozga *et al.*, 2018; Castiglioni *et al.*, 2020; Penoni *et al.*, 2021). Diversas espécies do gênero *Hyaella* possuem populações onde a razão sexual tende a machos, como para as espécies *H. virginiae*; *H. longistila* e *H. minensis* (Bastos-Pereira ; Bueno, 2016; Borges, 2016; Penoni *et al.*, 2021). Ou então, mais raramente, tendendo a fêmeas, como em *H. bonariensis*, *H. castroi*, *H. pleoacuta*,

H. gauchensis e *H. georginae* (Castiglioni *et al.*, 2008; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019) Porém, como demonstrado por Moore (1981), Emmerson (1984) e Wellborn e colaboradores (2007), essa tendencia de 1:1 em anfípodes, ou seja, sem um sexo dominante, pode estar relacionado aos seus papeis reprodutivos, sincronicidade de estar apto a reprodução e a competição pela fertilização realizada pelos machos, podem garantir esse equilibrio.

4.2. Aspectos reprodutivos

A presença constante de fêmeas ovígeras em quase todas as cavernas, com exceção de ZS para fêmeas ovígeras e TC e ZS para juvenis, indicam a iteroparidade como estratégia reprodutiva (Castiglioni *et al.*, 2008; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016b; Venarsky *et al.*, 2023). A iteroparidade é uma estratégia comum tanto dentro da ordem Amphipoda como do gênero *Hyalella*, como já observados para diversas espécies do gênero (Wildish, 1982; Castiglioni *et al.*, 2008; Bastos- Pereira ; Bueno, 2016b; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019). A estratégia parece comum também entre espécies subterrâneas (Venarsky *et al.*, 2023), contudo, a prole tende a ser pequena para maximizar sua sobrevivência (Fiser *et al.*, 2013; Venarsky *et al.*, 2023). Maximizar a sobrevivência de novos indivíduos, é essencial frente a um ambiente desafiadores (Trajano ; Bichuette, 2006; Fiser *et al.*, 2013; Venarsky *et al.*, 2023)

O tamanho médio encontrado para as FO em *Hyalella veredae* foi semelhante a espécies que estão geograficamente próximas e em ecorregiões parecidas, como é o caso das *Hyalella carstica*, *H. longistila*, *H. minensis*, *H. bala* e *H. virgineae* , embora tenham diferenças em suas fertilidades (Torres *et al.*, 2015; Bastos- Pereira ; Bueno, 2016; Borges, 2017; Penoni *et al.*, 2021). Contudo, ainda assim, se assemelham com três espécies de latitudes maiores, o que é diferente para o gênero, sendo elas *H. bonariensis*, *H. palmeirensis* e *H. gauchensis* (Castiglioni *et al.*, 2015; Ozga ; Castiglioni, 2017; Castiglioni *et al.*, 2020). Dentro do gênero *Hyalella* e ordem Amphipoda dois fatores influenciam a reprodução destes animais, a temperatura e a presença de predadores, como citado anteriormente, e a estabilidade do ambiente (Wellborn *et al.*, 2002)

Ambientes que tendem a ser pouco estáveis, acabam favorecendo populações que sejam mais r - estrategistas, ou seja, eles atingem a maturidade sexual mais cedo e em tamanho menores, logo se reproduzindo em tamanhos menores (Hogg *et al.*, 1996; Wellborn *et al.*, 2004; Carscadden *et al.*, 2020; Thurman *et al.*, 2020; ; Koffel *et al.*, 2021; Singh, 2024).

Partindo do pressuposto em que, como o ambiente é instável, reproduzir-se o mais cedo o possível, permitiria liberar logo novos e muitos indivíduos para população, o que aumentaria a taxa de sobrevivência daquela espécie (Carscadden *et al.*, 2020; Thurman *et al.*, 2020; ; Koffel *et al.*, 2021; Singh, 2024).

Diferentemente de espécies k-estrategistas, que investem em crescimento e demoram mais para reproduzir, e muitas vezes, tem proles em poucas quantidades, para maximizar a chance de sobrevivência do indivíduo (Carscadden *et al.*, 2020; Thurman *et al.*, 2020; ; Koffel *et al.*, 2021, Singh, 2024). A espécie *H. veredae* está inserida em um ambiente com condições atípicas e com momentos de instabilidade, porém relativa estabilidade (Zepon *et al.*, 2021), o que poderia favorecer então o amadurecimento sexual em tamanhos menores, tendo fêmeas ovígeras de tamanho semelhante a fêmeas não ovígeras e a outras espécies que estão em latitudes semelhantes. Contudo, isto é apenas uma hipótese, como não foi possível determinar a maturidade sexual dos indivíduos, não é possível confirmar tal conjectura.

4.3. O ambiente subterrâneo versus aspectos populacionais

O ambiente é um grande modulador na seleção da adaptabilidade de um animal, seja morfológico, fisiológico e ecológico (Trajano ; Bichuette, 2006; Malard *et al.*, 2023). Diversos estudos demonstram a influência do ambiente subterrâneo sobre a morfologia dos animais que vivem ali, principalmente em relação ao aumento de apêndices (ex: antenas e pereiópodos) e despigmentação dos olhos e tegumento (Trajano ; Bichuette, 2006; Fiser *et al.*, 2013; Fišer *et al.*, 2023; Malard *et al.*, 2023). Não é diferente para *Hyaella veredae*, onde foi observada este padrão, tanto em relação a influência deste ambiente sobre estes traços, como a influência também do microhabitat (Borges, 2020).

O mesmo acontece com os aspectos ecológicos, relacionados ao ambiente cavernícola. As fêmeas do gênero *Niphargus*, por exemplo, tendem a ser maiores, mais robustas e com poucos ovos, enquanto as espécies de superfície são menores, têm menos ovos e em menores volumes (Fišer *et al.*, 2013). No caso da *Hyaella veredae* encontramos padrões semelhantes, mas ainda assim, discutíveis. A fertilidade média de todas as populações é inferior a quase todas as espécies com ecologia reprodutiva conhecida. Sendo aproximado apenas (ainda sim inferior) a *H. minensis*, *H. pampeana* e *H. bala* (Borges, 2017; Colla ; Cesar, 2019; Penoni *et al.*, 2021).

A espécie *H. minensis* é a mais próxima geograficamente da *H. veredae* e é a que apresenta um número menor de ovos, por fêmea, inferior à espécie foco deste estudo. Assim como foi descrito para *H. minensis* (Borges, 2016), a baixa fecundidade pode estar relacionada a condições abióticas e a possivelmente a um maior cuidado parental, para maximizar as chances de sobrevivência dos novos indivíduos, principalmente pensando em um ambiente tão peculiar quanto o de caverna, no caso da *H. veredae* (Dick *et al.*, 1998; Thiel, 1999; Fišer *et al.*, 2013; Venarsky *et al.*, 2023).

Contudo, não houve nenhuma diferença em relação a sua abundância entre estações, mesmo quando somado os anos, para esta espécie. O estudo realizado com o camarão *Troglocaris anophthalmus* Dormitzer, 1853, utilizando métodos de captura e recaptura, demonstrou o mesmo padrão (Jugovic, *et al.*, 2015). O ambiente subterrâneo apresenta uma maior estabilidade do que o ambiente externo. Com exceção de “inputs” de fluxos de água e matéria orgânica, ele mantém boa parte das suas condições de umidade e temperatura, por exemplo, ao longo do período. Essa aparente estabilidade, pode ocasionar nessa falta de diferenças significativas (Jugovic *et al.*, 2015; Venarsky *et al.*, 2023) ou mesmo, por todas as implicações de coleta de animais destes ambientes (Mammola *et al.*, 2023; Venarsky *et al.*, 2023)

O estudo de Borges e colaboradores 2020, notou que as populações de *H. veredae*, apresentam dois grupos, de indivíduos com características troglomórficas adaptadas ao ambiente lântico, e um outro ao ambiente lótico. Diversos estudos apontam uma modelagem tanto de aspectos ecológicos, como fisiológicos e morfológicos sobre as populações, tendo diferenças de acordo com ambiente e microhabitat que estão inseridos (Trontelj *et al.*, 2012; Fišer *et al.*, 2013; Malard *et al.*, 2023). No entanto para as populações de *H. veredae*, isto parece ocorrer apenas na morfologia.

Uma das perguntas levantadas durante este estudo era se essas diferenças também aconteceriam para além da morfologia, influenciando também os aspectos populacionais, contudo isto não ocorreu. As forças de seleção ambiental do meio subterrâneo parecem exercer muito mais força sobre aspectos ecológicos populacionais, do que o microhabitat. Em hipótese, esta mesma estabilidade e condições, citada anteriormente, parecem direcionar para que os aspectos ecológicos das três populações, se assemelham embora estejam em microhabitats diferentes (Jugovic *et al.*, 2015).

5. CONCLUSÃO

A complexidade da coleta da espécie em questão limitou a obtenção de todos os parâmetros populacionais. Ao contrário de espécies de ambientes superficiais (epígeas), as espécies cavernícolas frequentemente apresentam um baixo tamanho amostral, podendo, inclusive, tornar-se desafiador localizar espécimes durante determinados períodos do ano. As espécies epígeas, por outro lado, tendem a ter um tamanho amostral significativamente maior, o que facilita as investigações populacionais. Entretanto, os dados obtidos sobre a ecologia populacional da espécie de caverna *H. veredae* ofereceu insights importantes sobre como a dinâmica populacional é influenciada pelo ambiente subterrâneo. Assim como a presença de múltiplas populações proporcionou uma oportunidade única para explorar os efeitos de diferentes microhabitats subterrâneos sobre a ecologia populacional.

Embora estudos com outras espécies sugiram que os traços morfológicos e populacionais geralmente convergem, essa tendência não parece ser válida para *H. veredae*. As de *H. veredae* embora com traços morfológicos distintos, associados a diferentes microhabitats, convergem para apresentar dinâmicas populacionais semelhantes, possivelmente influenciadas pelo ambiente subterrâneo, especialmente em relação ao tamanho corporal e a fecundidade das fêmeas.

Além disso, os resultados indicam que o ambiente subterrâneo não é o único modelador das dinâmicas. *H. veredae* exibe padrões populacionais semelhantes a espécies epígeas dentro do mesmo bioma ou geograficamente próximas. Apesar das semelhanças, alguns resultados singulares necessitam de investigações adicionais para validar o resultado a espécie, como a razão sexual de 1:1, não tão comum ao gênero. Outro padrão pouco comum, é a falta de diferença significativa entre o tamanho de machos e fêmeas, algo comum a todas as espécies do gênero até então conhecidas. Portanto, urge a necessidade de estudos mais abrangentes com a população, a fim de avaliar aspectos que não foram possíveis durante esta pesquisa, especialmente devido ao reduzido tamanho amostral. Recomenda-se um estudo contínuo ao longo de pelo menos um ano de coletas para acessar informações mais abrangentes.

REFERÊNCIAS

- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M.; CAPPS, K. A. Stream ecology: structure and function of running waters. **Springer Nature**, 2021.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. D. P. New species and new report of *Hyaella* SI Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Dogielinotidae) from Minas Gerais state, Southeastern Brazil. **Zootaxa**, 3350(1), 58-68, 2012.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. D. P. Reproductive Biology and Egg Production of *Hyaella Longistila* (Amphipoda: Hyaellidae), a Freshwater Amphipod in Southeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, 36(5), 724-730, 2016a.
- BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. D. P. Dynamics of a natural population of a hyallelid amphipod from Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, 36(2), 154-162, 2016b.
- BORGES, R. K. F. ASPECTOS POPULACIONAIS E CRESCIMENTO DE UM ANFÍPODO DE ÁGUA DOCE EM UMA NASCENTE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - MG. 33p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- BORGES, R. K. F. Variabilidade fenotípica entre populações de uma espécie de anfípode troglóbico de Presidente Olegário - MG. 2020. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.
- CARSCADDEN, K A. et al. Niche breadth: causes and consequences for ecology, evolution, and conservation. **The Quarterly Review of Biology**, v. 95, n. 3, p. 179-214, 2020.
- CASTIGLIONI, D. D S.; BOND-BUCKUP, G. Pairing and reproductive success in two sympatric species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta Oecologica**, 33(1), 49-55, 2008.
- CASTIGLIONI, D. S.; BUCKUP, G. B. Ecological traits of two sympatric species of *Hyaella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta oecologica**, 33(1), 36-48, 2008.
- CASTIGLIONI, D. D. S.; OZGA, A. V.; RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. A. D. P. Population dynamics of a freshwater amphipod from South America (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae). **Nauplius**, 24. 2016
- CASTIGLIONI, D. D. S.; LIMBERGER, M.; CASTRO, V. V. D. S.; UBESSI, F. Population and reproductive traits of a freshwater amphipod (Crustacea, Peracarida, Hyaellidae) from northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, 2020
- CASANE, D.; SACLIER, N.; POLICARPO, M.; FRANÇOIS, C.; LEFÉBURE, T. Evolutionary genomics and transcriptomics in groundwater animals. In **Groundwater Ecology and Evolution** (pp. 393-412). Academic Press, 2023.

COLLA, M. F.; CÉSAR, I. I. Ecological aspects of natural populations of *Hyalella pampeana* (Crustacea, amphipoda, hyalellidae) from the natural reserve island of Martín García (Río de La Plata, Argentina). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 91. 2019

COOPER, W. E. Dynamics and production of a natural population of a fresh-water amphipod, *Hyalella azteca*. **Ecological Monographs**, v. 35, n. 4, p. 377-394, 1965.

CULVER, D. C.; HOLSINGER, J. R.; CHRISTMAN, M. C.; PIPAN, T. Morphological differences among eyeless amphipods in the genus *Stygobromus* dwelling in different subterranean habitats. **Journal of Crustacean Biology**, 30(1), 68-74, 2010.

DICK, J. T.; FALON, S. E.; ELWOOD, R. W. Active brood care in an amphipod: influences of embryonic development, temperature and oxygen. **Animal Behaviour**, 56(3), 663-672, 1998.

EMMERSON, W. D. Seasonal breeding cycles and sex ratios of eight species of crabs from Mgazana, a mangrove estuary in Transkei, southern Africa. **Journal of Crustacean Biology**, 14(3), 568-578, 1994.

FIŠER, C.; ZAGMAJSTER, M.; ZAKŠEK, V. Coevolution of life history traits and morphology in female subterranean amphipods. **Oikos**, 122(5), 770-778, 2013.

FIŠER, C.; BRANCELJ, A.; YOSHIZAWA, M.; MAMMOLA, S.; FIŠER, Ž. Dissolving morphological and behavioral traits of groundwater animals into a functional phenotype. In **Groundwater Ecology and Evolution** (pp. 415-438). Academic Press, 2023.

HUGHES, P. W. Between semelparity and iteroparity: empirical evidence for a continuum of modes of parity. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 20, p. 8232-8261, 2017

HOGG, I. D.; WILLIAMS, D. D. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: An ecosystem-level manipulation. **Ecology**, 77(2), 395-407, 1996.

HOWARTH, F. G.; MOLDOVAN, O. T. The ecological classification of cave animals and their adaptations. **Cave ecology**, p. 41-67, 2018.

LIMBERGER, M.; SANTOS, S.; CASTIGLIONI, D. D. S. *Hyalella luciae* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) a new species of freshwater amphipod from Southern Brazil. **Zootaxa**, v. 5174, n. 5, p. 568-582, 2022.

LOWRY, J. K.; MYERS, A. A. A phylogeny and classification of the Senticaudata subord. nov. Crustacea: Amphipoda. **Zootaxa**, v. 3610, n. 1, p. 1-80-1-80, 2013.

JUGOVIC, J, *et al.* Estimating population size of the cave shrimp *Troglocaris anophthalmus* (Crustacea, Decapoda, Caridea) using mark–release–recapture data. **Animal Biodiversity and Conservation**, 38(1), 77-86, 2015.

MAMMOLA, S, *et al.* Collecting eco-evolutionary data in the dark: Impediments to subterranean research and how to overcome them. **Ecology and Evolution**, 11(11), 5911-5926, 2021.

MALARD, F.; GRIEBLER, C.; RETAUX, S. (Eds.). **Groundwater Ecology and Evolution**. Elsevier, 2023.

MOORE, P. G. The apparent role of temperature in breeding initiation and winter population structure in *Hyale nilssonii* Rathke (Amphipoda): field observations 1972–1983. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 71(3), 237-248, 1983.

MUNDHAL, N. D.; HUNT, A. M. Recovery of stream invertebrates after catastrophic flooding in southeastern Minnesota, USA. **Journal of Freshwater Ecology**, 26:4, 445-457, 2011. DOI: 10.1080/02705060.2011.596657.

ØSTBYE, K. *et al.* Morphology and life history divergence in cave and surface populations of *Gammarus lacustris* (L.). **Plos one**, v. 13, n. 10, p. e0205556, 2018.

OZGA, A. V.; CASTIGLIONI, D. D. S. Reproductive biology of two species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) from southern Brazil. **Journal of natural history**, v. 51, n. 41-42, p. 2509-2521, 2017. OZGA, A. V.; CASTRO, V. D. S. D.; CASTIGLIONI, D. D. S. Population structure of two freshwater amphipods (Crustacea: Peracarida: Hyalellidae) from southern Brazil. **Nauplius**, 26.

PENONI, L. R.; ALVARENGA LARES, M. M.; DE PÁDUA BUENO, A. A. Description of two new species of the freshwater amphipod *Hyalella* Smith, 1874 (Amphipoda: Hyalellidae) from southeastern Brazil, with remarks on their population biology and reproduction. **Journal of Crustacean Biology**, 41(3), ruab050, 2021.

PREMATE, E. *et al.* No room for males in caves: Female-biased sex ratio in subterranean amphipods of the genus *Niphargus*. **Journal of evolutionary biology**, v. 34, n. 10, p. 1653-1661, 2021.

RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. D. P.; FERREIRA, R. L. A new troglotrophic species of *Hyalella* (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae) with a taxonomic key for the Brazilian species. **Zootaxa**, 3815(2), 200-214, 2014.

SAINTE-MARIE, B. A review of the reproductive bionomics of aquatic gammaridean amphipods: variation of life history traits with latitude, depth, salinity and superfamily. **Hydrobiologia**, 223, 189-227, 1991.

SINGH, V. Population Ecology. In: **Textbook of Environment and Ecology**. Springer, Singapore, 2024. p. 41-52.

THIEL, M. Extended parental care behaviour in crustaceans: A comparative overview. **Crustacean Issues**, [S.1], v.12, p. 211 – 226, 1999.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. Biologia subterrânea. **GUIA**, 138, 2006.

TRONTELJ, P.; BLEJEC, A.; FIŠER, C. Ecomorphological convergence of cave communities. **Evolution**, 66(12), 3852-3865, 2012.

VENARSKY, Michael *et al.* Life histories in groundwater organisms. In: **Groundwater ecology and evolution**. Academic Press, 2023. p. 439-456.

WELLBORN, G. A. Trade-off between competitive ability and antipredator adaptation in a freshwater amphipod species complex. **Ecology**, 83(1), 129-136, 2002.

WELLBORN, G. A.; COTHRAN, R. D. Phenotypic similarity and differentiation among sympatric cryptic species in a freshwater amphipod species complex. **Freshwater Biology**, 49(1), 1-13, 2004.

WELLBORN, G. A.; COTHRAN, R. D. Ecology and evolution of mating behavior in freshwater amphipods. In **Evolutionary Ecology of Social and Sexual Systems**. Oxford University Press, Oxford, 147-167, 2007.

WELLBORN, G. A.; CAPPS, E. Establishment of a new population by a single gravid colonist: Implications for *Hyalella* biogeography and speciation. **Evolutionary Ecology**, 27, 101-115, 2013.

WILBANKS, K. A.; MULLIS, D. L. Flooding effects on aquatic invertebrates in oxbow lakes of a southeastern USA river floodplain. **Hydrobiologia**, 849(6), 1495-1510, 2022.

WILDISH, D. J. Evolutionary ecology of reproduction in gammaridean Amphipoda. **International Journal of Invertebrate Reproduction**, 5(1), 1-19, 1982.

ARTIGO 3

Norma NBR 6022 (ABNT 2018)

Estrutura populacional de uma nova espécie *Hyaella* sp. (Amphipoda: Hyaellidae) do sul do Estado de Minas Gerais, Brasil

RESUMO

Os ambientes de água-doce tem sido um dos maiores alvos de ações antrópicas nos últimos séculos. Diversas espécies que colonizam estes ambientes, como as *Hyaletta*, vêm sendo extintas sem se quer ter sua identidade ou ecologia conhecida. Devido a isto o objetivo desta pesquisa é conhecer toda a dinâmica populacional da espécie de *Hyaletta sp.* A espécie ocorre em Lavras - MG, onde foram feitas coletas mensais entre 2021 e 2022. Os animais foram levados em laboratório para serem sexados e terem traços, como tamanho, número de ovos e volume contados e/ou medidos para a avaliação de sua estrutura populacional e reprodutiva. Ao todo foram coletados 1056 indivíduos, destes 260 eram fêmeas, 571 machos, 56 juvenis e 169 fêmeas ovíferas. A razão sexual para *Hyaletta sp.* foi de quase 2:1 machos para cada fêmea, padrão incomum ao gênero. Os machos tinham em média 0.57mm de tamanho, enquanto as fêmeas eram significativamente menores ($p = < 0.001$), em torno de 0.48mm e as fêmeas ovíferas, 0.50mm. A espécie pode ser considerada iterópara, pela presença constante de fêmeas ovíferas, casais e juvenis ao longo da permanência da população. A fecundidade foi muito baixa, de 5.4 ± 2.74 ovos por fêmea. As fêmeas ovíferas são maiores que as fêmeas não ovíferas, e tiveram seus tamanhos variando ao longo do tempo. As variáveis abióticas de seu habitat variaram muito pouco ao longo do tempo, tendo grandes variações apenas no oxigênio. Talvez isso se dê pela interferência antrópica, o represamento, sobre a nascente em que vivem. Seus aspectos populacionais são muitos semelhantes a espécies próximas, contudo a baixa fecundidade, a razão sexual e a unimodalidade dos juvenis, se demonstram como características únicas a esta espécie.

Palavra-chave: Dinâmica populacional; água-doce, Amphipoda

ABSTRACT

Freshwater environments have been among the primary targets of anthropogenic actions in recent centuries. Several species that inhabit these environments, such as *Hyalella*, have faced extinction without having their identity or ecology properly understood. Therefore, the objective of this research is to comprehend the entire population dynamics of the *Hyalella sp.* species. The species is found in Lavras - MG, where monthly collections were conducted between 2021 and 2022. The animals were taken to the laboratory for sex determination and for traits such as size, number of eggs, and volume to be counted and/or measured for the assessment of their population and reproductive structure.. A total of 1056 individuals were collected, of which 260 were females, 571 were males, 56 were juveniles, and 169 were ovigerous females. The sex ratio for *Hyalella sp.* was nearly 2:1 males to each female, an uncommon pattern for the genus. Males had an average size of 0.57mm, while females were significantly smaller ($p = < 0.001$), around 0.48mm, and ovigerous females, 0.50mm. The species can be considered iteroparous due to the constant presence of ovigerous females, pairs, and juveniles throughout the population's persistence. Fecundity was very low, at 5.4 ± 2.74 eggs per female. Ovigerous females were larger than non-ovigerous females, with their sizes varying over time. The abiotic variables of their habitat showed minimal variation over time, with significant fluctuations only in oxygen levels, possibly due to anthropogenic interference, such as damming, affecting the spring where they reside. Their population characteristics are similar to closely related species; however, the low fecundity, sex ratio, and unimodal distribution of juveniles demonstrate unique features of this species.

Keywords: Population dynamics; freshwater, Amphipoda.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes de água-doce e conseqüentemente sua fauna, sofrem com grandes impactos antrópicos no Brasil (Reid *et al.*, 2019; Torremorell *et al.*, 2021). A fauna aquática muitas vezes é extinta sem mesmo ter sido descrita ou até mesmo estudada. Dentre as principais deficiências que levam ao desconhecimento da biodiversidade do planeta, estão a falta de descrição das espécies, e de estudos relacionados aos aspectos populacionais e história de vida (Hortal *et al.*, 2015).

A história de vida de um organismo é determinada pela sua relação com o ambiente e as condições/recursos que esse meio pode proporcionar (Singh, 2024). Por outro lado, os aspectos populacionais abrangem, por exemplo, parâmetros demográficos como mortalidade, reprodução, maturidade sexual, sobrevivência, dentre outros (Singh, 2024). Os dados de parâmetros demográficos e história de vida são obtidos, principalmente, por pesquisas de dinâmica populacional (Carscadden *et al.*, 2020 ; Castiglioni ; Buckup, 2008; Ozga *et al.*, 2018).

Os crustáceos da ordem Amphipoda são cosmopolitas, estão presentes em ambientes marinhos, dulcícolas e até mesmo terrestres (Väinölä *et al.*, 2008). Dentre a diversidade de espécies conhecidas, estima-se que cerca de 20% ocorram em ambientes de água doce (Väinölä *et al.*, 2008). A ordem é de suma importância devido sua posição como elo nas cadeias alimentares que se encontram (Moore, 1975; Väinölä *et al.* 2008), levando energia e carbono dos níveis mais basais aos superiores. Qualquer impacto causado à população desses organismos acarretaria mudança nas cadeias tróficas que estão inseridos (Dutra,*et al.*, 2011)

O gênero *Hyaella* Smith, 1874, pertencente à família de anfípodas Hyalellidae Bulycheva, 1957, é um dos representantes desta fauna, sendo exclusivamente dulcícolas (Lowry ; Myers, 2013; Talhaferro *et al.*, 2021). O gênero é distribuído apenas pelo continente Americano (Väinölä *et al.*, 2008; Lowry ; Myers, 2013). São encontrados nos mais diversos habitats, como lagos, lagoas, rios, riachos, tanto em ambientes epígeos quanto hipógeos (Väinölä *et al.*, 2008; Lowry ; Myers, 2013; Cardoso *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2014; Zepon *et al.*, 2021).

O Brasil, com uma fauna rica e crescente expansão de conhecimento de anfípodas *Hyaella*, ainda necessita de mais atenção aos estudos ecológicos, como os de dinâmica populacional e tabela de vida. Embora existam diversos estudos populacionais com o gênero,

ainda são poucos se comparado a diversidade de espécies conhecidas. (Castiglioni ; Bond-Buckup 2007, 2008, 2008b, 2009; Castiglioni *et al.* 2007, 2016; 2020; Torres *et al.* 2015; Bastos-Pereira ; Bueno 2016a, 2016b; Ozga ; Castiglioni 2017; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; César 2019). Desta forma, os estudos de ecologia além de agregar conhecimento sobre o gênero, podem ser usados como base para medidas de conservação e preservação, e até mesmo análise de risco de extinção.

Portanto, o objetivo geral deste artigo é conhecer toda a dinâmica populacional da espécie de *Hyalella sp.* A partir deste objetivo, esta pesquisa tem como perguntas: A) Por estar na mesma latitude que as espécies *H. minensis*, *H. carstica* e *H. longistila*, a *Hyalella sp.* apresentará dinâmica populacional parecida? B) A espécie *Hyalella sp.* se reproduz ao longo de todo ano? É possível encontrar juvenis, fêmeas ovígeras e casais em pré-cópula por todos os meses amostrados, que indique este tipo de padrão reprodutivo? C) É possível que o tamanho das fêmeas ovígeras se altere ao longo do ano, devido às mudanças das condições ambientais?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

A espécie *Hyaella* n. sp. ocorre em uma nascente parcialmente represada (21°14'36''S, 45°03'10''W) coberta por uma rede de nylon, localizada no município de



Lavras, em Minas Gerais, dentro de uma propriedade particular (Fig 1). Os anfípodes podem ser encontrados aderidos às raízes laterais do tanque. Apesar de o represamento ser feito de cimento, retém uma grande quantidade de matéria orgânica e sedimento (Fig 2). Embora a nascente seja represada para uso antrópico, o proprietário permite um fluxo de água que mantém a continuidade do curso d'água.

Figura 1. Mapa indicando a localidade da *Hyaella* sp. em Lavras - MG. Fonte: Guimarães, 2023.



Figura 2. Localidade - Tipo da *Hyaella* sp. Fonte: Do próprio autor (2023).

A altitude que se encontra é em torno de 874m e a vegetação é típica de Mata Atlântica, porém embora tenha a mata ciliar conservada, o entorno da nascente é composto por matrizes de pastagem (Figura 1). A pluviosidade média para região é de 1500mm e o período de seca vai de maio a setembro. Devido ao represamento da água, o volume e a profundidade não variam ao longo dos meses.

2.2. Coleta dos animais para a Dinâmica Populacional

As coletas ocorreram ao longo de um ano, de julho de 2021 a junho de 2022, em intervalos mensais. O esforço amostral foi conduzido por um único indivíduo, que utilizou um puçá durante uma hora e meia, e o material coletado foi triado por duas pessoas. Os animais foram preservados em tubos de *eppendorf* contendo álcool a 70%, com exceção das fêmeas ovígeras e dos casais, que foram individualizados em tubos de *eppendorf* separados, para

evitar a perda de ovos ou a separação dos animais durante a pré-cópula. Paralelamente à coleta, os parâmetros ambientais foram mensurados, utilizando uma sonda multiparâmetro Akso SX836 para avaliar os níveis de oxigênio dissolvido, pH, condutividade e temperatura da água.

As amostras coletadas foram transportadas ao laboratório de Carcinologia da UFLA, onde os organismos foram inicialmente sexados e medidos quanto ao comprimento da cabeça (CC) e comprimento total (CT). Os organismos foram então classificados em categorias: fêmeas, fêmeas ovígeras (indivíduos com ovos no marsúpio), machos e juvenis (todos os indivíduos menores que a menor fêmea ovígera encontrada).

Em relação às fêmeas ovígeras, os ovos foram removidos com o auxílio de uma agulha. Posteriormente, os ovos foram contabilizados, mensurados e categorizados. Seguindo a metodologia proposta por Castiglioni ; Bond-Buckup (2009), os ovos foram classificados em quatro categorias, sendo três delas embrionárias e uma pós-embrionária. Estas categorias são as seguintes: 1º - Ovos com coloração laranja, indicativa da presença de vitelo em todo o ovo, com pouca ou nenhuma clivagem embrionária. 2º - Embriões com clivagem observável, mas sem a definição das partes do corpo; 3º - Redução do vitelo a uma quantidade mínima, com a formação de um indivíduo com olhos visíveis e 4º - Juvenis completamente formados e prontos para a liberação do marsúpio materno.

2.3. Análises Estatísticas

Os dados obtidos durante as coletas da dinâmica populacional foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. É reconhecida uma relação positiva entre o tamanho da cabeça (CC) e o comprimento total (CT) para o gênero *Hyaella*. Portanto, as comparações de médias foram realizadas utilizando o tamanho da cabeça (CC) como referência. As comparações de médias de CC entre as categorias foram conduzidas através do teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo método de Bonferroni para comparações em pares. Além disso, foram realizadas comparações entre os indivíduos em comportamento reprodutivo e aqueles que não estão, tanto dentro das categorias quanto entre elas. A diferença no CC entre as fêmeas ovígeras ao longo dos meses foi avaliada utilizando o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn.

Para cada mês, foi criado um histograma de classes de tamanho utilizando o CC dos indivíduos, com a amplitude de classe definida como um quarto do desvio padrão do tamanho

médio de CC dos indivíduos coletados. Em seguida, uma curva de crescimento foi estimada com base no deslocamento das modas do histograma de classes de tamanho. Os valores de Y para todos os meses foram inicialmente calculados utilizando a seguinte fórmula:

$$Y = B - (\Delta 1 / (\Delta 1 - \Delta 2)) \times C$$

Onde B, é o tamanho inferior do intervalo de classe; $\Delta 1$ – A diferença entre o número absoluto de indivíduos do intervalo escolhido e o intervalo anterior; $\Delta 2$ – A diferença entre o número absoluto de indivíduos no intervalo escolhido e o próximo intervalo e C – O tamanho do intervalo de classe. O valor de X é atribuído como o número de dias, entre a primeira coleta e todas as outras. Após obtenção dos valores de X e Y, foram calculados os valores de X' e Y', obtidos pela seguinte fórmula:

$$X' = \Delta x a - b \quad \text{e} \quad Y' = \Delta x b - a N d$$

Onde $\Delta x a - b$ é a subtração do valor de Y entre o primeiro e o segundo mês, o segundo e o terceiro mês e assim e assim para todos os meses. $\Delta x b - a$, sendo a subtração entre os valores de Y do segundo mês e o primeiro mês, o terceiro com o segundo e assim para todos os meses e Nd é o valor de X, para cada mês. Os valores de X' e Y' obtidos, passaram por uma regressão linear, a fim de obter os valores de a e b, para aplicar nos cálculos das variáveis da fórmula de crescimento. O cálculo utilizado para o crescimento, foi o modelo de Bertalanffy (1938):

$$C_t = C_{\infty} [1 - e^{-k(t+t_0)}]$$

Onde, C_t representa o maior tamanho de cefalotórax dos indivíduos baseado no tempo em t (dias); C_{∞} = O tamanho teórico máximo, obtido através da fórmula: $-ab$; k – taxa relacionada ao crescimento por dia (mm/dia), sendo $k = -b$; e – exponencial; t – a idade do indivíduo em dias e t_0 - O tamanho relacionado ao tamanho dos indivíduos quando nasceram, obtidos através da fórmula: $1/k \times \ln[\varepsilon(C_{\infty} - C_t) \times e^{-kt} \varepsilon C_{\infty} \times e^{-2kt}]$.

A razão sexual foi calculada como o número total de machos dividido pelo total de fêmeas aptas (Bastos – Pereira; Bueno, 2016), e a significância deste cálculo foi confirmada utilizando o teste do qui-quadrado. A maturidade sexual foi definida com base no menor valor de CC observado em indivíduos que estavam em pré-cópula. A fecundidade foi determinada

pelo número médio de ovos por fêmea, e para o cálculo do volume total dos ovos, foi utilizada a fórmula proposta por Subida (2005):

$$V = (4/3) * \pi * R_{\max} * (R_{\min})^2$$

Onde, R_{\max} e R_{\min} representam o raio máximo e mínimo do ovo, respectivamente. O volume médio para cada estágio embrionário calculado foi comparado utilizando o teste de Kruskal-Wallis, e as diferenças foram confirmadas com testes de comparação em pares com ajuste de Bonferroni. Para avaliar a relação entre o tamanho de CC das fêmeas ovígeras e o número de ovos, o número de ovos e o desenvolvimento embrionário, e o volume de ovos e o desenvolvimento embrionário, foram realizadas correlações de Pearson.

Além disso, utilizando o teste de Kruskal-Wallis com ajuste de Bonferroni, foi verificado se há diferenças na fecundidade das fêmeas em relação ao seu tamanho ao longo do ano de coleta. O intervalo de confiança para todas as análises foi definido em 5%. Todos os testes estatísticos foram conduzidos utilizando o programa R versão 3.6.1, e tanto a criação dos gráficos quanto o processamento adicional foram realizados no programa Excel, versão 2311.

3. RESULTADOS

3.1. Estrutura e Abundância populacional

Ao todo foram coletados 1056 espécimes sendo 429 fêmeas (sendo 169 ovígeras), 56 juvenis, 571 machos. Todas as categorias foram amostradas por todos os meses, com exceção dos juvenis em dezembro. O mês mais abundante foi junho, enquanto julho foi o que apresentou o menor número de indivíduos (Tabela 1).

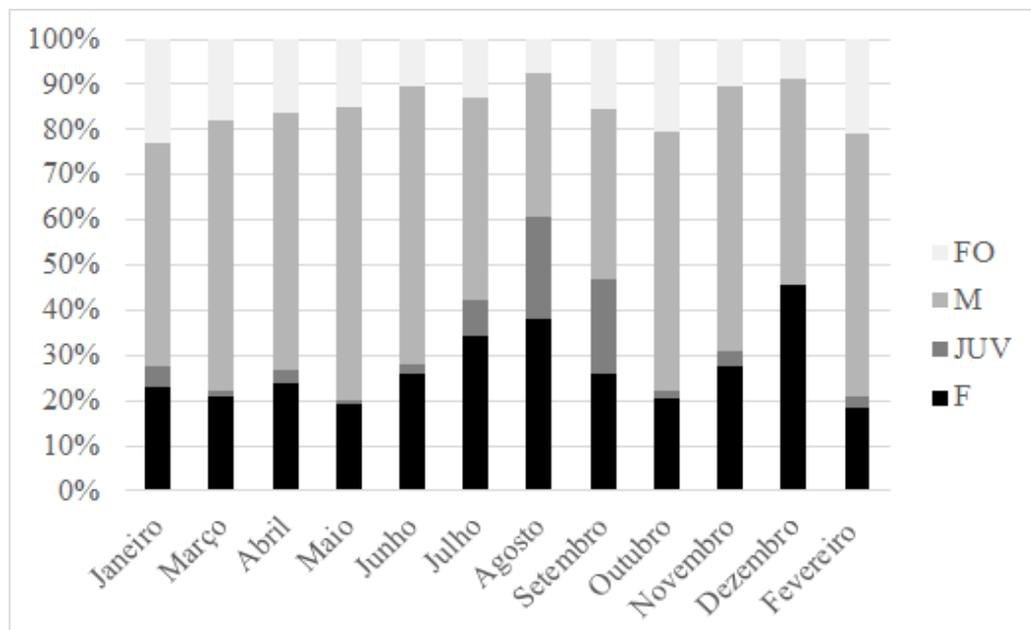
Tabela 1. Número absoluto de indivíduos de *Hyalella sp.* coletado por mês, ao longo de um ano.

Meses	F	JUV	M	FO	Total Geral
julho/21	14	3	17	4	38
agosto/21	30	18	25	6	79
setembro/21	20	16	29	12	77
outubro/21	10	1	32	11	54
novembro/21	16	2	34	6	58

Meses	F	JUV	M	FO	Total Geral
julho/21	14	3	17	4	38
agosto/21	30	18	25	6	79
setembro/21	20	16	29	12	77
dezembro/21	20	-	21	5	46
fevereiro/22	20	3	64	23	110
janeiro/22	28	6	64	32	130
março/22	17	2	63	27	77
abril/22	23	3	55	16	97
maio/22	27	1	91	21	140
junho/22	39	3	94	16	151
Total Geral	266	57	571	164	1058

Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas. Fonte: Do próprio Autor (2023)

Os machos foram a categoria mais representativa da população por todos os meses amostrados, seguidos pelas fêmeas, fêmeas ovíferas e juvenis. Houve recrutamento de juvenis por todos os meses, com exceção de dezembro e tendo um pico em agosto de 2022. As fêmeas ovíferas, sempre estiveram presentes, indicando uma reprodução contínua da espécie, porém



sem picos destacados (Fig. 3).

Figura 3. Abundância relativa (%) das categorias de *Hyalella sp.* por meses. Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas. Fonte: Do próprio Autor (2023)

A distribuição em classes de tamanho, foi em sua maioria bimodal ou unimodal para os adultos e unimodal ou uniforme para os juvenis. Em relação a toda a população, foi polimodal. Todas as frequências de tamanho, por meses de pesquisa, estão demonstradas na Figura 4, 5 e 6, tendo 20 classes de tamanho ao todo. Os indivíduos nas maiores classes de tamanho foram coletados todos os meses, no entanto, foram mais representativos na população em julho, Agosto e Setembro de 2021. Em geral, os indivíduos que representavam as classes maiores, eram os machos, com poucas fêmeas inseridas em classes maiores.

A razão sexual da população da *Hyalella sp.* atendeu a machos de forma geral, sendo de 2.15:1 machos para cada fêmea. Ao olhar pelos meses, apenas julho, agosto, setembro e dezembro, a proporção não tendeu a machos, sendo mais próxima de 1:1 (Tabela 2)

Tabela 2. Razão sexual para a população de *Hyalella n. sp.*, por meses e geral.

Meses	X ²	P <0.05
Julho/21	0.53333	0.5852
Agosto/21	0.45455	0.5697
Setembro/21	1.6531	0.2494
Outubro/21	9.5238	0.003498*
Novembro/21	6.48	0.01399*
Dezembro/21	0	1
Janeiro/22	12.895	0.0004998*
Fevereiro/22	23.048	0.0004998*
Março/22	14.516	0.001499*
Abril/22	13.128	0.0004998*
Mai/22	34.712	0.0004998*
Junho/22	22.091	0.0004998*
Total	32.164	0.0007178*

Fonte: Do próprio Autor (2023)

3.2. Tamanho

Os machos tinham tamanho médio de cabeça de $0.57 \pm 0.08\text{mm}$ (max: 0.80/ min: 0.40), as fêmeas de $0.48 \pm 0.06\text{mm}$ (Max: 0.72/Min: 0.40), as fêmeas ovíferas de $0.50 \pm$

0.08(Max: 0.64/Min: 0.48) e os juvenis de 0.26 ± 0.09 (Max: 0.40/ Min: 0.14). Os indivíduos atingem sua maturidade sexual em 0.40mm tanto para machos quanto para fêmeas. Os dados não apresentaram distribuição normal para nenhuma das categorias nem entre meses nem no total geral (Teste de Shapiro: p-value: < 0.001). Através do teste de Kruskal – Wallis confirmado (p-value = < 0.0001) pelo método *pairwise bonferroni*, foi possível verificar que existe diferença significativa entre todas as categorias (Tabela 3).

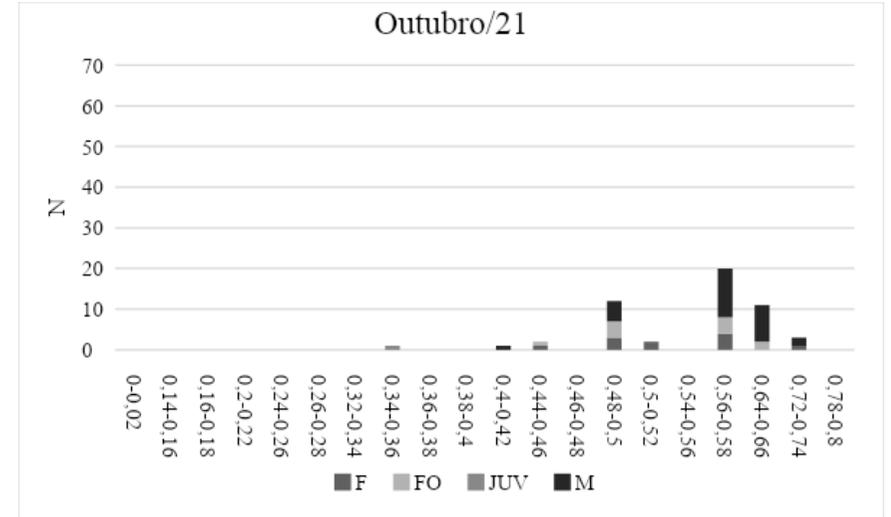
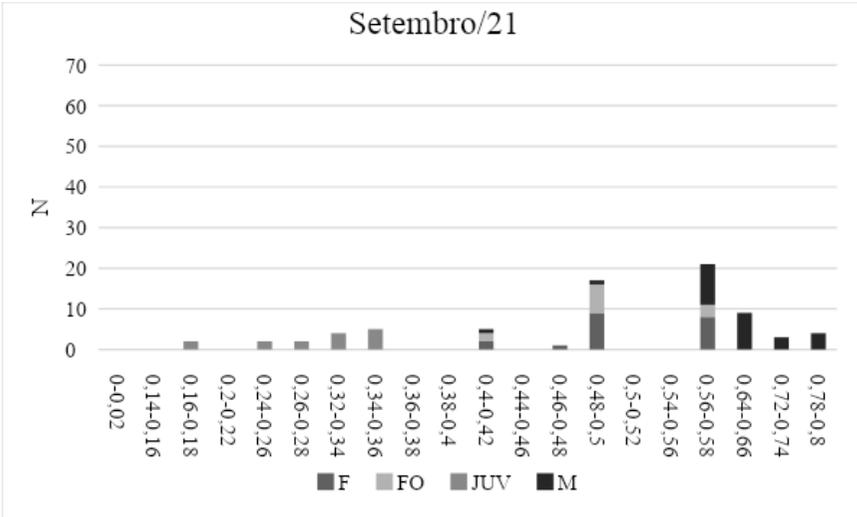
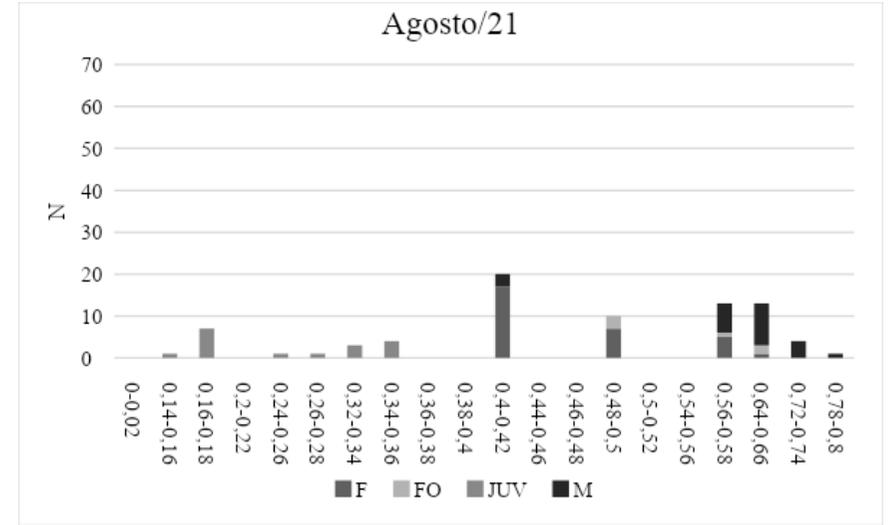
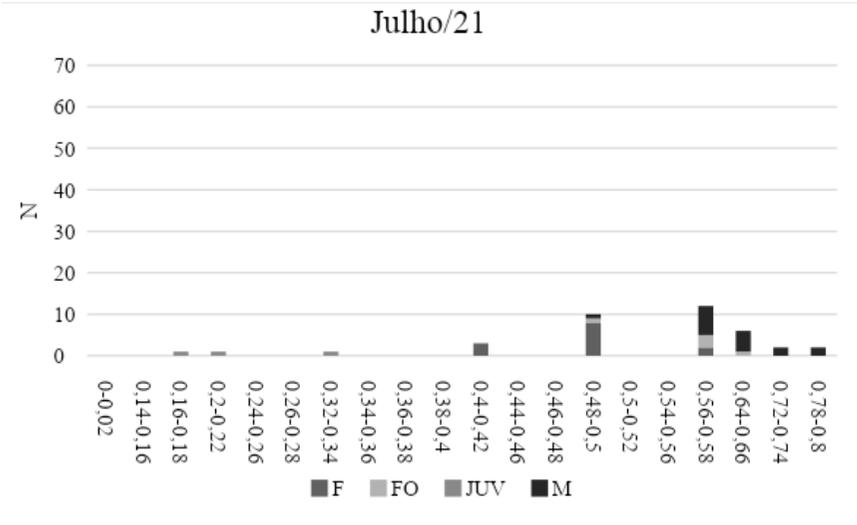


Figura 4. Frequência absoluta de distribuição de classes de tamanho (mm) para *Hyaella sp.* de Julho a Outubro. Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas. Fonte: Do próprio Autor (2023)

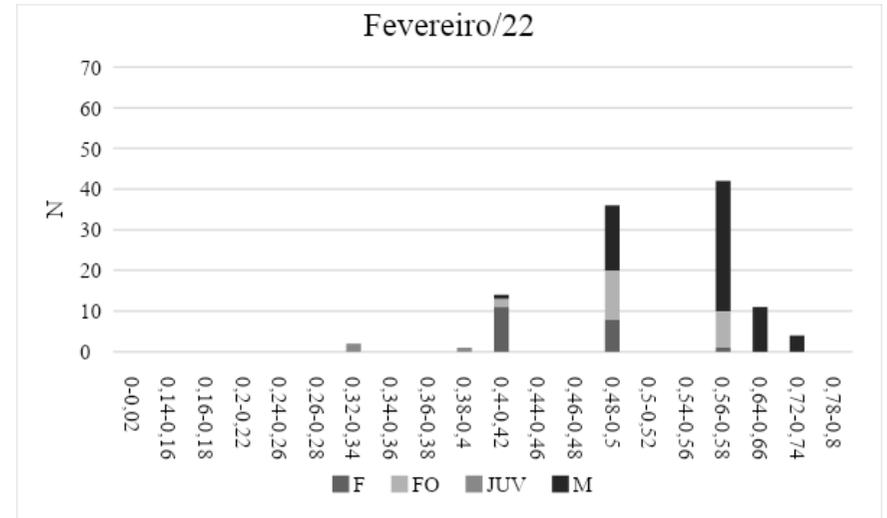
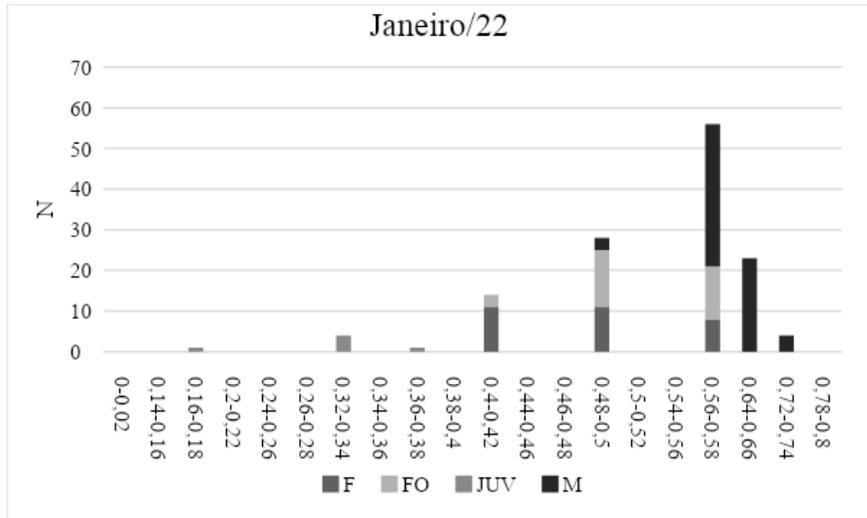
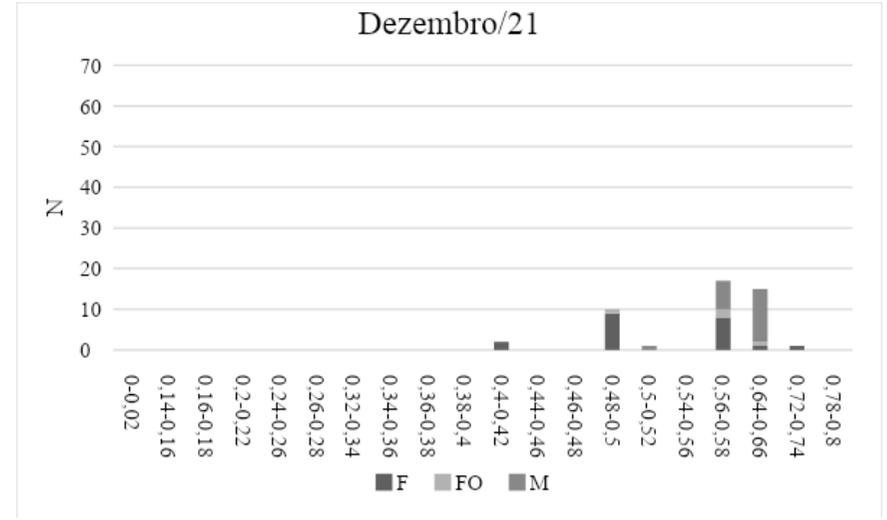
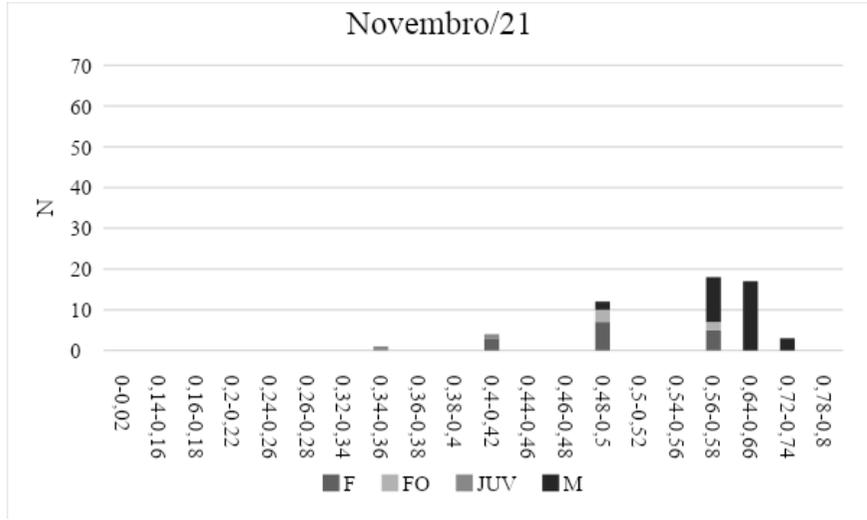


Figura 5. Frequência absoluta de distribuição de classes de tamanho (mm) para *Hyalella sp.* de Novembro a Fevereiro. Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas. Fonte : Do próprio Autor (2023)

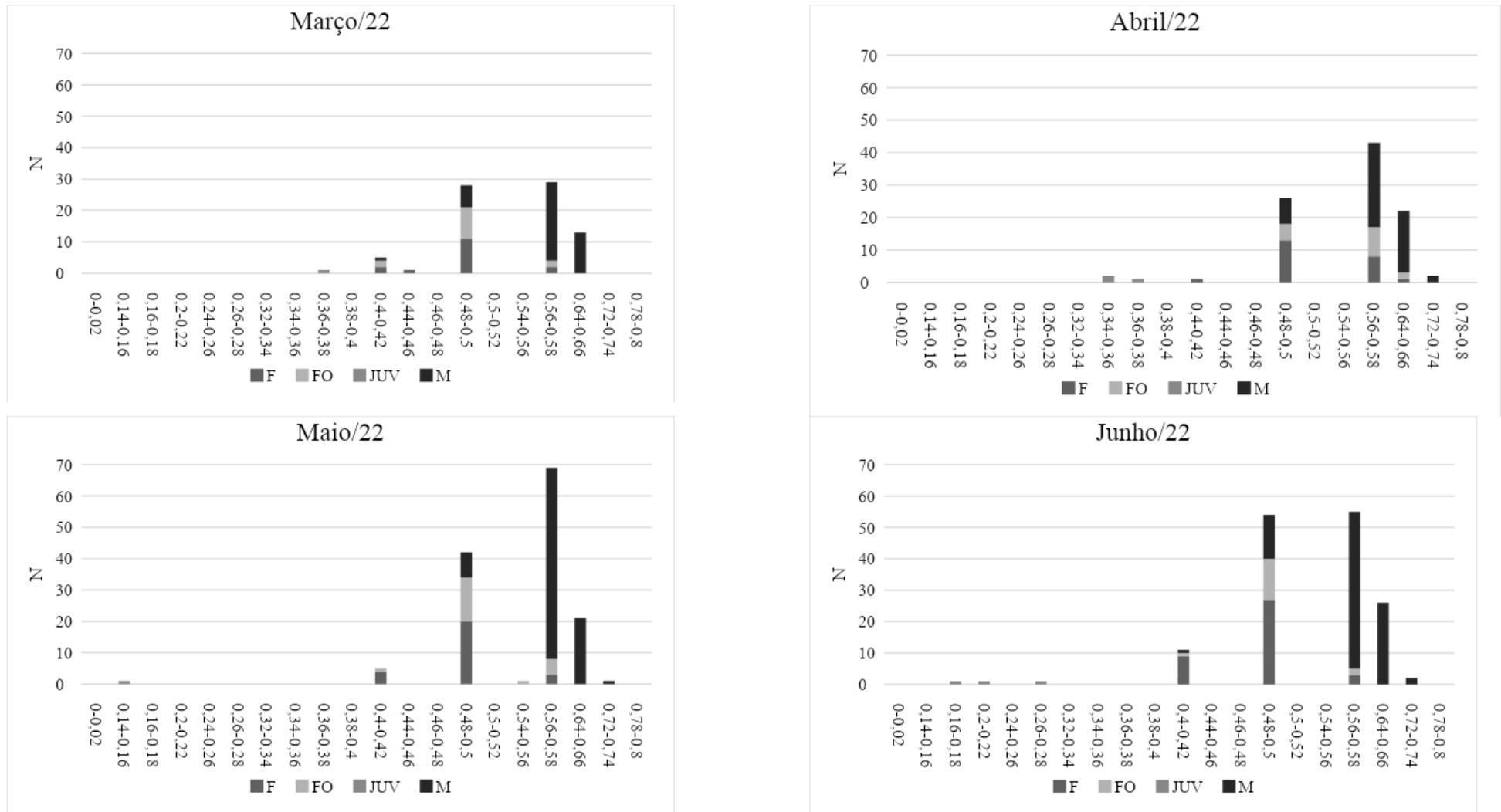


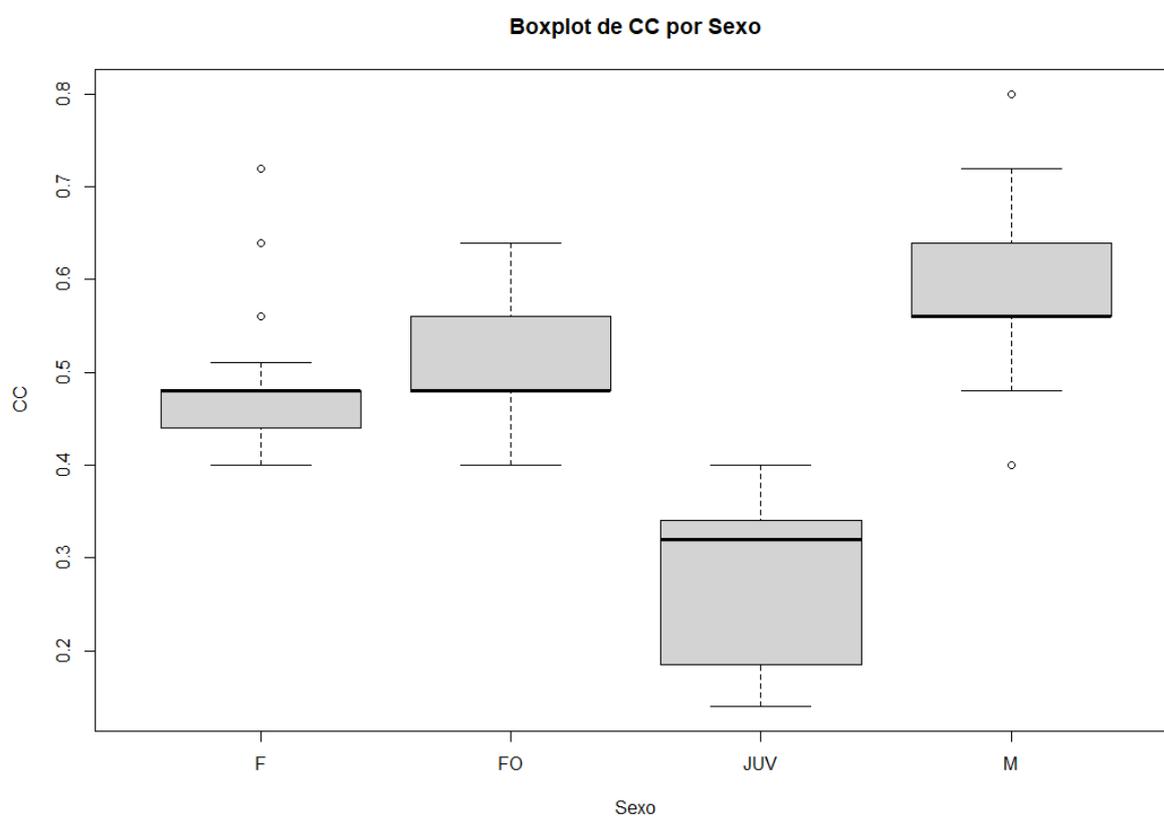
Figura 6. Frequência absoluta de distribuição de classes de tamanho (mm) para *Hyalella* sp. de Março a Junho. Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovígeras. Fonte: Do próprio Autor (2023)

Tabela 3. Comparação *pairwise* com ajuste pelo método bonferroni, para avaliar a diferença entre as categorias estudadas para *Hyalella sp.*

Categorias	F	FO	JUV
FO	<0.001*	-	-
JUV	<0.001*	<0.001*	-
M	<0.001*	<0.001*	<0.001*

Legenda: P = < 0.05 ; F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas. Fonte: Do próprio Autor (2023)

Através do boxplot é possível demonstrar que os indivíduos que atingem maiores na população, são os machos. As fêmeas ovíferas, fêmeas e juvenis, são as menores,



respectivamente (Fig. 7).

Figura 7. Boxplot demonstrando as diferenças entre os tamanhos (mm) entre as categorias amostradas de *Hyalella sp.* Legenda: F- Fêmeas; Juv - Juvenis; M - Machos; FO - Fêmeas Ovíferas; CC - Cabeça. Fonte: Do próprio Autor (2023).

Foram identificadas diferenças significativas no tamanho das fêmeas ovígeras ao longo dos meses ($p = 0.004958$). Essas diferenças foram observadas entre os meses de junho e março, Fevereiro e Janeiro, Fevereiro e Julho, Março e Novembro, conforme apresentado na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4. Valores significativos pelo teste de Dunn, entre o tamanho de fêmeas ovígeras por meses coletados

Meses	p_ajustado (<0.005)
Junho vs Março	0.05
Fevereiro vs. Janeiro	0.003
Fevereiro vs Julho	0.017
Março vs. Novembro	0.0007

Fonte: Do próprio Autor (2023)

Ao observar a Figura 8, torna-se evidente o padrão de crescimento em *Hyalella sp.* O crescimento corporal desse anfípodes segue um padrão logístico, exibindo uma fase inicial de crescimento exponencial até aproximadamente 0,50 mm, momento em que a taxa de crescimento começa a desacelerar. A estabilização é alcançada em torno de 0,53 mm.

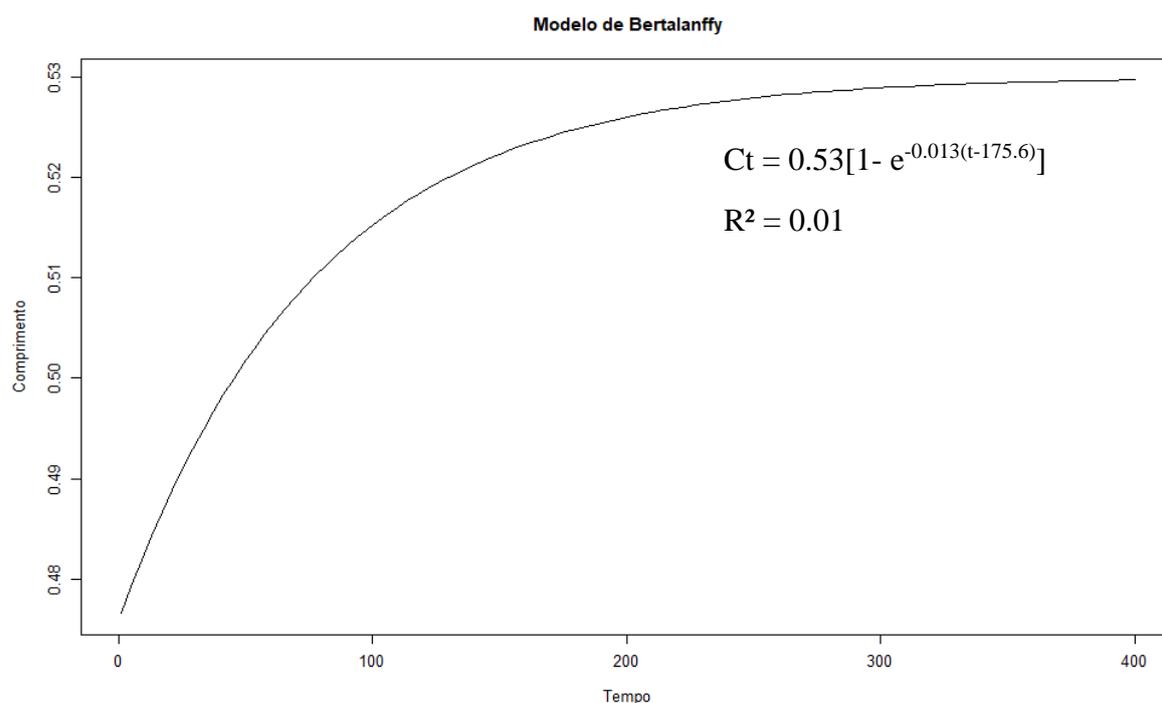


Figura 8. Curva de crescimento (mm) para *Hyalella sp.* Fonte: Do próprio autor (2023)

3.3. Aspectos reprodutivos

Os casais foram amostrados por todos os meses de pesquisa, sendo ao todo 87 casais. O mês com maior número coletado foi em junho de 2022 com 20 casais, seguido maio com 19 e dezembro com 13, o restante teve o N total inferior a 10, conforme demonstra a tabela 5. O único mês sem a presença de casais nas amostras, foi em novembro/21. A presença de casais por quase todos os meses, reforça a hipótese de reprodução contínua. Uma observação interessante a se fazer em relação aos casais, é que alguns eram formados por machos e fêmeas ovígeras, fêmeas estas com ovos em diferentes estágios de desenvolvimento.

Tabela 5. Número absoluto de casais de *Hyalella sp.* por mês, amostrados.

Mês	Nº de casais
Julho/21	5
Agosto/21	8
Setembro/21	2
Outubro/21	7
Novembro/21	0
Dezembro/21	13
Janeiro /22	2
Fevereiro/22	2
Março/22	1
Abril/22	8
Maió/22	19
Junho/22	20

Fonte: Do Próprio Autor (2023).

As fêmeas ovígeras nunca foram expressivas na população, embora tenham sido coletadas todos os meses de coleta (Fig. 3), sendo a 3º categoria mais representativa, a frente apenas dos juvenis. A fecundidade de *Hyalella sp.* foi em média de 5.4 ± 2.74 ovos por fêmeas. Foram amostradas fêmeas com todos os estágios de ovos, por quase todos os meses

amostrados, como indica a tabela 6, sendo então mais um indicativo que esta espécie se reproduz ao longo de todo o ano. O mês com maior média de ovos por fêmea foi em julho e o estágio mais abundante foi o I. A fecundidade da população variou de acordo com o mês, sendo significativamente diferente entre quase todos os meses amostrados, como demonstra a tabela 8.

Tabela 6. Números médios e desvio padrão de ovos encontrados por mês de coleta, para *Hyaella* sp.

Estágio MÊS	I		II		III		IV		M Total	T N
	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N		
Julho/21	6,75 ± 4,4	20	7 ± 3,8	13	-		-		6,84 ± 4,2	33
Agosto/21	3,76 ± 1,9	13	5,5 ± 3	10	6,87 ± 4,12	24	2,5 ± 1,29	4	5,47 ± 3,5	51
Setembro/21	3,21 ± 1,7	28	3,5 ± 1	22	5 ± 2,73	9	-		3,59 ± 2,0	59
Outubro/21	3,86 ± 1,7	23	4,51 ± 2,45	39	4 ± 2,16	7	2,5 ± 1,29	4	4,15 ± 2,19	73
Novembro/21	3 ± 1,58	5	3,76 ± 1,96	13	3,5 ± 1,87	6	2 ± 1	3	3,37 ± 1,80	27
Dezembro/21	2 ± 1	3	3 ± 1,58	5	2,5 ± 1,29	4	-		2,58 ± 1,31	12
Janeiro/22	3,40 ± 2	76	3,08 ± 2,04	36	1,5 ± 0,70	2	2,23 ± 1,23	13	3,16 ± 1,97	127
Fevereiro/22	3,22 ± 1,96	53	3,2 ± 1,96	45	-		-		3,21 ± 1,85	98
Março/22	3,12 ± 1,62	40	3 ± 1,062	18	-		1,8 ± 0,83	5	2,98 ± 1,63	63
Abril/22	5,52 ± 3,74	72	2 ± 3,74	3	3,62 ± 1,97	24	5 ± 2,73	9	4,96 ± 3,40	108
Mai/22	3,59 ± 2,28	64	4,16 ± 2,28	36	-		2,57 ± 1,51	7	3,71 ± 2,49	107
Junho/22	2,54 ± 1,40	22	3,5 ± 1,40	6	4,07 ± 2,2	14	2,77 ± 1,39	9	3,11 ± 1,78	51

Legenda: I - Estágio um de desenvolvimento; II - Estágio dois; III - Estágio três; IV - Estágio 4, pós embrionário de desenvolvimento; N - Número total de ovos; M total - Média total; TN - Total de ovos. Fonte: Do próprio autor (2023).

Não houve diferença entre o número de ovos por estágio (Kruskal - Wallis, $p = 0.9$). O mês onde o volume de ovos foi em outubro. Já o estágio que representa o maior volume, foi o I (Tabela 7). Não foi realizada a média do estágio IV, por se tratar de um desenvolvimento pós embrionário, desta forma não possui volume. Não houve diferença significativa no volume de ovos pelos meses amostrados ($p = 0.16$). Em relação ao número de ovos e o volume, também não houve diferença significativa ($p = 0.36$)

Table 7. Volume médio e desvio padrão de ovos por estágios de desenvolvimento, encontrados para *Hyalella sp.*

Mês	I	II	II	Total
Julho/21	0,011 ± 0.03	0,016 ± 0,01	-	0,013
Agosto/21	0,143 ± 0.45	0,033 ± 0.054	0,017 ± 0.006	0,055
Setembro/21	0,013 ± 0.002	0,013 ± 0.03	0,017 ± 0.002	0,014
Outubro/21	0,013 ± 0.004	0,014 ± 0.03	0,013 ± 0.002	2,066
Novembro/21	0,005 ± 0.001	0,011 ± 0.05	0,026 ± 0.004	0,014
Dezembro/21	0,002 ± 0.0005	0,020 ± 0.008	0,023 ± 0.015	0,017
Janeiro/22	0,014 ± 0.004	0,019 ± 0.06	0,017 ± 0.005	0,015
Fevereiro/22	0,014 ± 0.005	0,021 ± 0.005	-	0,017
Março/22	0,015 ± 0.004	0,019 ± 0.05	-	0,016
Abril/22	0,018 ± 0.006	0,018 ± 0.002	0,022 ± 0.008	0,019
Mai/22	0,016 ± 0.005	0,025 ± 0.006	-	0,019
Junho/22	0,014 + 0.009	0,021 ± 0.01	0,032 ± 0.008	0,021
Total Geral	0,356 ± 0.08	0,019 ± 0.012	0,021	0,206

Legenda: I - Estágio um de desenvolvimento; II - Estágio dois; III - Estágio três; IV - Estágio 4, pós embrionário de desenvolvimento; T - Média total.

Tabela 8. Análise de *Pairwise* com método bonferroni de ajuste, demonstrando as diferenças entre o número de ovos por mês amostrado para *Hyalella sp.*

	10c	11c	12c	1c	2c	3c	4c	5c	6c	7c	8c
11c	0.0002 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12c	5.7⁻¹²	2.2⁻⁵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1c	1.0000 0	0.0191 7	1.2⁻¹⁰	-	-	-	-	-	-	-	-
2c	1.0000 0	1.0000 0	0.0103 0	1.0000 0	-	-	-	-	-	-	-
3c	3.5⁻⁷	0.2290 2	1.0000 0	0.0001 5	0.8598 3	-	-	-	-	-	-
4c	1.0000 0	1.0000 0	0.0176 7	1.0000 0	1.0000 0	0.2213 9	-	-	-	-	-
5c	0.0269 4	1.0000 0	0.0334 7	0.0279 7	1.0000 0	1.0000 0	1.000 00	-	-	-	-
6c	1.0000	1.0000	0.0027	1.0000	1.0000	1.0000	1.000	1.000	-	-	-

	0	0	4	0	0	0	00	00			
7c	2.8 ⁻⁵	1.0000	0.0042	0.0194	1.0000	1.0000	1.000	1.000	1.0000	-	-
		0	1	8	0	0	00	00	0		
8c	4.5 ⁻⁶	1.0000	0.0024	0.0013	1.0000	1.0000	1.000	1.000	1.0000	1.0000	-
		0	9	4	0	0	00	00	0	0	
9c	3.4 ⁻⁸	0.0947	1.0000	1.4 ⁻⁵	0.9785	1.0000	0.307	1.000	1.0000	0.9154	1.0000
		8	0		0	0	07	00	0	6	0

Legenda: 1c - Coleta de Julho/21; 2c - Agosto/21; 3c - Setembro/21; 4c - Outubro/21; 5c - Novembro/21; 6c - Dezembro /21; 7c - Janeiro/22; 8c - Fevereiro/22; 9c Março/22; 10c - Abril/22; 11c - Maio/22 e 12c - Junho/22. Fonte: Do próprio autor (2023).

Não existe correlação entre o número de ovos, e o tamanho da cabeça (Pearson, $p = 0.12$) e nem em relação ao volume dos ovos (Kruskal - Wallis, $p = 0.67$).

3.4. Parâmetros abióticos

Os resultados demonstraram uma constância nos parâmetros abióticos, indicando uma estabilidade significativa ao longo do ano (Tabela 8). O pH manteve-se em uma média de 6.53, o oxigênio dissolvido apresentou um valor médio de 4.78 mg/l, a condutividade registrou 79.1 μ S/cm, e a temperatura foi mantida em 21.4 °C. É importante destacar que o local em questão permanece protegido por uma tela de nylon permanentemente (Figura 2), e o proprietário da fazenda realiza manutenções semanais na nascente. Esta manutenção inclui a limpeza regular, a manutenção da cobertura de nylon e a remoção do excesso de matéria orgânica. A presença de um represamento e a manutenção regular podem ser fatores que contribuem para a estabilidade observada nos parâmetros mencionados.

Tabela 8. Parâmetros abióticos, medidos ao longo dos meses de coleta de *Hyalella sp.*

Data	pH	OD (mg/l)	Cond (μ S/cm)	Temperatura (°C)
Julho/21	6,43	3,95	76,6	20,6
Agosto/21	5,54	4,2	*	21,8
Setembro/21	7,4	3,8	76	22,0
Outubro/21	8,13	4,21	79,7	21,0
Novembro/21	7,19	4,21	78,7	22,5
Dezembro/21	7,29	3,99	79,3	21,7
Janeiro/22	6,74	5,42	80,3	21,6
Fevereiro/22	6,9	5,58	79,9	21,7
Março/22	5,21	5,64	80,6	21,5
Abril/22	6,01	5,2	79,4	21,3
Maio/22	5,83	5,27	79,9	21,2
Junho/22	5,85	5,9	80,1	20,4

Obs: Parâmetros representados por asterisco (*), indicam a ausência do dado, devido a falha no equipamento de medição. Legenda: OD - Oxigênio dissolvido; Cond - Condutividade. Fonte: Do próprio autor (2023)

4. DISCUSSÃO

Conforme evidenciado no primeiro capítulo desta pesquisa, poucas espécies de *Hyaella* têm sua ecologia devidamente elucidada. Em 2023, apenas 17% de todas as espécies descritas para a América do Sul apresentam informações populacionais disponíveis (Borges ; Bueno – In prep – Artigo 1). Este artigo contribui com dados ecológicos de mais uma espécie do gênero *Hyaella*, ressaltando que esta espécie também se encontra em fase de descrição (observação pessoal), ou seja, seus dados ecológicos foram adquiridos quase simultaneamente ao processo de descrição taxonômica.

4.1. Estrutura e Abundância populacional

A maior abundância de indivíduos de *Hyaella sp.* ficou entre o fim do verão e o início do outono, o que contrasta com uma espécie que ocorre em localização próxima, a espécie *Hyaella longistila* (Bastos-Pereira ; Bueno, 2016), que tem seus picos no fim da primavera e meio do inverno. A espécie desta pesquisa, teve picos de abundância semelhantes à espécie *Hyaella montezuma* (Dehdashti ; Blinn, 1991). Dehdashti e Blinn, 1991, associam o boom de abundância da *H. montezuma* ao aumento de fitoplâncton, o que não parece ser o caso da *Hyaella sp.*. A hipótese que sugiro, é a influência de fatores abióticos na abundância populacional (Hall *et al.*, 2013; Javidmehr *et al.*, 2015; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016).

Geralmente, discute-se que a temperatura (Panov, 1998; Javidmehr *et al.*, 2015), é de um dos maiores fatores limitantes o desenvolvimento dos anfípodas, contudo, para esta espécie não parece ser o principal fator. Embora não tenha sido testado de forma estatística, sendo inclusive sugerido a novas pesquisas, o pico de abundância ocorreu nos meses em que o oxigênio dissolvido teve suas maiores taxas, enquanto a menor está onde o oxigênio foi menor.

Após a temperatura, o oxigênio é o segundo fator limitante para os anfípodes. O anfípode *Gammarus chevreuxi* Sexton, 1913, por exemplo, tem suas abundâncias populacionais controladas por alterações de oxigênio dissolvido (Subida, 2005). A *Hyaella azteca*, também teve muito de seus parâmetros de vida influenciados pelo oxigênio, conforme a pesquisa de Javidmehr e colaboradores ano. Logo, o oxigênio é um possível modelador de abundância de anfípodes, incluindo do gênero *Hyaella* (Hall *et al.*, 2013).

A ausência de juvenis no mês de dezembro, pode ser atribuída ao grande volume de chuvas que ocorre nessa época (observação empírica), o que pode ter provocado o arraste destes anfípodes durante estes períodos, o que é comum entre estes organismos (Elliot, 2002). Entretanto, a presença consistente de todas as classes ao longo da pesquisa, sugerem a presença permanente da população, diferentemente da espécie geograficamente próxima, *H. carstica*. A *H. carstica*, devido a uma estação severa de seca, resulta na ausência populacional em seu habitat natural durante este período (Torres *et al.*, 2015). A diferença entre essas espécies pode ser atribuída à condição peculiar da *Hyaella sp.*, que, por ocupar um ambiente represado, tem suas condições favoráveis, devido a estabilidade do local ao longo do ano.

A estrutura populacional bimodal ou polimodal é encontrado comumente em outras espécies da América do sul, como *H. bonariensis*, *H. gauchensis*, *Hyaella georginae*, *H. castroi*, *H. pleoacuta*, *H. longistila*, *H. minensis*, *H. pampeana* e *H. palmeirensis* (Castiglioni ; Bond -Buckup, 2008; Bastos – Pereira ; Bueno, 2016; Borges, 2016; Castiglioni *et al.*, 2016; Ozga *et al.*, 2017; Colla ; César, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020). A bimodalidade ou polimodalidade encaixa tanto para os machos quanto para as fêmeas de *Hyaella sp.*, com alguns poucos meses unimodais. Apenas os juvenis, tiveram o padrão sendo apenas unimodal e uniforme.

Padrões bimodais ou polimodais nas frequências de classes de tamanho podem ser atribuídos a picos de recrutamento, como evidenciado em *Hyaella sp.* Tais pulsos se correlacionariam a períodos com recursos propícios ao aumento das chances de sobrevivência (Colla ; Cesar, 2019). As diferenças nas taxas de mortalidade, redução do crescimento em estágios mais jovens ou variações na distribuição também podem contribuir, conforme observado por Diaz ; Conde (1989). A unimodalidade e a uniformidade já é pouco comum ao gênero, sendo visto além dos juvenis de *Hyaella sp.*, para os juvenis de *H. minensis* e *H. pampeana* (Borges, 2016; Colla ; Cesar, 2019). Este padrão é associado a uma população

estável com taxas de mortalidade constante ao longo de sua história de vida ou mesmo dificuldade de coleta (Diaz ; Conde, 1989; Borges, 2016)

Os machos prevaleceram como os representantes dominantes na população de *Hyaella sp.*, influenciando significativamente a razão sexual, com exceção de apenas três meses. As tendências populacionais das *Hyaella* não seguem um padrão fixo. Enquanto as espécies mais ao sul da América do Sul, como *H. bonariensis* e *H. palmeirensis*, tendem a ter populações dominadas por fêmeas, com a exceção de *H. pampeana*, as espécies localizadas mais ao sudeste apresentam predominância de machos, como a *H. longistila*, por exemplo (Castiglioni *et al.*, 2008b; Torres *et al.*, 2015; Bastos–Pereira ; Bueno, 2016; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020).

Associa-se às diferenças na razão sexual dentro de *Hyaella*, aos papéis reprodutivos desempenhados pelos machos e fêmeas. Wellborn e Cothran, 2007, sugerem que a razão sexual com dominância dos machos, é devido ao curto período de tempo apto a cópula pelas fêmeas, desta forma, o maior número de machos maximizaria as chances de fertilização neste período diminuto. Embora autores como Moore, 1981, argumentam que para anfípodes, a tendência é ser 1:1 na razão sexual com pequenas flutuações entre eles, isso não parece um padrão dentro de *Hyaella*, possivelmente a variação é uma associação dos papéis reprodutivos juntamente com influências ambientais.

4.2. Tamanho

O padrão observado em *Hyaella sp.* reforça a tendência comum ao gênero, onde os machos geralmente apresentam tamanhos superiores às fêmeas, independentemente de estarem ovígeras ou não (Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008b; Bastos–Pereira ; Bueno, 2016b; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Verdi, 2020). A diferença de tamanho entre os sexos pode ser atribuída às suas funções reprodutivas, influenciadas pela seleção sexual (Wellborn ; Bartholf, 2005; Wellborn ; Cothran, 2007).

Os machos necessitam buscar e competir por fêmeas, estas alocam recursos para a produção de ovos. As fêmeas realizam mudas para a fertilização, e caso fiquem ovígeras, a próxima muda ocorre somente no momento da eclosão dos juvenis; enquanto os machos não têm essas restrições e continuam crescendo (Cardoso ; Veloso, 1997; Wellborn ; Cothran, 2007). Isso também pode justificar que os machos atingem classes de tamanhos superiores às

fêmeas, conforme ocorre com outras espécies do gênero (Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008b; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016b; Ozga ; Castiglioni, 2017; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Verdi, 2020).

Observou-se durante o estudo, uma diferença no tamanho entre fêmeas ovígeras e não ovígeras. Essa disparidade pode ser atribuída ao sucesso no acasalamento, com fêmeas de maior porte apresentando maior êxito em relação às menores. Em espécies como *H. castroi*, *H. pleoacuta* e *H. azteca*, o tamanho das fêmeas não demonstra impacto significativo no sucesso de acasalamento, ao passo que em outras, como *H. bala*, *H. gauchensis* e *H. georginae*, o tamanho exerce influência na escolha do parceiro. Embora o sucesso de acasalamento não tenha sido especificamente abordado neste estudo, é plausível que a dinâmica seja semelhante para esta espécie, sugerindo a necessidade de investigações mais aprofundadas nesse parâmetro (Wellborn, 1995; Castiglioni ; Bond-Buckup, 2008; Ozga *et al.*, 2017; Penoni *et al.*, 2021). Entre as fêmeas ovígeras, também houve diferença de tamanho por meses amostrados. Colla ; Cesar, 2019, observou estas diferenças para *H. pampeana*, e associou esta alteração de tamanho a temperatura. Porém, este não parece ser o caso para *Hyaella n. sp.*, devido às temperaturas constantes. Da mesma forma em que o oxigênio, outros parâmetros podem ter sido fator limitante também para o tamanho das fêmeas ovígeras (Strong, 1972; Panov, 1998; Wellborn, 1994; Chapelle ; Peck, 2004).

Quanto ao tamanho corporal médio de *Hyaella n. sp.*, observou-se uma semelhança com espécies geograficamente próximas, como *H. minensis*, *H. longistila*, *H. carstica*, *H. veredae*, bem como com espécies mais distantes, como *H. bala*, *H. gauchensis*, *H. bonariensis*, *H. palmeirensis*, *H. pampeana* (Borges, 2017/Cap1; Cardoso *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira ; Bueno, 2016b; Castiglioni *et al.*, 2016; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020). Similarmente às espécies *H. castroi* e *H. minensis* (Castiglioni *et al.*, 2007; Borges ; Bueno, in prep 2024), a curva de crescimento de *Hyaella sp.* segue um padrão exponencial até atingir possivelmente a maturidade sexual; após esse ponto, o crescimento torna-se mais gradual. O referido padrão de crescimento é influenciado por parâmetros ambientais e fisiológicos que impactam a continuidade do desenvolvimento, com base nas exigências individuais de cada organismo (Sutcliffe *et al.*, 1981; Chapelle ; Peck, 2004).

As semelhanças de tamanho, até mesmo as diferenças, entre as espécies de *Hyaella*, estão muito associadas a parâmetros ambientais e recursos. O pH, oxigênio dissolvido,

temperatura e até mesmo as escorregões terrestres, irão influenciar diretamente no tamanho que estes animais podem atingir (Panov, 1998; Madsen *et al.*, 2015; Talhaferro, *et al.*, 2021; Borges ; Bueno, in prep - Artigo 1).

4.3. Aspectos reprodutivos

A reprodução em *Hyaella sp.* é contínua ao longo do seu ciclo de vida, como indicado pela presença constante de fêmeas ovígeras em todos os estágios de desenvolvimento durante as coletas, acompanhada pela presença frequente de casais e juvenis. Essa dinâmica reprodutiva também é observada em espécies geograficamente próximas, como *H. minensis* e *H. carstica*, as quais não apresentam picos distintos de reprodução (Torres *et al.*, 2015; Borges, 2016). Em contraste, espécies como *H. longistila*, *H. palmeirensis* e *H. curvispina* exibem padrões diferentes, com períodos reprodutivos mais demarcados (Bastos – Pereira ; Bueno, 2016b; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Verdi, 2020).

A constante presença destas categorias na população de *Hyaella sp.* indica sua característica iterópara, reproduzindo-se continuamente ao longo de sua vida, com taxas constantes de reprodução (Carscadden *et al.*, 2020; Singh, 2024). Esse padrão iteróparo é comum no gênero *Hyaella*, conforme evidenciado por estudos anteriores (Cooper, 1965; Bastos – Pereira ; Bueno, 2016b; Ozga *et al.*, 2018; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2020; Waller ; Verdi, 2020). A presença de indivíduos em diferentes classes de tamanho ao longo do ano reforça essa característica iterópara na estruturação da população, possivelmente moldada por um ambiente mais constante e condições e recursos que permitem sua reprodução continuada (Sainte – Maire, 1991).

A maturidade sexual da espécie *Hyaella sp.* é em torno de 0,40 mm, tamanho observado no menor casal identificado. Este tamanho assemelha-se ao de outras espécies, como *H. minensis*, *H. bonariensis*, *H. palmeirensis* e *H. gauchensis* (Borges, 2016; Castiglioni *et al.*, 2015; Ozga *et al.*, 2017; Castiglioni *et al.*, 2020). O alcance da maturidade sexual em tamanhos menores pode favorecer a reprodução precoce na população, possivelmente contribuindo para o rápido crescimento populacional, como observado em outras espécies (Panov ; Macqueen, 1998). Este fenômeno pode estar ocorrendo na população abundante de *Hyaella sp.*, corroborando a hipótese de que a maturidade sexual precoce está associada à alta abundância populacional.

A fecundidade da *Hyaella sp.* é a menor conhecida dentre todas as espécies de *Hyaella* já estudadas (Castiglioni *et al.*, 2009; Borges, 2016; Torres *et al.*, 2015; Bastos-Pereira, 2016; Colla ; Cesar, 2019; Castiglioni *et al.*, 2015; 2020; Waller ; Verdi, 2020; Penoni *et al.*, 2021 Borges ; Bueno, in prep – Artigo 1 e 2). Além disso, variou por quase toda pesquisa. Discute-se que espécies com a prole pequena, investem – *trade-off* -- mais no desenvolvimento do que no número para maximizar a sobrevivência, principalmente em ambientes estáveis. Dá-se o nome a estas espécies de *k-estrategistas*, o que possivelmente pode ser o caso da população deste estudo, já que seu ambiente é relativamente controlado tendo como possível influência para possíveis diferenças, apenas o oxigênio (Carscadden *et al.*, 2020; Singh, 2024).

Não foram observadas diferenças significativas no número de ovos por mês ou no volume ao longo dos meses estudados. Este resultado contrasta com padrões observados em outras espécies, como *H. bonariensis*, *H. minensis*, *H. pleoacuta*, *H. castroi*, *H. longistila*, entre outras (Dick *et al.*, 1998; Chapelle ; Peck, 2004; Castiglioni *et al.*, 2009; Castiglioni *et al.*, 2015; Borges, 2017/Cap1; Bastos – Pereira ; Bueno, 2016).

A ausência de variação no número/volume entre estágios pode estar relacionada a parâmetros abióticos que influenciam o desenvolvimento das proles (Chapelle ; Peck, 2004). Pesquisas anteriores sugerem que a diminuição do oxigênio pode levar as fêmeas a dedicarem maior cuidado parental aos ovos (Dick *et al.*, 1998). Uma possível hipótese é que devido ao tamanho reduzido da prole em *Hyaella sp.*, a baixa concentração de oxigênio pode promover um aumento no cuidado parental, potencialmente facilitando a maior sobrevivência dos ovos e resultando na falta de diferença significativa no número/volume entre os estágios (Dick *et al.*, 1998).

Outro resultado pouco comum encontrado para *Hyaella sp.* é a falta de correlação entre o número/volume de ovos e o tamanho das fêmeas, que é comum a outras espécies (Castiglioni *et al.*, 2009; Castiglioni *et al.*, 2015; Borges, 2016; Bastos – Pereira ; Bueno, 2016; Penoni *et al.*, 2021). Este resultado já foi observado apenas para *H. minensis*, contudo a autora sugere que isso pode ser devido ao baixo N amostral (Borges, 2016) o que não se encaixa com o caso da espécie desta pesquisa, sendo necessário maior investigação.

5. CONCLUSÃO

A *Hyalella sp.* apresenta características populacionais próprias de indivíduos que vivem em ambientes com relativa estabilidade. Ou seja, períodos contínuos e sem picos demarcados de reprodução e tamanhos menores de seus espécimes. Além disso, a aparente variável que exerce maior influência para esta espécie é o oxigênio dissolvido e não a temperatura, como para outras espécies do gênero. Contudo, ela tem um fator a mais influenciando a sua dinâmica, seu ambiente parcialmente controlado sendo o represamento da nascente.

Outro fato comum a *Hyalella sp* em relação ao gênero, é sua dinâmica populacional, seja em relação ao tamanho ou aos aspectos reprodutivos, serem semelhantes a várias populações que ocorrem ou em mesmo bioma ou próximas geograficamente. O resultado reafirmando estudos anteriores, de que essas características tendem a influenciar a ecologia destes organismos. Um padrão pouco comum, é que merece mais estudos, é a unimodalidade para os juvenis. Não somente, a diferença discrepante do número de machos em relação às fêmeas, também merece especial atenção. Embora a tendência a machos ocorra dentro do gênero, um resultado como este jamais foi encontrado para o gênero *Hyalella*, até o momento na América do Sul. Talvez estudos relacionados à estrutura do ambiente em que vivem, possam dar respostas sobre estas diferenças.

Outros pontos que merecem atenção para novos estudos, é em relação a fecundidade, número e volume de ovos. Assim como as espécies próximas, *H. veredae* e *H. minensis*, a *Hyalella sp* tem uma fecundidade baixíssima e pouca relação do tamanho das suas fêmeas e o número de ovos. Seria interessante mais estudos para compreender como, e o que, influenciam esses aspectos de *Hyalella sp.*, e talvez, um estudo em conjunto com as outras espécies citadas neste parágrafo, possa ser elucidativo.

REFERÊNCIAS

- BASTOS-PEREIRA, R; BUENO, A. A. P. Reproductive Biology and Egg Production of *Hyalella Longistila* (Amphipoda: Hyalellidae), a Freshwater Amphipod in Southeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n. 5, p. 724-730, 2016a.
- BASTOS-PEREIRA, R; BUENO, A. A. P. Dynamics of a natural population of a hyallelid amphipod from Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n. 2, p. 154-162, 2016b.
- CARDOSO, R. S.; VELOSO, V. G. Population biology and secondary production of the sandhopper *Pseudorchestoidea brasiliensis* (Amphipoda: Talitridae) at Prainha Beach, Brazil. **Marine Ecology Progress Series**, v. 142, p. 111-119, 1997
- CARSCADDEN, K A. et al. Niche breadth: causes and consequences for ecology, evolution, and conservation. **The Quarterly Review of Biology**, v. 95, n. 3, p. 179-214, 2020.
- ARAUJO, P. B. *et al.* Two new subterranean species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea: amphipoda: Hyalellidae) from Brazil. **Zootaxa**, v. 3814, n. 3, p. 353-368, 2014.
- CASTIGLIONI, D. S. *et al.* Intermolt duration and postembryonic growth of two sympatric species of *Hyalella* (Amphipoda, Dogielinotidae) in laboratory conditions. **Nauplius**, v. 15, n. 1, p. 57-64, 2007.
- CASTIGLIONI, D. D. S.; BOND-BUCKUP, G. Pairing and reproductive success in two sympatric species of *Hyalella* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta Oecologica**, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2008a.
- CASTIGLIONI, D. D. S.; BOND-BUCKUP, G. Ecological traits of two sympatric species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) from southern Brazil. **Acta oecologica**, v. 33, n. 1, p. 36-48, 2008b.
- CASTIGLIONI, D. D. S.; BOND-BUCKUP, G. Egg production of two sympatric species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae) in aquaculture ponds in southern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 43, n. 21-22, p. 1273-1289, 2009.
- CASTIGLIONI, D. D. S, *et al.* Population dynamics of a freshwater amphipod from South America (Crustacea, Amphipoda, Hyalellidae). **Nauplius**, v. 24, 2016.
- CASTIGLIONI, D. D. S, *et al.* Population and reproductive traits of a freshwater amphipod (Crustacea, Peracarida, Hyalellidae) from northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, 2020.
- CHAPELLE, G.; PECK, L. S. Amphipod crustacean size spectra: new insights in the relationship between size and oxygen. **Oikos**, v. 106, n. 1, p. 167-175, 2004.
- COLLA, M. F.; CÉSAR, I. I. Ecological aspects of natural populations of *Hyalella pampeana* (Crustacea, amphipoda, hyalellidae) from the natural reserve island of Martín García (Río de La Plata, Argentina). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2019.
- COOPER, W. E. Dynamics and production of a natural population of a fresh-water amphipod, *Hyalella azteca*. **Ecological Monographs**, v. 35, n. 4, p. 377-394, 1965.

- DEHDASHTI, B.; BLINN, DEAN W. Population dynamics and production of the pelagic amphipod *Hyalella montezuma* in a thermally constant system. **Freshwater Biology**, v. 25, n. 1, p. 131-141, 1991.
- DICK, J. T. A.; FALOON, S. E.; ELWOOD, R. W. Active brood care in an amphipod: influences of embryonic development, temperature and oxygen. **Animal Behaviour**, v. 56, n. 3, p. 663-672, 1998.
- DUTRA, B. K. *et al.* Effect of roundup® (glyphosate formulation) in the energy metabolism and reproductive traits of *Hyalella castroi* (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae). **Ecotoxicology**, v. 20, p. 255-263, 2011.
- ELLIOTT, J. M. A continuous study of the total drift of freshwater shrimps, *Gammarus pulex*, in a small stony stream in the English Lake District. **Freshwater Biology**, v. 47, n. 1, p. 75-86, 2002.
- HORTAL, J. *et al.* Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 46, p. 523-549, 2015.
- HUGHES, P. W. Between semelparity and iteroparity: empirical evidence for a continuum of modes of parity. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 20, p. 8232-8261, 2017.
- JAVIDMEHR, A. *et al.* 10-Day survival of *Hyalella azteca* as a function of water quality parameters. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 115, p. 250-256, 2015.
- LOWRY, J. K.; MYERS, A. A. A phylogeny and classification of the Senticaudata subord. nov. Crustacea: Amphipoda. **Zootaxa**, v. 3610, n. 1, p. 1-80-1-80, 2013.
- MADSEN, P. B. *et al.* Altitudinal distribution limits of aquatic macroinvertebrates: an experimental test in a tropical alpine stream. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 5, p. 629-638, 2015.
- MOORE, P. G. The life histories of the amphipods *Lembos websteri* Bate and *Corophium bonnellii* Milne Edwards in kelp holdfasts. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 49, n. 1, p. 1-50, 1981.
- OZGA, A. V.; CASTRO, V. D. S. D.; CASTIGLIONI, D. D. S. Population structure of two freshwater amphipods (Crustacea: Peracarida: Hyalellidae) from southern Brazil. **Nauplius**, v. 26, 2018.
- PANOV, V. E.; MCQUEEN, D. J. Effects of temperature on individual growth rate and body size of a freshwater amphipod. **Canadian journal of zoology**, v. 76, n. 6, p. 1107-1116, 1998.
- PENONI, L. R.; LARES, M. M. A.; BUENO, A. A. P. Description of two new species of the freshwater amphipod *Hyalella* Smith, 1874 (Amphipoda: Hyalellidae) from southeastern Brazil, with remarks on their population biology and reproduction. **Journal of Crustacean Biology**, v. 41, n. 3, p. ruab050, 2021.
- REID, A. J. *et al.* Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews**, v. 94, n. 3, p. 849-873, 2019. Ricklefs, R., ; R. Relyea, 2016. A Economia da Natureza. Guanabara Koogan LTDA, Rio de Janeiro.

RODRIGUES, S. G.; BUENO, A. A. P.; FERREIRA, R. L. A new troglotrophic species of *Hyaella* (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae) with a taxonomic key for the Brazilian species. **Zootaxa**, v. 3815, n. 2, p. 200-214, 2014.

SAINTE-MARIE, Bernard. A review of the reproductive bionomics of aquatic gammaridean amphipods: variation of life history traits with latitude, depth, salinity and superfamily. **Hydrobiologia**, v. 223, p. 189-227, 1991.

SUBIDA, M. D.; CUNHA, M. R.; MOREIRA, M. H. Life history, reproduction, and production of *Gammarus chevreuxi* (Amphipoda: Gammaridae) in the Ria de Aveiro, northwestern Portugal. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 1, p. 82-100, 2005.

SUTCLIFFE, D. W.; CARRICK, T. R.; WILLOUGHBY, L. G. Effects of diet, body size, age and temperature on growth rates in the amphipod *Gammarus pulex*. **Freshwater biology**, v. 11, n. 2, p. 183-214, 1981.

STRONG J. R. D. R. Life history variation among populations of an amphipod (*Hyaella azteca*). **Ecology**, v. 53, n. 6, p. 1103-1111, 1972.

TALHAFERRO, J. T. *et al.* Diversity and distribution of the genus *Hyaella* (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae) in temporary wetlands from the southern Brazilian Coastal Plain, with a taxonomic key to the species in the region. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 58, n. 2, p. 356-372, 2023.

TORREMORELL, A. *et al.* Current and future threats for ecological quality management of South American freshwater ecosystems. **Inland Waters**, v. 11, n. 2, p. 125-140, 2021.

TORRES, S. H. S.; BASTOS-PEREIRA, R.; BUENO, A. A. P. Reproductive aspects of *Hyaella carstica* (Amphipoda: Hyaellidae) in a natural environment in southeastern Brazil. **Nauplius**, v. 23, p. 159-165, 2015.

THURMAN, L. L. *et al.* Persist in place or shift in space? Evaluating the adaptive capacity of species to climate change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 18, n. 9, p. 520-528, 2020.

VÄINÖLÄ, R. *et al.* Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. **Freshwater animal diversity assessment**, p. 241-255, 2008.

WALLER PANZARDI, A.; RAMOS RODRIGUES, T.; VERDI, A. C. Estructura poblacional y aspectos reproductivos de una población *Hyaella curvispina* (Shoemaker, 1942) de Uruguay. **Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay**, 2020, 29 (2): 106-115, 2020.

WELLBORN, G. A. The mechanistic basis of body size differences between two *Hyaella* (Amphipoda) species. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 9, n. 2, p. 159-168, 1994.

WELLBORN, G. A. Determinants of reproductive success in freshwater amphipod species that experience different mortality regimes. **Animal Behaviour**, v. 50, n. 2, p. 353-363, 1995.

WELLBORN, G. A. ; BARTHOLF, S. E. Ecological context and the importance of body and gnathopod size for pairing success in two amphipod ecomorphs. **Oecologia**, v. 143, p. 308-316, 2005.

WELLBORN, G. A.; COTHRAN, R. D. Ecology and evolution of mating behavior in freshwater amphipods. **Evolutionary ecology of social and sexual systems. Oxford University Press, Oxford**, p. 147-167, 2007.

WELLBORN, G. A.; CAPPS, E. Establishment of a new population by a single gravid colonist: implications for *Hyaella* biogeography and speciation. **Evolutionary Ecology**, v. 27, p. 101-115, 2013..

ZEPON, T. *et al.* New records of the troglobitic *Hyaella veredae* Cardoso ; Bueno, 2014 (Crustacea, Amphipoda, Hyaellidae) from Minas Gerais caves, southeast Brazil, with notes on its natural history. **Check List**, v. 17, n. 1, p. 115-123, 2021.