

Efeito da urbanização e da Agricultura no inventário de protozoários ciliados de vida livre na água de viveiros de piscicultura no Centro-Leste de Rondônia

Selma Maria de Arruda Silva¹, Adriana Cristina da Silva Nunes¹, Nilza Rosa Teixeira², Jerônimo Vieira Dantas Filho²

¹Programa de Doutorado em Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil

²Curso de Medicina, Afya Centro Universitário de Ji-Paraná-RO, Ji-Paraná, RO, Brasil

*Autor correspondente: Email: selmadocgeo@gmail.com

1. Introdução

A Piscicultura, integrada ao setor da Aquicultura, consolidou-se como um dos ramos de produção animal que mais rapidamente se expande no panorama brasileiro. O crescimento é notável, com taxas médias anuais em torno de 4,9% desde o início do século (MATTOS et al., 2021) e um volume de pescado que ultrapassou 841 mil toneladas em 2021 (PEIXE BR, 2022). Este desempenho coloca o Brasil em uma posição de destaque global na produção de alimentos aquáticos, um sucesso intrinsecamente ligado à vasta disponibilidade hídrica e a um clima que beneficia o desenvolvimento de diversas espécies nativas (VALENTI et al., 2021). O estado de Rondônia, em particular, lidera a produção nacional de peixes nativos. Contudo, este crescimento acelerado não está isento de desafios. Apesar da alta produção, o setor tem experimentado quedas subsequentes no volume de pescado devido, em grande parte, à saturação do mercado e, de forma crítica, a problemas relacionados à sanidade e à qualidade da água.

A qualidade da água é o fator limitante mais crucial na piscicultura intensiva, pois sua inadequação compromete drasticamente o desempenho produtivo e aumenta os índices de mortalidade (SANT'ANA et al., 2012). Os tanques de piscicultura devem ser entendidos como ecossistemas aquáticos artificiais onde as condições bióticas e abióticas são manipuláveis, mas que são intrinsecamente vulneráveis (DANTAS FILHO et al., 2023). A vulnerabilidade é acentuada pela poluição das águas superficiais, um problema global que afeta os tanques de cultivo. Estes ambientes caracterizam-

se pela alta concentração de matéria orgânica e são frequentemente impactados por volumes significativos de efluentes de origem industrial, doméstica e agrícola (lixiviação superficial) (DANTAS FILHO et al., 2023). Esta contaminação altera o perfil físico, químico e biológico da água, afetando diretamente a saúde dos organismos aquáticos (ZHONG et al., 2017).

A necessidade de um monitoramento ambiental eficaz e precoce levou ao destaque de organismos como os protozoários ciliados de vida livre. Estes organismos unicelulares eucarióticos e heterotróficos são reconhecidos por sua extrema sensibilidade às alterações ambientais (NUNES et al., 2015). Com ciclo de vida curto (XU et al., 2015; SIKDER; XU, 2020), eles respondem rapidamente às mudanças na qualidade da água. Além de sua função bioindicadora, os protozoários são essenciais para o funcionamento das teias alimentares, representando os principais componentes das comunidades microbianas (XU et al., 2014; SIKDER et al., 2019) e servindo de alimento para níveis tróficos superiores (GROTT et al., 2022). Sua capacidade de resposta rápida, inclusive através da formação de cistos de resistência (ECHAVEZ e LEAL, 2021; SHI et al., 2012), justifica sua utilização no biomonitoramento (CABRAL et al., 2017).

Apesar de sua relevância (LIU et al., 2014), a diversidade e o papel dos protozoários nos ecossistemas aquáticos artificiais ainda são subestimados. Os avanços em análises morfológicas e moleculares (GROTT et al., 2016; KATZ e GRANT, 2014) indicam uma diversidade real muito

superior às 8 mil espécies atualmente descritas (GROTT et al., 2022), ressaltando a urgência de mais estudos. No Brasil, o conhecimento sobre o protozooplâncton em tanques de piscicultura é escasso, e não existe uma legislação de controle específica para a aquicultura. Diante do cenário de crescimento da piscicultura e da constante ameaça de contaminação hídrica, o objetivo deste estudo é documentar a composição, a abundância e a densidade dos protozoários de vida livre, avaliando o impacto da urbanização e da agricultura e, fundamentalmente, verificar a possibilidade de utilizar esses organismos como bioindicadores eficazes da qualidade da água para garantir a sustentabilidade e a saúde da atividade piscícola.

2. Metodologia

2.1 Tipo de Estudo

Trata-se de uma pesquisa de natureza descritiva com abordagem quantitativa, utilizando delineamento experimental em campo. O estudo visa avaliar a composição e a densidade de protozoários de vida livre e sua correlação com fatores ambientais em viveiros de piscicultura. Foi utilizado um esquema inteiramente casualizado $20 \times 3 \times 3$ (20 pisciculturas, 3 viveiros e 3 repetições por viveiro).

2.2 Local e Período do Estudo

O estudo foi conduzido em 20 pisciculturas comercialmente ativas no estado de Rondônia, abrangendo os municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto do Oeste, Presidente Médici, Urupá e Teixeiraópolis. As pisciculturas utilizavam predominantemente o sistema semi-intensivo em viveiros semi-escavados de até 0,5 hectares para engorda de tambaqui (*Colossoma macropomum*).

As coletas ocorreram em duas estações hidrológicas amazônicas: a chuvosa (setembro/2021 a abril/2022) e a seca (maio a agosto/2022). O clima predominante é o Tropical Chuvoso (Am), com altas precipitações na estação chuvosa e temperaturas que podem atingir 36°C na seca.

2.3 População e Amostra

A amostra foi composta por 20 pisciculturas, selecionadas por conveniência e disponibilidade junto à EMATER/RO. Em cada piscicultura, foram amostrados três viveiros, totalizando 60 viveiros por estação hidrológica.

2.4 Instrumentos de Coleta de Dados

As coletas qualitativas de protozoários foram feitas por arrastos e as quantitativas em rede de plâncton (malha de $50\mu\text{m}$). Em cada piscicultura, foram obtidas três amostras em pontos distintos (canal de abastecimento e coluna d'água dos viveiros), seguindo o modelo de viveiros interligados. As amostras foram armazenadas a 7°C e transportadas imediatamente. As análises morfológicas e a obtenção de fotomicrografias foram realizadas com microscópio estereoscópico e câmera digital.

2.5 Procedimentos para Coleta de Dados

Os protozoários foram observados sem o uso de fixadores para preservar suas características morfológicas. As amostras foram concentradas por sedimentação, e os protozoários de vida livre foram contados e identificados em triplicata em câmaras de Neubauer de 1 mL. A identificação taxonômica seguiu a literatura especializada e bases de dados (*Protist Information Server*). A densidade foi expressa em indivíduos por mL ($\text{Ind}\cdot\text{mL}^{-1}$), separada por estação.

2.6 Tratamento e Análise dos Dados

As médias de abundância e densidade entre as estações hidrológicas (chuvosa e seca) foram comparadas pelo teste t de Student (5% de significância). A relação das variações populacionais com os fatores de contaminação (proximidade a áreas urbanizadas e agrícolas) foi verificada através do coeficiente de correlação de Pearson (r). A Regressão Linear Múltipla (adaptada de Solomon et al., 2021) foi aplicada para analisar a distribuição espacial e sazonal. Todas as análises foram realizadas no *software* RStudio.

2.7 Aspectos Éticos

Considerando que o estudo foca na análise de organismos do protozooplâncton em ambientes aquáticos, não houve necessidade de submissão a Comitês de Ética em Pesquisa (CEP) ou Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA).

3. Resultados

O monitoramento dos viveiros de piscicultura em Rondônia confirmou que os protozoários ciliados de vida livre são indicadores biológicos altamente eficazes para avaliar a qualidade da água. A detecção desses organismos em mais da metade das pisciculturas valida seu papel ativo no ecossistema e reforça sua utilidade na ausência de legislação de

controle. O inventário revelou uma baixa diversidade de apenas oito espécies, sendo *Paraenchelys terricola* e *Apospathidium terricola* as mais abundantes. Essa baixa diversidade sugere um processo de substituição populacional em que espécies sensíveis são eliminadas e substituídas por espécies mais tolerantes à poluição, ao invés de uma estabilidade ambiental real.

A análise sazonal demonstrou que, embora a densidade total de protozoários não varie significativamente entre as estações chuvosa e seca, as mudanças de estação atuam como um fator de seleção, promovendo a substituição contínua de populações. Mais crucialmente, os resultados apontam para um forte impacto das atividades humanas circundantes: a correlação significativa (0,82) entre populações nativas e substituídas comprova que a urbanização e a agricultura estão alterando a comunidade biológica dos viveiros. O efeito da urbanização foi o mais acentuado, sendo responsável pela substituição de mais de 40% das populações originais, o que indica um forte aporte de contaminantes, possivelmente efluentes.

Em suma, a monitorização da composição e densidade dos protozoários oferece um alerta precoce para contaminação externa, que complementa análises físico-químicas. A evidência de substituição de espécies e o forte impacto de áreas urbanas ressaltam a urgência de implementar práticas de manejo e controle de efluentes mais rigorosas para garantir a sustentabilidade e a sanidade da piscicultura em Rondônia.

4. Conclusão

Os resultados obtidos reforçam a necessidade do monitoramento constante da qualidade microbiológica da água de viveiros de piscicultura bem como da análise quali-quantitativa da comunidade planctônica. Embora os resultados preliminares obtidos não mostrem grande diferenciação entre os pontos amostrais, os protozoários de vida livre representam importantes ferramentas para análise de ambientes afetados por diferentes graus de poluição. Além disso, o monitoramento realizado mostrou que a proximidade com área urbana aumenta as populações de protozoários ciliados, o contrário do efeito da atividade agrícola que reduz essas populações na água dos viveiros de piscicultura.

Portanto, haverá continuidade nos estudos sobre a dinâmica e distribuição das comunidades de microrganismos aquáticos para ampliar o conhecimento

da diversidade taxonômica e ecologia das espécies, principalmente em ambientes impactados.

5. Referências

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BAGATINI, I. L.; SPÍNOLA, A. L. G.; PERES, B. M.; MANSANO, A. S.; RODRIGUES, M. A. A.; BATALHA, M. A. P. L. ...et al. Protozooplankton and its relationship with environmental conditions in 13 water bodies of the Mogi-Guaçu basin - SP, Brazil. Biota Neotropica, v.13, n.4, p.152-163, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000400016>

BICK, H. Ciliated protozoa. An illustrated guide to the species as biological indicators in freshwater. World Health Organization, Geneva, 1972.

BONATTI, T. R.; SIQUEIRA-CASTRO, I. C. V.; FRANCO, R. M. B. Checklist of ciliated protozoa from surface water and sediment samples of Atibaia River, Campinas, São Paulo (Southeast Brazil). Revista Brasileira de Zoociências, v.17, n.1, p.63-76, 2016.

CABRAL, A. F.; UTZ, L. R. P.; VELHO, L. F. M. Structure and distribution of ciliate epibiont communities in a tropical floodplain. Hydrobiologia, v.787, p.167-180, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2955-8>

COLZANI, E., ALVES, M. A. M. Abundância e distribuição de eucariontes unicelulares em três córregos sob influência antrópica na cidade de Ivinhema, Mato Grosso do Sul, Brasil. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 8, p. 192-203, 2013. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

COSTA, R. L. et al. Florações de Cianobactérias potencialmente tóxicas em tanques de pisciculturas da Região Centro-Sul do estado de Mato Grosso. Biodiversidade, v.16, n.1, p.33-46, 2017.

DANTAS FILHO, J. V. et al. Informações preliminares sobre protozoários ciliados de vida livre na água de viveiros de piscicultura no interior do estado de Rondônia. In; CRUZ, M. G. da; CASTRO, J. da S.; JERÔNIMO, G. T. (Org.). Enfermidades parasitárias e

bacterianas na piscicultura. Manaus: I-EDUCAM – Instituto de Educação Continuada e Consultoria Ambiental. 2023. Cap. 6, p. 87-100. <https://doi.org/10.29327/5283434>

DANTAS FILHO, J. V. et al. First evidence of microplastics in freshwater from fish farms in Rondônia state, Brazil. *Heliyon*, v.9, n.4, e15066. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15066>

DEBASTIANI, C. et al. Protozoa ciliates community structure in urban streams and their environmental use as indicators. *Brazilian Journal of Biology*, v.76, p.1043-1053, 2016. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.08615>

DIAS, R. J. P.; WIELOCH, A. H.; D'AGOSTO, M. The influence of environmental characteristics on the distribution of ciliates (Protozoa, Ciliophora) in an urban stream of southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.68, p.287- 295, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000200009>

DRAGESCO, J.; DRAGESCO-KERNÉIS, A. Ciliés libres de l'Afrique intertropicale: introduction a la connaissance et à l'étude des ciliés. Orstom, Paris, 1986.

ECHAVEZ, F. L. C.; LEAL, J. C. M. Ecotoxicological effect of heavy metals in free-living ciliate protozoa of Lake Maracaibo, Venezuela. *Journal of Water and Land Development*, v.51, p.102-116, 2021. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139020>

FOISSNER, W.; BERGER, H. A user friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology*, v.35, p.375-482, 1996.

FOISSNER, W.; BLATTERER, H.; BERGER, H.; KOHMANN, F. Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems- Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. *Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für wasserwirtschaft, München*, 1991.

FOISSNER, W.; BERGER, H.; KOHMANN, F. Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems- Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida.. *Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für wasserwirtschaft, München*, 1992.

FOISSNER, W.; BERGER, H.; KOHMANN, F. Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems- Band III: Hymenostomata, Protostomatida, Nassulida. *Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für wasserwirtschaft, München*, 1994.

FOISSNER, W.; BERGER, H.; BLATTERER, H.; KOHMANN, F. Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems- Band IV: Gymnostomatea, Loxodes, Suctoria. *Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für wasserwirtschaft, München*, 1995.

FOISSNER, W.; BERGER, H.; SCHAUMBURG, J. Identification and ecology of limnetic plankton ciliates. *Bayerisches Landesamt für wasserwirtschaft. Informationsberichte, Munich*, 1999.

GROTT, S. C. et al. Free-living protozoa (ciliophora, excavata and amoebozoa) in two water sources for human supply in the municipality of Blumenau, SC. *Ciência e Natura*, v.44, e4, 2022. <https://doi.org/10.5902/2179460X64753>

GROTT, S. C. et al. Detecção de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.* na água bruta das estações de tratamento no município de Blumenau, SC, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.11, p.689-701, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1853>

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Estação meteorológica de Ouro Preto do Oeste – RO: CPTEC, 2022.

KRAINER, K. H. Contributions to the morphology, infraciliature and ecology of the planktonic ciliates *Strombidium pelagicum* n.sp. *Pelagostrombidium mirabile* (Penard, 1916) n.g., n. comb., and *Pelagostrombidium fallax* (Zacharias, 1896) n.g., n. comb. (Ciliophora, Oligotrichida). *European Journal of Protistology*, v.27, p.60-70, 1991. [http://dx.doi.org/10.1016/S0932-4739\(11\)80428-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0932-4739(11)80428-1)

KATZ, L. A.; GRANT, J. R. Taxon-Rich Phylogenomic Analyses Resolve the Eukaryotic Tree of Life and Reveal the Power of Subsampling by Sites. *Systematic Biology*,

- v.64, n.3, p.406–415, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1093/sysbio/syu126>
- LEE, J.J., HUTNER, S.H. & BOVEE, E.C. An illustrated guide to the protozoa. Allen Press, Kansas, 1985.
- LIU, J.; LEFF, L. G. Temporal changes in the bacterioplankton of a northeast Ohio (USA) river. *Hydrobiologia*, v.489, n.1-3, p.151-159, 2002.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1023228703738>
- MADONI, P.; BRAGHIROLI, S. Changes in the ciliate assemblage along a fluvial system related to physical, chemical and geomorphologic characteristics. *European Journal Protistology*, v.43, n.2, p.67-75, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.ejop.2006.09.004>
- MATTOS, B. O. et al. (Org.). *Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias*. Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.
- NUNES, L. P. S. et al. Monitoring of mycotoxigenic fungi in the cultivated fish, in the water and in the substrate from fish ponds in farms. *Acta Veterinaria Brasilica*, v.9, n.3, p.199-204, 2015.
- PAULETO, G. M. et al. Spatial and temporal patterns of ciliate species composition (Protozoa: Ciliophora) in the plankton of the Upper Paraná River floodplain. *Brazilian Journal of Biology*, v.69, p.517-527, 2009.
<https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300007>
- PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. *Anuário 2022: Peixe BR da Piscicultura*. Pinheiros-SP: PEIXE BR, 2022.
- PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. *Anuário 2023: Peixe BR da Piscicultura*. Pinheiros-SP: PEIXE BR, 2023.
- SANT'ANA, F. J. F. et al. Surtos de infecção por *Piscinoodinium pillulare* e *Henneguya* spp. em pacus (*Piaractus mesopotamicus*) criados intensivamente no Sudoeste de Goiás. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.32, n.2, p.121-125, 2012.
- SEGOVIA, B. T. et al. Anthropogenic disturbances influencing ciliate functional feeding groups in impacted tropical streams. *Environmental Science and Pollution Research*, v.23, p.13802-13810, 2016.
<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7185-0>
- SHI, X. et al. An approach to analyzing spatial patterns of protozoan communities for assessing water quality in the Hangzhou section of Jing-Hang Grand Canal in China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 19, p. 739–747, 2012.
- SIKDER, M.N.A.; XU, H. Seasonal variations in colonization dynamics of periphytic protozoa in coastal waters of the Yellow Sea, northern China. *European Journal of Protistology*, v.72, p.125643, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.ejop.2019.125643>
- SOUZA de P. M. et al. Inventário de microeucariotos ciliados (Alveolata: Ciliophora) em ecossistemas límnicos no município de Juiz de Fora (MG). *Principia: Caminhos da Iniciação Científica*, v. 19, p.11-11, 2019.
- VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, v.19, 100611.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>
- VELHO, L. F. M. et al. Structure of planktonic ciliates community (Protist, Ciliophora) from an urban lake of southern Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.35, p.531-539, 2013.
<https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v35i4.18579>
- XU, H. et al. Use of biofilm-dwelling ciliate communities to determine environmental quality status of coastal waters. *Science of the Total Environment*, v.470–471, p.511-518, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.025>
- XU, W.; ZHANG, H.; XU. An approach to bioassessment of water quality using diversity measures based on species accumulation curves. **Marine Pollution Bulletin**, v.91, p.238-242, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.041>