

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE BIOFILMES DE CURTO TEMPO DE FORMAÇÃO EM RIOS URBANOS

Barbara Alves de Lima Nawate¹ ; Rafaela Imoski² ; Luiza Teodoro Leite³ ; Márcia Cristiane Kravetz Andrade⁴ ; Maurici Luzia Charnevski Del Monego⁵; Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes⁶ & Júlio César Rodrigues de Azevedo⁷

Abstract: Unplanned urbanization combined with industrial development and excessive consumption, has intensified the discharge of effluents into aquatic environments, compromising the quality of water resources. In this scenario, biofilms, microbial communities attached to submerged surfaces, emerge as promising tools for environmental monitoring, given their sensitivity to hydrological changes and capacity for bioaccumulation of pollutants. This study investigated the formation of biomass in natural biofilms in the Barigui River (Almirante Tamandaré – Paraná - Brazil), considering short incubation times (2 to 5 days), using glass plate samplers fixed to the riverbed. The results demonstrated a general trend of increasing biomass with exposure time. However, significant variations were observed between plates with the same incubation time, suggesting the influence of environmental and hydrological factors. In specific cases, plates exposed for a shorter time accumulated more biomass than others with longer incubation times. Furthermore, hydrological and spatial conditions were shown to be important in the formation of biofilms. It is concluded that, although incubation time is relevant, it is not the only influential factor. Aspects such as plate position and environmental variations should be evaluated more deeply and considered in studies with biofilms, highlighting the complexity in standardizing sampling methodologies in impacted urban ecosystems.

Resumo: A crescente urbanização desordenada, aliada ao desenvolvimento industrial e ao consumo excessivo, tem intensificado o lançamento de efluentes nos ambientes aquáticos, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos. Nesse cenário, os biofilmes, comunidades microbianas aderidas a superfícies submersas, surgem como ferramentas promissoras para o monitoramento ambiental, dada sua sensibilidade às alterações hidrológicas e capacidade de bioacumulação de poluentes. Este estudo investigou a formação de biomassa em biofilmes naturais no rio Barigui (Almirante Tamandaré – Paraná - Brasil), considerando curtos tempos de incubação (2 a 5 dias), por meio de amostradores de placas de vidro fixadas ao leito do rio. Os resultados demonstraram uma tendência geral de aumento da biomassa com o tempo de exposição. No entanto, variações significativas foram observadas entre placas com igual tempo de incubação, sugerindo influência de fatores ambientais e hidrológicos. Em

1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial de Curitiba – PR, engbarbaradelima@gmail.com.

2) Universidade Federal do Paraná: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba – PR, rafaimoski@hotmail.com.

3) Universidade Tecnológica Federal do Paraná: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial de Curitiba – PR, luiza.teodorol@gmail.com.

4) Universidade Tecnológica Federal do Paraná: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial de Curitiba – PR, marciacriskra@hotmail.com.

5) Universidade Tecnológica Federal do Paraná: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial de Curitiba – PR, mauriciluzia@gmail.com

6) Universidade Federal do Paraná: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba – PR, cvs.fernandes@gmail.com.

7) Universidade Tecnológica Federal do Paraná: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial de Curitiba – PR, jcrazevedo.utfpr@gmail.com

casos específicos, placas expostas por menos tempo acumularam mais biomassa do que outras com maior tempo de incubação. Além disso, as condições hidrológicas e espaciais se mostraram importantes na formação dos biofilmes. Conclui-se que, embora o tempo de incubação seja relevante, ele não é o único fator influente. Aspectos como posição das placas e variações ambientais devem ser avaliadas mais profundamente e consideradas em estudos com biofilmes, evidenciando a complexidade na padronização de metodologias de amostragem em ecossistemas urbanos impactados.

Palavras-Chave – Perifíton, Monitoramento ambiental, Gestão de Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada e desordenada, aliada ao crescimento industrial e aos padrões de consumo exacerbados, tem contribuído fortemente para o lançamento de efluentes, tratados ou não, nos ambientes naturais, resultando na degradação ambiental, especialmente dos recursos hídricos (Montagner et al., 2019). Estes múltiplos interesses na utilização dos recursos hídricos pelo ser humano tem causado severos prejuízos aos corpos hídricos e, com isto, se faz necessária a busca e desenvolvimento de novos métodos de monitoramento do meio aquático.

Neste sentido, a ciência contemporânea tem se dedicado a compreender os mecanismos pelos quais os regimes de fluxo influenciam a biota, considerando o contexto do ecossistema e as interações ecológicas nele estabelecidas (Palmer, 2019). Biofilmes são comunidades microbianas formadas por bactérias fungos, algas e protozoários, envoltas e conectadas por uma matriz aderente que as liga entre si e às superfícies ou interfaces específicas, que proporciona estabilidade estrutural e proteção ao conjunto (Valdés et al., 2020).

Os biofilmes são componentes onipresentes nos ambientes aquáticos, apresentando variações quanto ao grau de fixação em superfícies sólidas. Pode estar firmemente aderido à substratos como pedras, madeiras submersas e vegetação aquática, especialmente em ambientes com águas turvas ou turbulentas, enquanto sua aderência tende a ser menos firme quando se desenvolve sobre sedimentos superficiais (Bowen, 2022). O desenvolvimento das colônias de biofilme resulta da interação entre processos bióticos e abióticos, cuja atuação conjunta determina sua formação, estrutura e dinâmica no ambiente aquático (Villeneuve et al., 2011).

A capacidade dos biofilmes em dissipar micro poluentes, como pesticidas, pode ser significativamente impactada pelo agravamento de eventos hidrológicos extremos — a exemplo de secas severas e chuvas prolongadas — intensificados pelo atual cenário de mudanças climáticas e pelas atividades antrópicas. Tais alterações têm afetado de forma expressiva a hidrologia de rios e riachos, modificando a frequência e a duração desses eventos extremos (Bertrans-Tubau et al., 2023).

Os biofilmes desempenham um papel fundamental na base da cadeia trófica, o que tem motivado um crescente interesse em estudos voltados ao seu entendimento, especialmente em contextos ambientais relacionados à qualidade dos recursos hídricos. A adesão, formação e desenvolvimento dessas comunidades microbianas envolvem processos altamente complexos, o que torna desafiador o estabelecimento de protocolos padronizados para sua amostragem e análise. Diversos modelos de amostradores passivos têm sido propostos na literatura científica. Contudo, ainda não há consenso sobre a abordagem metodológica mais adequada para sua obtenção e estudo.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi verificar o comportamento da bioacumulação de biomassa na formação de biofilmes naturais de rui urbano com baixo tempo de incubação.

METODOLOGIA

A área de estudo desta pesquisa se localiza em Almirante Tamandaré (Paraná – Brasil), tratando-se do rio Barigui. Este rio é caracterizado por apresentar áreas com múltiplos usos, especialmente, por estar inserido em uma grande área urbana do município de Curitiba, capital do estado do Paraná. No trecho amostrado, atividades de comércio, bem como, atividades domésticas advindas da urbanização sem estrutura e pequenas atividades agrícolas são comuns, além de uma parcela de indústrias nas redondezas. As amostragens de biofilmes ocorreram no período entre agosto e setembro de 2024.

O amostrador de biofilmes desenvolvido para este estudo consiste em uma estrutura confeccionada em madeira, com as extremidades opostas abertas, de modo a permitir o livre escoamento da água através de seu interior. Em seu compartimento interno, foram inseridas quatro placas de vidro distintas, dispostas verticalmente, de maneira paralela e sequencial, acompanhando a orientação longitudinal do caixote externo. Cada uma dessas placas apresenta dimensões de 41,5 cm de altura por 53,5 cm de comprimento, o que totaliza uma área superficial de 4.440,5 cm² (equivalente a 0,44 m²) disponível para o desenvolvimento do biofilme.

A fixação dos amostradores foi realizada diretamente no leito do rio, por meio de estacas metálicas afixadas nas extremidades inferiores das estruturas e cravadas no solo até aproximadamente 1 metro de profundidade, assegurando, assim, a completa submersão das placas ao longo de todo o período de exposição.

As placas do amostrador foram sorteadas aleatoriamente, sendo a ordem final, em sequência da esquerda para a direita: Placa A (PLA), Placa D (PLD), Placa C (PLC) e Placa B (PLB), como mostra a Figura 1:

Figura 1 – Amostrador de Biofilmes



O objetivo desta etapa do estudo foi avaliar a biomassa formada por biofilmes com baixo tempo de incubação (2 a 5 dias) e, para tanto, as placas foram raspadas e o biofilme removido conforme uma lógica de amostragens que também foi utilizada para outro experimento realizado simultaneamente com as placas sobressalentes e, por isto, não seguem a ordem temporal comum. Por este motivo nem todas as placas foram coletadas em cada evento de amostragem, bem como, as placas com dois dias de incubação foram amostradas ao final do experimento. O objetivo, portanto, foi obter tempos de

incubação crescentes para comparação e verificação dos efeitos da formação de biomassa. A Tabela 1 retrata a dinâmica das amostragens e coleta dos biofilmes:

Tabela 1 - Dinâmica das amostragens e coleta dos biofilmes:

Evento	Placa amostrada	Tempo de incubação
A1	PLA PLB	4 dias
A2	PLB	4 dias
A3	PLA PLD	5 dias
A4	PLC	2 dias

Os biofilmes foram removidos das placas por raspagem manual, com o uso de raspadores metálicos. Foram, então, acondicionados em recipientes metálicos e congelados à -20°C para posterior liofilização até completa secagem. Por fim, seguiram para a pesagem em balança de alta precisão e avaliação das quantidades de biomassa formada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 expõe os resultados encontrados para a formação de biomassa na área das placas amostradas, conforme o respectivo evento de amostragem realizado.

Tabela 2: Formação de Biomassa por área de placa

Evento	Placa amostrada	Tempo de incubação	Biomassa formada por área de placa (g m ⁻²)
A1	PLA PLB	4 dias	2,91 3,99
A2	PLB	4 dias	1,34
A3	PLA PLD	5 dias	2,74 5,26
A4	PLC	2 dias	0,25

A formação de biomassa em biofilmes pode ser analisada sob uma perspectiva temporal, considerando-se o tempo de incubação, bem como por meio de comparações entre placas submetidas a um mesmo período de exposição. No que se refere à variável temporal, observa-se uma tendência de incremento na biomassa ao longo do tempo, conforme indicam as médias de formação apresentadas na Tabela 3. Dessa maneira, quanto maior o tempo de exposição dos amostradores e, conseqüentemente, das placas ao ambiente natural, maior tende a ser a capacidade de aumento de densidade de biomassa formada dos biofilmes.

Tabela 3 - Média de Formação de Biomassa por área de placa

Tempo de incubação (em dias)	Média de Formação (g m ⁻²)
2	0,25
4	2,91
5	4

Um dos principais desafios da ciência e da avaliação de impactos ambientais é identificar quais processos exercem maior influência sobre as comunidades bentônicas em ecossistemas naturais e, sobretudo, discernir se tais efeitos resultam de fontes antrópicas, como a poluição, ou de variações naturais do ambiente (Villeneuve et al., 2011; Colls et al., 2019; Guo et al., 2020; Vlaičević et al., 2022). Neste sentido, apesar da tendência geral de aumento da biomassa ao longo do tempo, sugerida pelas médias observadas, esses resultados devem ser interpretados com cautela. Quando analisados isoladamente, os eventos de amostragem revelam variações nos padrões de formação de biomassa, indicando que fatores pontuais ou variáveis ambientais específicas podem influenciar significativamente esse processo.

Como exemplo, destaca-se a placa PLA, referente à amostragem A3, que apresentou um tempo total de incubação de cinco dias. No entanto, a biomassa acumulada por unidade de área foi inferior à observada em todas as placas do evento A1, cuja incubação ocorreu por apenas quatro dias. Esse resultado mostra que o tempo de exposição, isoladamente, não é o único fator determinante na formação de biofilmes.

O tempo e local de formação mais recente de biofilmes parecem oferecer recursos alimentares que impactam na formação de biomassa. Evidências disponíveis indicam que, nos estágios iniciais de desenvolvimento, o biofilme apresenta um aumento na concentração de aminoácidos, contudo, à medida que envelhece, parte desses compostos é mineralizada, enquanto outra fração torna-se quimicamente indisponível, o que resulta na redução do seu valor nutricional para os organismos consumidores (Bowen, 2019).

Além disso, observa-se que placas submetidas às mesmas condições ambientais, como tempo de incubação, vazão e regime hidrológico, apresentaram variações expressivas na biomassa acumulada. Esse padrão foi identificado, por exemplo, entre as placas PLA e PLB da amostragem A1, bem como entre PLA e PLD na amostragem A3. No caso específico da amostragem A3, embora as placas estivessem posicionadas sequencialmente no interior do amostrador, a placa PLD apresentou quase o dobro da biomassa em comparação à PLA. Esse resultado sugere que a posição espacial das placas no dispositivo de amostragem pode influenciar significativamente a formação de biofilmes, configurando-se como uma variável relevante que demanda investigação mais aprofundada.

Adicionalmente, eventos com tempos de incubação equivalentes, mas submetidos a diferentes condições ambientais, como variações na hidrologia e na vazão, podem influenciar significativamente a bioacumulação de biomassa em amostradores passivos. As amostragens A1 e A2 ilustram essa diferenciação. A placa B, presente em ambos os eventos com quatro dias de incubação, apresentou uma redução de aproximadamente 65% na biomassa formada na segunda amostragem, evidenciando o impacto das condições ambientais sobre o desenvolvimento dos biofilmes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a complexidade envolvida na formação de biofilmes em ambientes urbanos impactados, como o rio Barigui. A análise da biomassa acumulada em diferentes tempos de incubação demonstrou uma tendência geral de aumento com o tempo de exposição, mesmo que próximo. No entanto, essa relação não se mostrou linear nem exclusiva, uma vez que outros fatores, como a posição espacial das placas no amostrador, variações hidrológicas, regime de vazão, qualidade da água e condições ambientais pontuais também podem atuar significativamente na bioacumulação.

Essas variações reforçam a importância de considerar múltiplas variáveis no planejamento experimental e na interpretação de dados relacionados ao monitoramento ambiental com biofilmes. A sensibilidade dessas comunidades microbianas às alterações nas condições do meio torna os biofilmes uma ferramenta interessante para a avaliação da qualidade da água, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pressões antrópicas.

Ademais, a dificuldade em estabelecer um padrão uniforme de formação de biomassa, mesmo entre placas submetidas a condições similares, indica a necessidade de aprofundar os estudos sobre os mecanismos ecológicos e físico-químicos que modulam esses processos. Assim, investigações futuras devem buscar integrar variáveis espaciais, temporais e ambientais, contribuindo para o aprimoramento de metodologias de amostragem e análise de biofilmes em sistemas aquáticos urbanos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao apoio financeiro proporcionado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), per meio da bolsa PDPG-POSDOC (Bolsista CAPES/BRASIL - Processo 88887.924831/2023-00) e ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Ambiental Urbana, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba. Ao Laboratório de Estudos Avançados em Química Ambiental (LEAQUA) e ao Laboratório Multiusuário Equipamentos e Análises Ambientais (LAMEAA) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

- Bertrans-Tubau, L., Menard, Y., Batisson, Is., Creusot, N., Mazzella, N., Millan-Navarro, D., Moreira, A., Morin, S., Ponsá, S., Abril, M., Proia, L., Romaní, A., Artigas, J. (2023). Dissipation of pesticides by stream biofilms is influenced by hydrological histories. *FEMS microbiology ecology*. 99. 10.1093/femsec/fiad083.
- Bowen, S. (2022). The river flood pulse, benthic biofilm, and the nutrition of *Prochilodus lineatus*. *Environmental Biology of Fishes*. 105. 10.1007/s10641-022-01211-1.
- Colls, M., Timoner, X., Font, C., Sabater, S., & Acuña, V. (2019). Effects of Duration, Frequency, and Severity of the Non-flow Period on Stream Biofilm Metabolism. *Ecosystems*, 22(6), 1393–1405. doi:10.1007/s10021-019-00345-1.

- Guo, K., Wu, N., Manolaki, P., Baattrup-Pedersen, A., & Riis, T. (2020). Short-period hydrological regimes override physico-chemical variables in shaping stream diatom traits, biomass and biofilm community functions. *Science of The Total Environment*, 140720. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140720.
- Montagner, C. C et al. (2019). Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. Doi: 10.21577/01035053.20180232.
- Palmer, M., & Ruhi, A. (2019). Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration. *Science*, 365(6459), eaaw2087. doi:10.1126/science.aaw2087.
- Valdés, M. E et al. (2021). Distribution of antibiotics in water, sediments and biofilm in an urban river (Córdoba, Argentina, LA). Doi: 10.1016/j.envpol.2020.116133
- Villeneuve, A., Bouchez, A., & Montuelle, B. (2011). In situ interactions between the effects of season, current velocity and pollution on a river biofilm. *Freshwater Biology*, 56(11), 2245–2259. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02649.x
- Vlaičević, B., Gulin Beljak, V., Matoničkin Kepčija, R., Turković Čakalić, I. (2022). Periphytic Ciliate Communities in Lake Ecosystem of Temperate Riverine Floodplain: Variability in Taxonomic and Functional Composition and Diversity with Seasons and Hydrological Changes. *Water*. 14. 551. 10.3390/w14040551.