



Gestão Ambiental de Águas Costeiras sob Pressão Urbana: Evidências a partir de Avaliação Genotóxica

Cyntia de Cássia Muniz Roveri¹

Vinicius Roveri²

RESUMO

A poluição difusa associada ao escoamento superficial urbano constitui um dos principais desafios para a gestão ambiental de zonas costeiras, especialmente em municípios com crescimento urbano desordenado e infraestrutura sanitária limitada. No município do Guarujá (São Paulo, Brasil), esse cenário é agravado pela presença de canais de drenagem urbana que transportam efluentes domésticos, frequentemente provenientes de ligações clandestinas, diretamente para áreas costeiras de intensa utilização recreacional. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial mutagênico das águas de drenagem urbana e da descarga oceânica de esgotos, considerando a complexidade das misturas de contaminantes presentes nesses sistemas. Foram analisados seis pontos amostrais, incluindo quatro canais de drenagem urbana (Iporanga, Perequê, Enseada e Tombo) e dois pontos na zona de mistura do emissário submarino. A avaliação foi realizada por meio do Teste de Ames, utilizando as linhagens *Salmonella typhimurium* TA98 e TA100, com e sem ativação metabólica (S9), conforme OECD Guideline 471. Os resultados indicaram ausência de atividade mutagênica ($IM < 2$; $p > 0,05$), sem evidência de efeito dose-resposta. Entretanto, dados ambientais previamente reportados para a região indicam elevada carga de poluentes, incluindo nutrientes, matéria orgânica, microrganismos patogênicos, metais e contaminantes emergentes. Sob a perspectiva da gestão ambiental, os resultados demonstram que a ausência de mutagenicidade não implica ausência de risco, reforçando a necessidade de abordagens integradas para subsidiar a tomada de decisão em ambientes costeiros urbanizados.

Palavras-chave: Gestão ambiental; Drenagem urbana; Poluição difusa; Zona costeira; Teste de Ames.

ABSTRACT

Diffuse pollution associated with urban surface runoff represents a major challenge for environmental management in coastal zones, particularly in rapidly urbanizing regions with limited sanitation infrastructure. In Guarujá (São Paulo, Brazil), this scenario is intensified by the presence of urban drainage channels that convey domestic sewage, often from illegal connections, directly into coastal areas with high recreational use. This study aimed to evaluate the mutagenic potential of urban drainage waters and ocean sewage discharge, considering the



complexity of contaminant mixtures present in these systems. Six sampling points were analysed, including four urban drainage channels located at beaches with different land-use patterns and two points in the mixing zone of a submarine outfall. The Ames test was performed using *Salmonella typhimurium* strains TA98 and TA100, with and without metabolic activation (S9), according to OECD Guideline 471. The results indicated no mutagenic activity ($MI < 2$; $p > 0.05$). However, environmental data revealed high pollutant loads. From a management perspective, the absence of mutagenicity does not imply absence of environmental risk.

Keywords: Environmental management; Urban runoff; Coastal pollution; Ames test.

INTRODUÇÃO

A poluição difusa associada ao escoamento superficial urbano tem sido amplamente reconhecida como um dos principais vetores de degradação ambiental em zonas costeiras urbanizadas, especialmente em regiões caracterizadas por crescimento populacional acelerado, expansão urbana desordenada e deficiência nos sistemas de saneamento básico. Diferentemente das fontes pontuais de poluição, que podem ser mais facilmente identificadas e controladas, a poluição difusa resulta de múltiplas contribuições distribuídas ao longo do território, incluindo escoamento superficial de áreas impermeabilizadas, descarte irregular de resíduos sólidos e, principalmente, conexões clandestinas de esgoto doméstico em sistemas de drenagem pluvial (Roveri et al., 2020).

No município do Guarujá, localizado na Baixada Santista (Estado de São Paulo, Brasil), esse cenário assume especial relevância. A ilha de Santo Amaro configura-se como uma importante área balneária que abriga aproximadamente 315 mil habitantes, podendo ter sua população duplicada durante o período de verão em função do turismo. Esse aumento sazonal intensifica significativamente a geração de efluentes domésticos, pressionando um sistema de saneamento que apresenta limitações estruturais importantes. Estima-se que aproximadamente 62% dos esgotos sejam coletados, enquanto apenas cerca de 6% recebem tratamento efetivo, resultando no lançamento de efluentes



parcialmente tratados ou in natura no ambiente costeiro (Roveri et al., 2020; 2021a).

Nesse contexto, os canais de drenagem urbana desempenham papel central na dinâmica de transporte de poluentes, funcionando como uma interface direta entre o ambiente urbano e o marinho. Esses canais, frequentemente associados a ocupações irregulares e ausência de infraestrutura sanitária adequada, transportam uma mistura complexa de contaminantes físicos, químicos e biológicos, incluindo nutrientes, matéria orgânica, microrganismos patogênicos, metais e compostos orgânicos emergentes. Em função de suas características visuais e odor característico, esses sistemas são popularmente conhecidos como “línguas negras”, evidenciando seu papel como fontes contínuas de poluição costeira (Roveri et al., 2022).

A complexidade dessas misturas impõe limitações às abordagens tradicionais de monitoramento ambiental baseadas exclusivamente em análises físico-químicas, uma vez que tais métodos não capturam adequadamente os efeitos combinados dos contaminantes. Nesse sentido, a utilização de bioensaios ecotoxicológicos, como o Teste de Ames, representa uma ferramenta importante para a avaliação integrada dos efeitos biológicos dessas misturas, permitindo inferir o potencial genotóxico de amostras ambientais complexas (Roveri et al., 2021b; 2022).

Apesar da relevância do tema, ainda são escassos os estudos que avaliam a mutagenicidade de águas de drenagem urbana no município do Guarujá, especialmente sob a perspectiva integrada da gestão ambiental. A ausência de informações nesse campo limita a capacidade de tomada de decisão e o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle da poluição difusa (Roveri et al., 2020; 2021a; 2021b; 2022).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial mutagênico das águas de drenagem urbana e da descarga oceânica de esgotos no município do Guarujá, contribuindo para a compreensão dos



riscos associados à poluição difusa e fornecendo subsídios técnicos para a gestão ambiental de áreas costeiras urbanizadas.

METODOLOGIA

Foram selecionados seis pontos amostrais, sendo quatro localizados em canais de drenagem urbana em praias com diferentes padrões de uso e ocupação do solo — Iporanga (unidade de conservação), Perequê (comunidade pesqueira), Enseada (alta visitação turística) e Tombo (praia com certificação Bandeira Azul) — e dois pontos situados na zona de descarga do emissário submarino, localizada a aproximadamente 4,5 km da costa, a uma profundidade de 14 metros (Roveri et al., 2020; 2021a;2021b; 2022).

As coletas foram realizadas no dia 14 de janeiro de 2018, período correspondente ao verão brasileiro, quando há maior pressão antrópica sobre os sistemas costeiros. As amostras dos canais foram coletadas na desembocadura, antes do contato com a areia da praia, utilizando frascos de vidro âmbar com volume de 1 litro. Para a zona oceânica, utilizou-se uma garrafa Van Dorn, sendo obtidas amostras compostas a partir de duas profundidades (1 m e 10 m), totalizando 1 litro por ponto amostral (Roveri et al., 2020; 2021a;2021b; 2022).

As análises foram conduzidas por laboratório acreditado segundo a norma ABNT ISO/IEC 17025. O potencial mutagênico foi avaliado por meio do Teste de Ames, conforme a diretriz OCDE nº 471, utilizando as linhagens *Salmonella typhimurium* TA98 e TA100, que permitem detectar mutações do tipo *frameshift* e substituição de pares de bases. O ensaio foi realizado pelo método de pré-incubação modificado, na presença e ausência de ativação metabólica (S9), utilizando 8% da mistura microssomal (OCDE, 1997; Mortelmans e Zeiger, 2000).

A fração S9 foi obtida a partir de fígado de ratos *Sprague-Dawley* previamente tratados com bifenil policlorado, com atividade validada por compostos padrão. As amostras foram esterilizadas por filtração em membrana de 0,22 µm e testadas em concentrações crescentes de 100 a 2000 µL por placa.



Os resultados foram expressos em número de revertentes por placa e índice de mutagenicidade (IM), sendo este definido como a razão entre revertentes induzidos e espontâneos. A análise estatística foi realizada utilizando o software SALANAL, incluindo ANOVA e regressão linear. Uma amostra foi considerada mutagênica quando apresentasse $p \leq 0,05$, efeito dose-resposta e $IM > 2$ (OCDE, 1997; Mortelmans e Zeiger, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que todas as amostras apresentaram valores de revertentes dentro da faixa de mutação espontânea do laboratório, sendo que os controles positivos confirmaram a sensibilidade das linhagens e a eficiência do sistema de ativação metabólica. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas em relação ao controle negativo, nem efeito dose-resposta, e os valores de índice de mutagenicidade (IM) permaneceram inferiores a 2 em todas as concentrações testadas, indicando ausência de atividade mutagênica.

A síntese dos resultados pode ser observada na Tabela 1 e Figura 1, nas quais se verifica que todos os pontos amostrais (P1 a P6) apresentaram valores de IM abaixo do limiar de positividade ($IM > 2$), reforçando a ausência de indução de mutações reversas nas linhagens *Salmonella typhimurium* TA98 e TA100, tanto na presença quanto na ausência de ativação metabólica.

Tabela 1. Avaliação da mutagenicidade das amostras (Teste de Ames)

Ponto	Local	Tipo de ambiente	TA98 ($\pm S9$)	TA100 ($\pm S9$)	p-valor	Dose-resposta	IM	Interpretação
P1	Iporanga	Unidade de conservação	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico
P2	Perequê	Comunidade pesqueira	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico
P3	Enseada	Alta visitação turística	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico
P4	Tombo	Bandeira Azul	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico
P5	Emissário	Zona de mistura (1 m)	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico
P6	Emissário	Zona de mistura (10 m)	Não significativo	Não significativo	> 0,05	Não	< 2	Não mutagênico

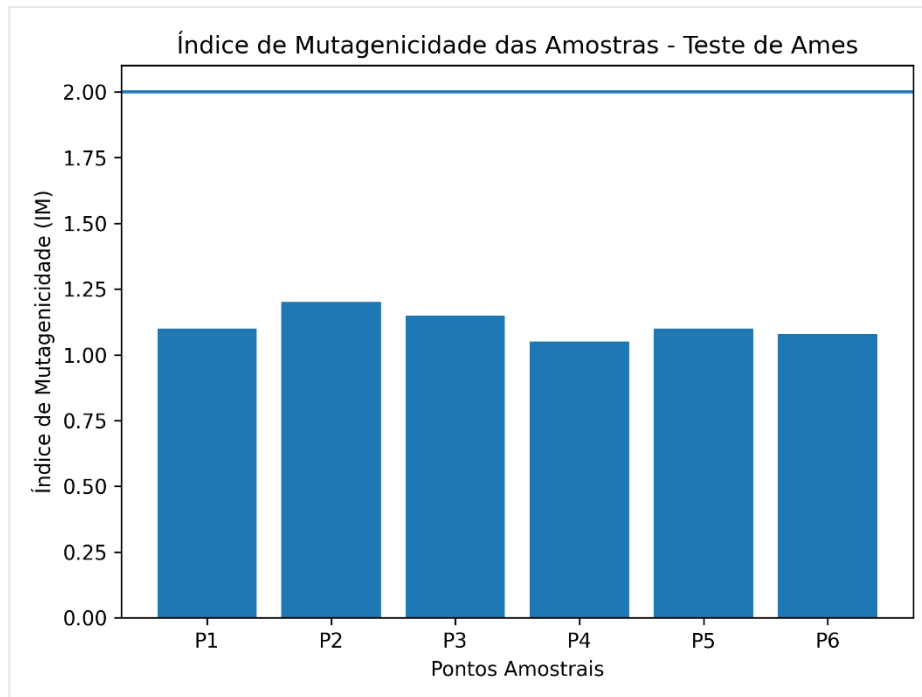


Figura 1. Índice de mutagenicidade (IM) das amostras de água coletadas em canais de drenagem urbana e na zona de mistura do emissário submarino no município do Guarujá (SP), avaliadas pelo Teste de Ames utilizando as linhagens *Salmonella typhimurium* TA98 e TA100, na presença e ausência de ativação metabólica (S9). A linha horizontal representa o limiar de positividade (IM = 2). Todos os valores observados permaneceram abaixo desse limite, indicando ausência de atividade mutagênica nas amostras analisadas.

Apesar desses resultados, estudos prévios conduzidos na mesma região demonstram que os canais de drenagem urbana do Guarujá transportam uma ampla gama de contaminantes, incluindo nutrientes, matéria orgânica, metais, surfactantes, microrganismos patogênicos e contaminantes emergentes, como fármacos e drogas ilícitas. Esses canais, popularmente conhecidos como “línguas negras”, são responsáveis pela introdução contínua de cargas poluentes no ambiente marinho, especialmente em áreas de intensa recreação (Roveri et al., 2020; 2021a; 2021b; 2022).



A ausência de mutagenicidade observada pode estar associada à ausência ou baixa concentração de compostos altamente mutagênicos, ou ainda às limitações das linhagens utilizadas, que não são sensíveis a todos os mecanismos de dano ao DNA. Nesse sentido, recomenda-se a utilização de linhagens adicionais, como TA97a, TA102 e TA1535, para uma avaliação mais abrangente do potencial genotóxico dessas amostras ambientais.

Do ponto de vista da gestão ambiental, os resultados evidenciam que a ausência de mutagenicidade não deve ser interpretada como ausência de risco. A presença de elevada carga poluente, amplamente documentada para os sistemas de drenagem urbana do município, indica a necessidade de uma abordagem integrada, que considere múltiplos indicadores de qualidade ambiental, incluindo parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos, como suporte à tomada de decisão e ao planejamento ambiental em zonas costeiras urbanizadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os canais de drenagem urbana do Guarujá representam importantes vetores de poluição costeira, e que a adoção de estratégias integradas de gestão ambiental é essencial para a mitigação dos impactos sobre os ecossistemas aquáticos e a saúde pública. A ampliação da infraestrutura de saneamento, o controle de ligações clandestinas e o monitoramento contínuo são medidas fundamentais para a melhoria da qualidade ambiental em áreas costeiras urbanizadas.



REFERÊNCIAS

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico 1997 Diretrizes para Testes de Produtos Químicos/Seção 4. 'Teste de Mutação Reversa Bacteriana'. Método 471. Adotado em: 21 de julho de 1997.

Mortelmans, K., & Zeiger, E. (2000). The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay. *Mutation research/fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis*, 455(1-2), 29-60.

Roveri, V., Guimarães, L. L., Correia, A. T., Demoliner, M., & Spilki, F. R. (2020). Occurrence of human adenoviruses in a beach area of Guarujá, São Paulo, Brazil. *Water Environment Research*, 92(9), 1249-1254.

Roveri, V., Guimarães, L. L., & Teodorico Correia, A. (2021a). Mutagenic and ecotoxicological assessment of urban surface runoff flowing to the beaches of Guarujá, State of São Paulo, Brazil. *Water Science and Technology*, 83(12), 3054-3062.

Roveri, V., Guimarães, L. L., & Teodorico Correia, A. (2021b). Mutagenic and ecotoxicological assessment of urban surface runoff flowing to the beaches of Guarujá, State of São Paulo, Brazil. *Water Science and Technology*, 83(12), 3054-3062.

Roveri, V., Guimarães, L. L., & Correia, A. T. (2022). Spatial and temporal evaluation of the urban runoff water flowing into recreational areas of Guarujá, São Paulo State, Brazil. *International Journal of River Basin Management*, 20(1), 93-109.



ATEN@
ISSN - 2526-0669

REVISTA DIGITAL DE GESTÃO & NEGÓCIOS



Autor

Cyntia de Cássia Muniz Roveri¹

Email: cyntia791@terra.com.br

Universidade Santa Cecília

Vinicius Roveri²

Email : vinicius.roveri@unimes.br

Universidade Metropolitana de Santos