



CARACTERIZAÇÃO DA POLUIÇÃO DIFUSA E POSSÍVEIS FATORES INTERVENIENTES DURANTE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO EM UM RIACHO URBANO DE SÃO CARLOS (SP)

Aluna: Cecilia Loretti de Paiva¹

Orientador: Prof. Dr. Davi Gasparini Fernandes Cunha²

¹ cecilialoretti@usp.br, USP-EESC; ² davig@sc.usp.br, USP-EESC

RESUMO:

No presente estudo, buscou-se caracterizar, por meio das concentrações médias de Sólidos Suspensos (totais, fixos e voláteis) do evento, a poluição difusa durante ocorrências de precipitação no riacho Santa Maria do Leme e sua relação com a preservação ambiental no local, avaliada pela aplicação de Protocolos de Avaliação Rápida. O estudo mostrou o elevado aporte de sólidos, principalmente de origem inorgânica, e sua possível relação com a erosão próxima e/ou nas margens do rio, bem como com a pequena extensão e descontinuidade da mata ciliar observada. Nesse contexto, a poluição difusa contribui diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, importante manancial de abastecimento público e principal rio de São Carlos, e impacta diretamente na captação de água e no problema de inundações da cidade, demonstrando a necessidade de maiores investimentos em monitoramento, capacitação e conscientização para a preservação ambiental do riacho.

ABSTRACT:

This research aims to characterize diffuse pollution during precipitation events in the Santa Maria do Leme stream and its relationship with environmental preservation at the site, evaluated through the application of Rapid Assessment Protocols. The study revealed a high input of Total Suspended Solids (TSS), Fixed Suspended Solids (FSS), and Volatile Suspended Solids (VSS), mainly of inorganic origin, and its potential association with erosion near the riverbanks, as well as the limited and discontinuous riparian vegetation observed. In this context, diffuse pollution directly contributes to the siltation of the Monjolinho River, a crucial public water supply source and the main river of São Carlos, impacting water intake and the city's flooding issues, highlighting the need for greater investments in monitoring, capacity building, and awareness-raising for the environmental preservation of the stream.

1. INTRODUÇÃO

A expansão acelerada das cidades brasileiras na segunda metade do século passado resultou em diversos impactos negativos sobre os ambientes aquáticos e na degradação da vegetação ripária, com consequente aumento da erosão das margens e do transporte de poluentes para os cursos de água (CHUA et. al, 2019), entre outros efeitos.



Uma das formas de aporte de poluentes em ambientes aquáticos é a difusa, processo que tem início com a lavagem e o transporte de poluentes atmosféricos pela chuva, a formação dos deflúvios superficiais que carregam os poluentes depositados na superfície da bacia hidrográfica e o transporte ao seu destino final em um corpo receptor (CAMPBELL et al., 2004). Trata-se de um fenômeno aleatório de complexa mensuração e difícil monitoramento, em decorrência da dificuldade de identificação de sua origem, e cujas consequências dependem, majoritariamente, do tipo de uso e ocupação do solo, de aspectos meteorológicos, e das características quantitativas e qualitativas dos poluentes (PORTO, 2015; RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017). Assim, ressalta-se a importância de conhecer os efeitos da poluição difusa sobre os ambientes aquáticos, sobretudo em áreas urbanas, para melhorar o seu controle e monitoramento.

A poluição difusa pode ser caracterizada por meio de polutogramas, curvas massa(volume) [M(V)] e concentrações médias do evento (CME). A CME corresponde à divisão da massa total observada de um poluente pelo volume total escoado no curso de água (MITCHELL et al., 2000) e representa a concentração que resultaria se toda a descarga da drenagem pluvial fosse coletada em um único ponto (RIGHETTO et al., 2017; MARTINS, 2017), resultante da totalidade do evento chuvoso.

Em países desenvolvidos, estudos têm buscado a determinação de valores de CME para diversos poluentes. Entretanto, no Brasil, tais monitoramentos e análises são escassos em razão dos custos logísticos (e.g., coleta, armazenamento e análises laboratoriais) e/ou da falta de capacitação profissional, o que resulta em um banco de dados limitado e na utilização de dados inconsistentes ou incompletos acerca de CME de poluentes observadas nas bacias (MARTINS, 2017). Na prática, CME incompatíveis com a realidade podem prejudicar o dimensionamento de técnicas compensatórias de redução de impacto da poluição difusa sobre os cursos de água, gerando perdas financeiras e obras com baixa eficiência.

Além do aporte de poluentes difusos aos cursos de água, um grande problema em ambientes urbanos é a degradação da vegetação ripária, agravando o quadro de carreamento de poluentes, tendo em vista que tal vegetação atua como uma barreira para a entrada destes. Entende-se por vegetação ripária (ou mata ciliar) a área de preservação permanente localizada na margem de rios, riachos e circundando suas respectivas nascentes (BRASIL, 2012). As matas ciliares apresentam diversas funções ecológicas (e.g., amortecimento de inundações, filtragem da água e nutrientes), além de influenciarem as entradas e saídas de matéria orgânica, contribuírem para a biodiversidade regional e promover o sombreamento dos cursos de água (GONZÁLEZ et al., 2017). Assim, faz-se necessário compreender melhor o papel das matas



ciliares e de outros fatores intervenientes durante eventos de precipitação sobre a qualidade da água urbana, particularmente as alterações geradas pelas cargas difusas. Dessa forma, o presente trabalho busca fornecer subsídios para melhor planejamento e atuação mais efetiva de gestores ambientais.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no exutório do riacho Santa Maria do Leme, principal curso d' água de bacia hidrográfica de mesmo nome (11,18 km²), localizada na área urbana de São Carlos (SP). Originalmente, o riacho Santa Maria do Leme está inserido, majoritariamente, em área de vegetação secundária típica do Cerrado e sua transição para a Mata Atlântica. A precipitação anual total esperada na área é de aproximadamente 1.500 mm, com verões chuvosos (média mensal > 150 mm) e invernos secos (< 70 mm) (SALTARELLI et al., 2018).

O número de eventos de precipitação avaliados dependeu da ocorrência de chuvas. Analisou-se, durante o período chuvoso na cidade de São Carlos, a CME para SST (Sólidos Suspensos Totais), e suas frações fixas [SSF] e voláteis [SSV], no exutório da bacia Santa Maria do Leme em quatro eventos. Durante os eventos de precipitação, as amostras de água do riacho foram coletadas de forma manual, com o número de amostras por evento dependente das alterações no nível da água no riacho e da intensidade pluviométrica, variando entre 10 a 12 amostras. Em eventos mais intensos [≥ 10 mm h⁻¹], a variação de nível adotada para a coleta das amostras de água superficial foi maior, quando comparada a eventos de menor intensidade. A amostragem foi feita tanto na fase ascendente do hidrograma quanto na descendente, além de serem coletadas duas amostras de água do riacho antes da ocorrência da precipitação (amostras basais).

As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas de polietileno de 1 L e levadas ao laboratório BIOTACE (Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) para posterior análise. No laboratório, as concentrações de SST, SSF e SSV foram obtidas por meio do método gravimétrico, seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). A partir delas, foram calculadas as respectivas CMEs.



O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) é uma ferramenta utilizada para avaliar o estado de conservação da zona ripária de APPs e auxiliar no monitoramento ambiental dos sistemas aquáticos. Para a presente pesquisa, foram utilizados dois protocolos, a fim de possibilitar a comparação entre os resultados obtidos. O primeiro foi elaborado com base nos estudos de Callisto et al. (2002) e adaptado por Barbosa, Cabral e Oliveira (2017) e o segundo, com base na normativa EPA 841-B-99-002 e no protocolo utilizado por Hannaford et al. (1997), adaptado por Espíndola (2022).

Os PARs foram analisados em ambas as margens em cinco transectos definidos no curso de água, distantes 100 m entre si, cada um com aproximadamente 100 m² de área. Após a aplicação, as pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos trechos estudados, sendo, para o protocolo proposto por Barbosa *et al.* (2017) propostas as classificações: 0 - 20 (trecho impactado), 21- 30 (trecho alterado) e 31- 40 (trecho natural); e para Espíndola (2022), de 0-40 (trecho impactado), 41-60 (trecho alterado) e acima de 61 pontos (trecho natural).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os eventos de precipitação monitorados abrangeram características hidrológicas distintas e variações no valor da CME, como observado pelos dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos eventos chuvosos monitorados no trecho em questão da bacia hidrográfica do Santa Maria do Leme, incluindo nível basal, intensidade da chuva, dias antecedentes sem chuva (DAC), concentração média do evento(CME) de SST, CME de SSV e CME de SST

	Nível Basal (m)	Vazão Média (m³/s)	DAC (d)	CME SST (mg/L)	CME SSV (mg/L)	CME SSF (mg/L)
Chuva 1 (30/11/2022)	0,28	1,35	0,75	74,46	16,87	57,59
Chuva 2 (06/12/2022)	0,29	1,84	0,38	103,22	26,92	76,30
Chuva 3 (20/12/2022)	0,30	4,20	0,83	204,88	40,49	164,39
Chuva 4 (16/01/2023)	0,36	4,94	2,4	1031,00	215,99	815,01

Fonte: Da Autora, 2022.

Sabe-se que um maior número de DAC pode resultar em maior concentração de sólidos depositados sobre a superfície da bacia e, conseqüentemente, em maior carreamento destes após um determinado evento chuvoso (RIGHETTO et al.,2017). Dessa forma, comparando os



parâmetros presentes na Tabela 1, é verificada essa informação para a análise das chuvas 2, 3 e 4, com um aumento característico da concentração de sólidos na chuva 4, sendo essa a chuva com mais dias antecedentes sem ocorrência de eventos pluviométricos. A chuva 1, apesar de ter maior número de DAC que a chuva 2, apresenta menor valor de concentração média de sólidos carregados durante o evento. Por meio da tabela 5 também depreende-se que a maior parcela (77,3% no caso da chuva 1; 73,9% para a chuva 2; 80,2% com a chuva 3 e 79,1% no caso da chuva 4) de sólidos carregados caracterizou-se como sólidos suspensos fixos, que representam a matéria inorgânica, ou mineral. Tal dado pode estar relacionado com o processo moderado a intenso de erosão presente na bacia, fazendo com que minerais do solo arenoso (o qual está exposto provavelmente devido à ausência ou redução da mata ciliar) da região sejam carregados rio abaixo, provocando assoreamento e fomentando o grave quadro de enchentes presentes na região.

Nesse sentido, é válido pontuar os resultados obtidos pelo PAR: pelo método proposto por Espíndola (2022), apenas o trecho 3 da margem direita e os trechos 1 e 2 da margem esquerda foram classificados como “alterados”, o restante recebeu classificação de “impactados”. Para Barbosa *et al.* (2017), o resultado foi igual, com as margens esquerda dos trechos 1 e 2, além da margem direita do trecho 3, considerados alterados. Pode-se, assim, verificar a inter-relação entre os métodos. Comparando-se a caracterização da poluição difusa realizada com os resultados obtidos pelo Protocolo, pode-se destacar a erosão próxima e/ou nas margens do rio, assoreamento em seu leito, pequena extensão e descontinuidade da mata ciliar (sendo a maior com 8m na margem direita do trecho 3 e a menor com 2m na margem direita do trecho 4) como possíveis fatores intervenientes para a ocorrência de poluição difusa durante os eventos de precipitação estudados.

No contexto da cidade de São Carlos, tais sólidos contribuem diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, importante manancial de abastecimento público e principal rio de São Carlos, tendo em vista que a bacia do Santa Maria do Leme é tributário deste. Assim, o elevado aporte de sólidos demonstrado pela pesquisa, e que estão diretamente relacionados com as condições de mata ciliar evidenciados pelo PAR é alarmante e impacta diretamente o problema de inundações na cidade.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apontam que o aumento do número de dias antecedentes com chuvas pode estar associado a maior concentração de sólidos (*e.g.*, maior valor de CME) carregados na bacia. A predominância de sólidos suspensos fixos, obtida após a caracterização da poluição difusa nos eventos pluviométricos apontados, sugere a influência da erosão, possivelmente



agravada pela descontinuidade e pequena extensão registrada da mata ciliar nos trechos analisados. Além disso, a classificação geral como “alterados” em ambas as margens dos trechos analisados indica degradação ambiental na região. Nesse sentido, tendo em vista que o elevado aporte de sólidos contribui diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, agravando o problema de enchentes em São Carlos e influenciando no sistema de abastecimento da região, é imperioso a adoção de medidas que visam a preservação da bacia e da mata ciliar na região, a fim de mitigar os efeitos da poluição difusa e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA NETO, V. C.; CABRAL, J. J. S. P.; OLIVEIRA, A. L.. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de um trecho de mata ciliar do rio Sirinhaém (PE). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.3, p.64-77, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0007>

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro** [on line] Disponível em : http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm

CAMPBELL, N; D'ARCY, B.; FROST, A.; NOVOTNY, V.; SANSOM, A. Diffuse pollution: an introduction to the problems and solutions. London: **IWA Publishing**, 2004. 310p

CHUA, E. et al. The influence of riparian vegetation on water quality in a mixed land use river basin. **Wiley**. [S. l], p. 1-9, 2019. DOI: 10.1002/rra.3410.

GONZÁLEZ, E. et al., Integrative conservation of riparian zones. **Biological Conservation**. In: GURNELL, A et al., A multi- scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. [S. l.], n. 211, p. 20-29, 2017.

MARTINS, R. G. **Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MITCHELL, G. et al. **Urban development and nonpoint source water pollution: a generic assessment tool**. Report, 2000. Disponível em: <<http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/nps/index.htm>>.

PORTO, M. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. Porto Alegre: Editora da Universidade /UFRGS, 2015. 428p.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. In: Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 1109–1120, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017162357.

SALTARELLI, Wesley A.; DODDS, Walter K.; TROMBONI, Flavia; CALIJURI, Maria Do Carmo; NERES-LIMA, Vinicius; JORDÃO, Carlos E.; PALHARES, Julio C. P.;



CUNHA, Davi G. F. Variation of stream metabolism along a tropical environmental gradient. **Journal of Limnology**, [S. l.], v. 77, n. 3, p. 359–371, 2018. DOI: 10.4081/JLIMNOL.2018.1717.

SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Estudo de caso: Córrego Ibiraporã do Sapé**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.