

AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE PARTÍCULAS DE TRANSPORTE DE DESGASTE DE PNEUS EM CANAL HIDRÁULICO

Alexandre Silveira¹ ; Andrea Paula Ferreira² , Yassira Juliana do Rosário Manuel³ , Eric Joel

Diogo de Sousa Pontes⁴ & João L. M. P. de Lima⁵

RESUMO – A crescente utilização de plásticos e derivados tem efeitos sobre o aumento da poluição e degradação ambiental. Resíduos destes materiais, quando não coletados e tratados adequadamente, podem ficar dispostos nas superfícies das vias urbanas aguardando as chuvas cujo escoamento superficial se encarrega de transportá-los para os sistemas de drenagem e consequentemente aos cursos de água receptores. Entre os materiais inevitavelmente dispostos nas vias urbanas, estão as partículas de desgaste de pneus consideradas pela Organização Mundial da Saúde como microplásticos. Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da distribuição espacial de partículas de desgaste de pneus na dinâmica do transporte pelo escoamento em uma superfície com rugosidade conhecida. Os resultados indicaram que o transporte e a retenção das partículas de desgaste de pneus são fortemente influenciados pela posição das partículas. Distribuições espaciais mais concentradas tenderam a produzir maiores picos de transporte assim como maiores retenções nas superfícies.

Palavras-Chave – microplásticos, transporte de poluentes, drenagem urbana, escoamento urbano

ABSTRACT– The growing use of plastics and their derivatives has raised significant environmental concerns. When not properly collected and treated, residues of these materials can accumulate on urban road surfaces, where they remain until rainfall occurs. Surface runoff is responsible for transporting these residues to drainage systems and, consequently, to receiving watercourses. Among the materials inevitably deposited on urban roads are tire wear particles, which are considered microplastics by the World Health Organization. The objective of this study was to assess the influence of the spatial distribution of tire wear particles transported by runoff on surfaces with known roughness. The results indicated that the transport and retention of tire wear particles are influenced by the particles' initial position. More concentrated spatial distributions of these particles tended to generate higher transport peaks and greater retention on the surface.

Key-words – microplastics, pollutants transport, urban drainage, urban runoff

¹ Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), *Campus* Poços de Caldas. alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br.

² Professora do Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), *Campus* Poços de Caldas. andrea.ferreira@unifal-mg.edu.br.

³ Aluna de graduação de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra. yassirahlobo59@gmail.com.

⁴ Aluno de graduação de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra. ericpontes522@gmail.com.

⁵ MARE—Marine and Environmental Sciences Centre, ARNET—Aquatic Research Network, Department of Civil Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra. plima@dec.uc.pt.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas provoca um aumento significativo das superfícies impermeáveis, o que muda a forma como água da chuva interage com a cidade. Com a diminuição da infiltração, a água escoar sobre as superfícies impermeáveis, lavando e transportando partículas poluentes dispostas na superfície para as galerias de águas pluviais e corpos receptores. Como destaca Borah (2020), esse processo é um dos maiores desafios atuais, já que o tratamento dessas águas pluviais ainda é muito limitado e os poluentes chegam rapidamente aos corpos híbridos.

Nas ruas das cidades, o acúmulo de material vai muito além de sedimento e de resíduos sólidos. Existe uma mistura complexa de substâncias que vêm do tráfego veicular, como metais pesados e resíduos de combustão. Esses materiais ficam depositados nos pavimentos das vias até serem carregados pela chuva. Segundo Suryawanshi *et al.* (2016), a análise desses materiais, revela, entre outros, concentrações preocupantes de elementos como zinco e chumbo, que têm grande capacidade de se acumular no ambiente e causar danos à saúde pública e ao ecossistema local. Barrows *et al.* Indicaram que a poluição por microplásticos é influenciada pelo uso e ocupação do solo, densidade populacional e atividades antrópicas.

Dentre os poluentes encontrados nas vias, as partículas de desgaste de pneus (TWP em inglês, tire wear particles) têm ganhado destaque como uma fonte principal de microplásticos. Elas são geradas pelo atrito constante entre o pneu e o asfalto, resultando em fragmentos muito pequenos que se espalham facilmente. Nascimento *et al.* (2021) reforçam que, embora muitos pensem em plásticos domésticos, essas partículas elastoméricas representam uma parte significativa da poluição por microplásticos, sendo difíceis de identificar e remover devido ao seu tamanho reduzido e composição química complexa.

Quando essas partículas chegam aos rios e lagos, o impacto vai além da sujeira física. O grande risco está nos produtos químicos que compõem o pneu, que podem se soltar na água e atingir a fauna aquática. O caso mais conhecido é o do aditivo 6PPD-quinona, altamente tóxico para certas espécies de peixes. De acordo com a Who (2025), a presença dessas partículas nos recursos hídricos compromete a qualidade da água e a biodiversidade, exigindo uma atenção maior para o monitoramento desses contaminantes emergentes nas políticas ambientais.

Neste contexto, este trabalho experimental foi desenvolvido com o objetivo de analisar a influência da distribuição espacial das partículas de desgaste de pneus quando lavadas pelo escoamento. Utilizou-se montagem de laboratório com canal hidráulico com rugosidade de fundo conhecida.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. O aparato experimental utilizado é constituído de um canal de acrílico que possui 4 calhas (apenas uma foi utilizada) com dimensões de 0,15m de largura, 0,30m de altura e 4,0m de comprimento. Uma placa com rugosidade absoluta conhecida, entre 0 e 1mm, foi colocada no fundo da calha. Maiores detalhes da rugosidade da placa podem ser verificados em Isidoro, *et al.* (2023). A Figura 1 apresenta o equipamento utilizado.

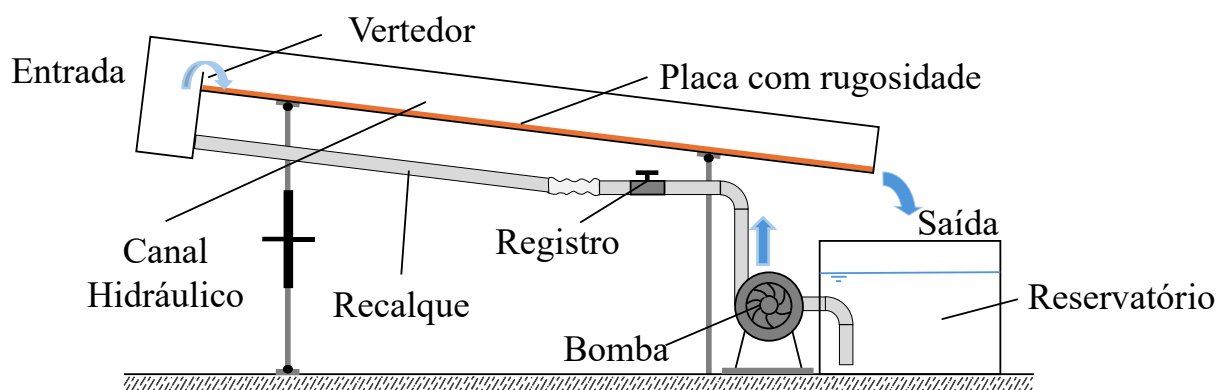


Figura 1 – Aparato experimental: esquema hidráulico

As partículas de desgaste de pneus foram adquiridas comercialmente na faixa granulométrica de 0,85 a 2mm, obtidas pela trituração de pneus utilizados. Possuem densidade de 0,4 a 0,5 kg/dm^3 e impurezas, partículas têxteis e de aço menor que 0,03%. A Figura 2 apresenta uma imagem do fabricante e uma fotografia com escala do material utilizado.



Figura 2 – Partículas de desgaste de pneus, 0,85 a 2mm. Fonte: www.topeca.pt

2.2 Métodos

Inicialmente foram levantados os hidrogramas de escoamento. A bomba foi ligada e desligada após 35 segundos do início do escoamento na calha. Os volumes do escoamento foram coletados na saída da calha em intervalos de 5 segundos no ramo ascendente e 20 no ramo descendente do hidrograma. Para quantificação da vazão foi utilizado o método volumétrico (5 repetições)

As partículas de desgaste de pneus foram distribuídas na calha em 3 posições distintas: uniformemente distribuídas ao longo de toda a calha (D1), concentradas em 2m no centro da calha (D2) e concentradas em 0,2m no centro da calha (D3). Todos os experimentos foram realizados em triplicata. A massa distribuída em todos os experimentos foi a mesma, 50g. A Figura 3 mostra as distribuições utilizadas.

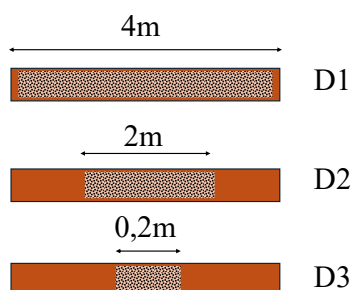


Figura 3 – Distribuições das partículas de desgaste de pneus na calha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4a apresenta os resultados das 5 repetições dos hidrogramas enquanto a Figura 4b apresenta o hidrograma médio com os respectivos desvios-padrão nos pontos de medição. O máximo valor dos desvios-padrão encontrado foi de 7% garantindo que as repetições são muito próximas entre si e o hidrograma médio representa o escoamento no final da calha.

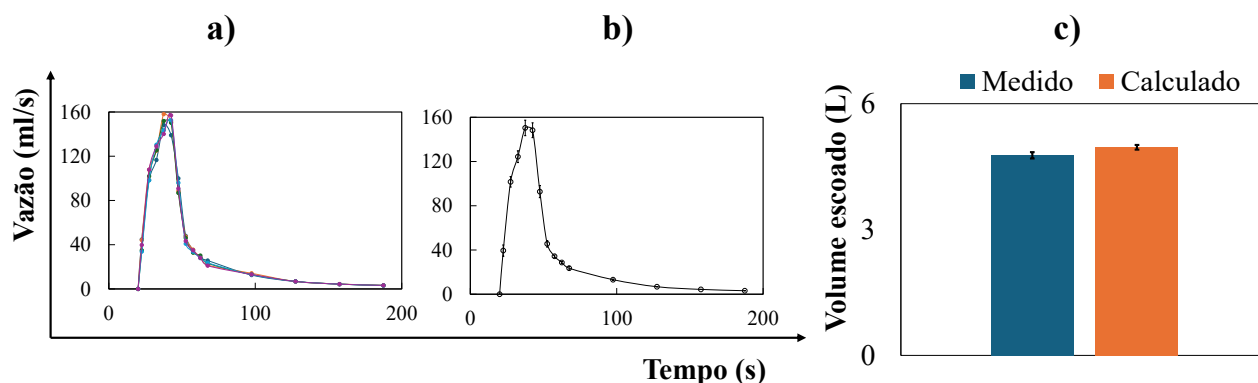


Figura 4 – Hidrogramas e volumes escoados: a) 5 repetições, b) média e desvios-padrão e c) volume escoado medido (coletados durante os ensaios) e volume escoado calculado (pela integração do hidrograma)

Na Figura 4c pode se observar o volume escoado obtido de duas maneiras: pelo total do volume que foi coletado e também calculado pela integração da área definida pela curva do hidrograma. O volume escoado medido no final da calha foi de 4,77 litros enquanto o volume calculado pela integral do hidrograma foi de 4,96 litros. A diferença entre os métodos foi de 3,8%.

A Figura 5 apresenta a descarga de massa de partículas para as 3 distribuições. As descargas para as distribuições D1 e D2, Figuras 4a, 4b, 4c e 4d, apresentaram maiores desvio padrão nas 3 repetições do que a descarga para D3.

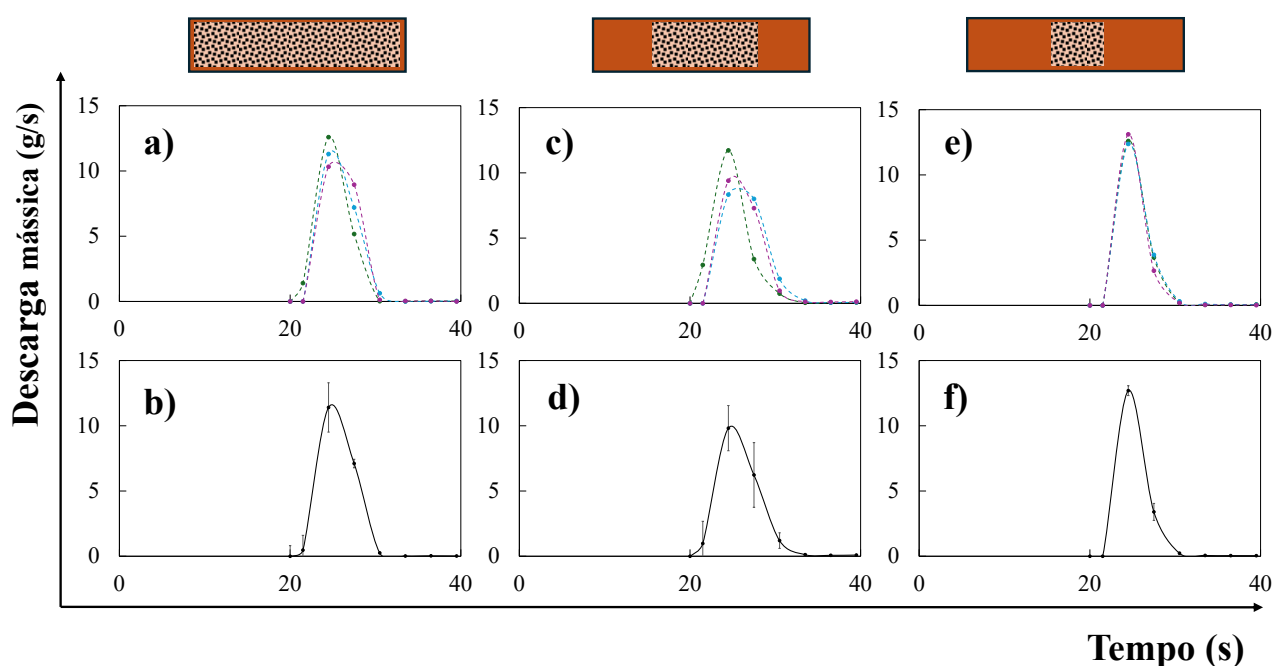


Figura 5 – Descarga mássica. a) D1 – 3 repetições, b) D1 – média e desvio-padrão, c) D2 – 3 repetições, d) D2 – média e desvio-padrão, e) D3 – 3 repetições, f) D3 – média e desvio-padrão

A descarga de massa quando as partículas estão mais concentradas na calha (D3) apresentou o maior pico, 12,7 g/s, como pode ser observado na Figura 5e e 5f. Considerando o desvio padrão pode-se observar que as descargas para as distribuições D1 e D2 apresentaram picos semelhantes, próximos a 10 g/s. Quando as partículas estão concentradas (D3), a passagem da onda do escoamento, aparentemente, arrasta-as de uma só vez, criando um pico agudo. Na distribuição uniforme ao longo de toda a calha (D1), a massa é carregada de forma gradativa, atenuando a carga máxima pontual lançada na saída.

A Figura 6 apresenta o hidrograma médio do escoamento juntamente com as descargas de massa nas 3 distribuições espaciais. Evidente o fato de as descargas de massa atingirem o pico, para todas as distribuições, antes do pico do hidrograma

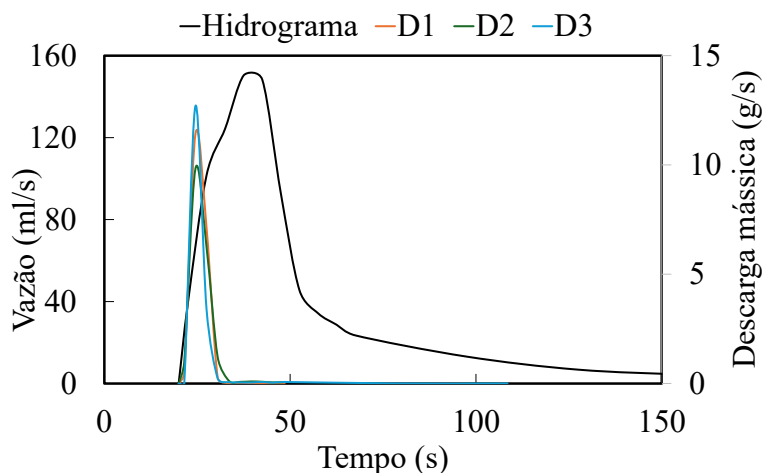


Figura 6 – Hidrograma médio e descarga mássica média para as 3 distribuições

As partículas de desgaste de pneus testadas, (0,85 a 2 mm) inevitavelmente dispostas em superfícies urbanas, são rapidamente mobilizadas pelo início do escoamento superficial, sugerindo que os corpos hídricos receptores estão sujeitos a um pico de poluição intenso nos momentos iniciais das chuvas. Resultados semelhantes já foram observados em Sugiura *et al.* (2021).

Na Figura 7 são apresentadas as porcentagens dos materiais retidos nas calhas.

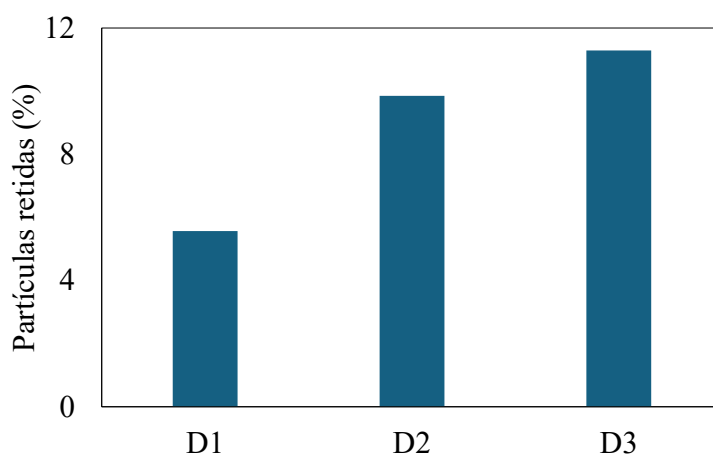


Figura 7 – Porcentagem de material retido na calha em função das distribuições das partículas

Observa-se na Figura 7 que 11,3% do material ficou retido na distribuição D3, o maior valor entre os experimentos. A configuração D2 reteve 9,8% enquanto a configuração D1, a retenção foi menor que 6%. A configuração D3 gerou o maior pico de saída, mas também foi a que mais reteve material na calha.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho investigou a dinâmica de transporte de partículas de desgaste de pneus de 0,85 a 2 mm transportadas pelo escoamento superficial. Ensaios laboratoriais realizados em um canal hidráulico com rugosidade controlada, foram utilizados para avaliar o impacto de diferentes distribuições espaciais dos poluentes, utilizando uma massa constante de 50 g. Foram testadas três configurações: material uniformemente distribuído (D1), moderadamente concentrado (D2) e fortemente concentrado (D3).

O estudo evidenciou que partículas de desgaste de pneus são rápida e facilmente mobilizadas logo no início do escoamento superficial, sugerindo que os corpos hídricos receptores estão vulneráveis a picos intensos de poluição, principalmente, nos momentos iniciais dos eventos de precipitação.

A distribuição das partículas na superfície influencia significativamente o transporte. A concentração espacial das partículas reflete não apenas na magnitude da descarga de massa, mas também na retenção dos materiais pelas rugosidades das superfícies.

O método adotado demonstrou elevada confiabilidade, registrando-se um desvio-padrão máximo de apenas 7% entre as repetições dos hidrogramas. Adicionalmente, a validação volumétrica atestou uma diferença de apenas 3,8% entre o volume escoado medido e o calculado pela integral do hidrograma. Em todas as distribuições espaciais testadas (D1, D2 e D3), os picos de descarga mássica ocorreram sempre antes do pico do hidrograma de escoamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem todo o apoio recebido de: Fundação de Pesquisa Minas Gerais (FAPEMIG) com a referência APQ-05218-23, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, o Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Universidade de Coimbra, onde os experimentos foram realizados.

REFERÊNCIAS

- BARROWS, A. P. W.; CHISTIANSEN, K. S.; BODE, E. T.; HOELLEIN, T. J. (2018). A watershed-scale, citizen science approach to quantifying microplastic concentration in a mixed land-use river. *Water Research*, Amsterdam, v. 147, p. 382-392, 2018. DOI: /10.1016/j.watres.2018.10.013.
- BORAH, P. (2020). Review of the Emerging Use of Activated Carbon of Biochar Media as Stormwater Source Controls. The University of British Columbia. Vancouver, Canada, 82p.
- ISIDORO, J. M. P. G., MARTINS, R., PEREIRA, L. G., & DE LIMA, J. L. (2023). *Design and characterisation of customised-roughness beds for open-channel flow experiments*. *Flow Measurement and Instrumentation*, 94, 102472. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2023.102472.
- NASCIMENTO, J. P., ET AL. (2021). Microplastics and the Amazon: From the rivers to the estuary. *Química Nova*, 44 (8). DOI: 10.21577/0100-4042.20230066.
- SUGIURA, M.; TAKADA, H.; TAKADA, N.; MIZUKAWA, K.; TSUYUKI, S.; FURUMAI, H. (2021). Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff. *Environmental Monitoring and Contaminants Research*. 1. 54-65. DOI: 10.5985/emcr.20200006.
- SURYAWANSHI, P.V.; RAJARAM, B.S.; BHANARKAR, A.D; CHALAPATI RAO, C.V. (2016). Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India, *Atmósfera*, 29 (3). DOI: 10.20937/ATM.2016.29.03.04.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO (2025). Microplastics and the impacts of the tobacco and industrial production chains. FCTC Technical publication Series. Fundação Oswaldo Cruz, 2ª edição, Rio de Janeiro, Brazil, 47p.