

**I-043 - ESTUDO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS  
HÍDRICOS POR RESÍDUOS SÓLIDOS RETIDOS EM SISTEMAS DE  
DRENAGEM URBANA**

**Marco Aurélio Soares de Castro<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Mecânico pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professor Doutor da Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade Estadual de Campinas.

**Rodrigo Eduardo Córdoba<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professor Adjunto da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

**Valdir Schalch<sup>(3)</sup>**

Engenheiro químico pela Faculdade Oswaldo Cruz. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (USP). Professor sênior da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** R. Pascoal Marmo, 1888 - Jd. Nova Itália - Limeira - SP - CEP: 13484-332 - Brasil - Tel: (19)2113-3430 - e-mail: [marcocastro@ft.unicamp.br](mailto:marcocastro@ft.unicamp.br)

## **RESUMO**

Os escoamentos superficiais que se estabelecem nas cidades por ocasião das chuvas podem frequentemente carrear ou atravessar massas de resíduos sólidos que não foram coletados pelos serviços de limpeza urbana, ou simplesmente dispostos de forma inadequada. O fenômeno da lixiviação – contato de resíduos com água de chuva, levemente ácida – tem sido apontado como causador de alterações de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água no meio urbano.

Em virtude disso, o presente trabalho tem como objetivo geral iniciar uma investigação do potencial de impacto representado pelos resíduos retidos em sistemas de microdrenagem urbana com relação aos corpos hídricos receptores. Para isso, pretende-se avaliar, em escalas laboratorial e real, as características do lixiviado obtido pelo escoamento de água através de resíduos coletados em pontos de sistemas de drenagem distintos, associando-se os resultados das análises destes líquidos a potenciais impactos na qualidade das águas de rios e córregos urbanos.

Inicialmente, amostras de resíduos coletadas em diferentes regiões de um mesmo município foram colocadas em colunas de lixiviação, adicionando-se a seguir água deionizada e coletando-se o lixiviado resultante; em uma etapa posterior, serão coletadas amostras do lixiviado obtido pela passagem da água de escoamento sobre resíduos retidos nos pontos anteriormente definidos.

Os resultados obtidos até o momento estão relacionados às simulações de lixiviação; foi verificada a alteração em parâmetros de qualidade das águas, notadamente a condutividade elétrica. Com o desenvolvimento das etapas posteriores da pesquisa, pretende-se verificar e avaliar a extensão dos eventuais impactos ambientais e à saúde humana da lixiviação deste tipo particular de resíduo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos, Drenagem Urbana, Lixiviados, Qualidade da água.

## **INTRODUÇÃO**

Entre as consequências de processos urbanizatórios como os observados no país estão a progressiva impermeabilização das superfícies e a retirada da cobertura vegetal, que acarretam a transformação quase total das chuvas em escoamento superficial. Em paralelo, os sedimentos e resíduos sólidos em geral passam a ser gerados em maior quantidade, circunstância que é agravada pela sua disposição inadequada, diretamente em nos corpos d'água ou em vias urbanas e terrenos baldios.

Com efeito, parcelas significativas de resíduos sólidos que não são coletados pelos serviços de limpeza urbana, por ocasião das chuvas, são carreados pelos escoamentos superficiais, passam por elementos dos sistemas de drenagem, como galerias e bocas de lobo, até atingirem os córregos e rios.

A quantidade desses sólidos está relacionada a fatores como: frequência e cobertura da coleta de resíduos domiciliares; frequência da limpeza das ruas; forma de disposição dos resíduos pela população; e frequência da precipitação. Quanto à composição, podem ser encontrados plásticos, papéis e metais diversos, vidro, vegetação, animais mortos, material de construção, bitucas de cigarros e outros, além de sedimentos originados de processos erosivos intensos, e outros particulados gerados por indústrias e veículos e pelo próprio desgaste do pavimento. Dentre estes, identifica-se, como fração predominante, a matéria orgânica mais os sedimentos a ela aderidos, com variações em massa de 89 a 95%; a presença deste material pode alterar parâmetros de qualidade das águas, como cor, turbidez, pH e oxigênio dissolvido; ao se depositar continuamente ao longo da rede de drenagem, tende a causar diminuição na capacidade de escoamento e mesmo a atrair animais peçonhentos e roedores que, por meio de suas fezes e urina podem alterar o índice de coliformes nos corpos hídricos receptores.

A partir dos relatos da literatura, sobre a alteração de parâmetros físicos, químicos e biológicos em função do fenômeno da lixiviação, advindo do contato dos resíduos com água de chuva levemente ácida, a hipótese tema deste trabalho é de que os resíduos retidos em sistemas de microdrenagem apresentam potencial de contaminação dos corpos hídricos receptores. Portanto, a importância do estudo está na contribuição inicial para identificar os potenciais impactos ambientais e à saúde humana.

## OBJETIVOS

O objetivo principal do presente estudo é conduzir uma investigação inicial acerca dos possíveis impactos negativos dos resíduos sólidos retidos em sistemas de microdrenagem sobre os corpos hídricos receptores. Mais especificamente: visa-se avaliar, em escala laboratorial e real, as características do lixiviado resultante do escoamento de água através de tais resíduos; e associar os resultados destas análises a potenciais impactos na qualidade da água de rios e córregos urbanos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

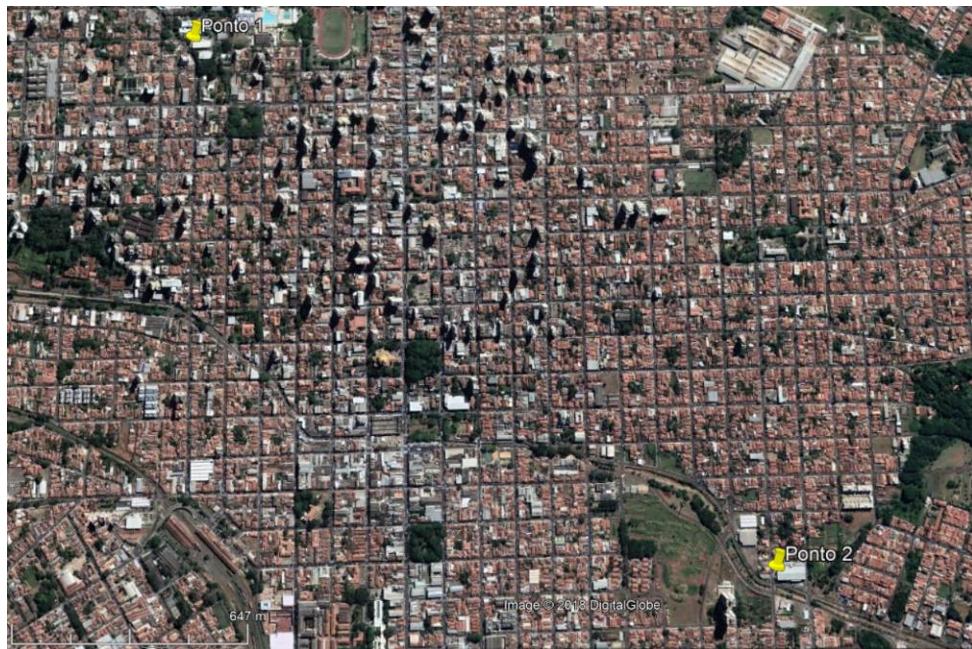
O presente estudo foi conduzido em duas etapas. Na primeira serão realizados estudos laboratoriais que simulam a percolação das águas pluviais sobre a massa de resíduos que, geralmente, ficam retidos nos fundos de bocas de lobo e galerias pluviais em área moderadamente urbanizada. A segunda etapa realizou estudos análogos ao da primeira etapa, porém sobre massa de resíduos retida em bocas de lobo e galerias situadas a jusante de uma microbacia em área urbanizada. As simulações de lixiviação foram realizadas por meio de lisímetros laboratoriais (colunas de lixiviação) construídas em acrílico inerte.

### 3.1 Simulação de lixiviação dos resíduos em sistemas de microdrenagem

A presente etapa teve por finalidade identificar a alteração inicial de determinados parâmetros físicos, químicos e biológicos em escala laboratorial, de modo que seja possível identificar o potencial de contaminação desses resíduos aos corpos hídricos receptores.

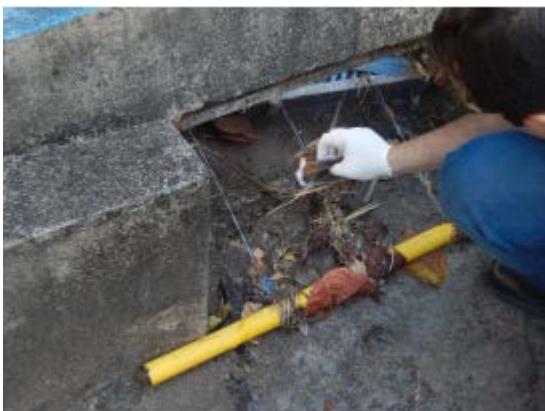
#### 3.1.1 Coleta de amostras

Inicialmente, foram coletadas amostras na rede de drenagem de duas áreas distintas de um mesmo município: o ponto 1 está localizado em um campus universitário (área de pouca urbanização moderada – arborizada e com pouco tráfego de veículos e pessoas), e o ponto 2 em uma área central, predominantemente comercial (área urbanizada com elevado tráfego de veículos e pessoas); ambos os pontos estão destacados na Figura 1.



**Figura 1 - vista geral da área urbana, com os pontos de estudo em destaque.**

Uma vez que em ambos os pontos foi observada predominância de matéria orgânica (folhas e rejeitos compostos por bitucas, pequenas frações de material plástico e papel) combinada com sedimentos (areia, solo, e pedriscos), em um padrão semelhante aos observados na literatura, optou-se por conduzir uma análise preliminar especificamente dessas frações de modo a avaliar a influência destas frações na formação do lixiviado. As figuras 2a e 2b apresentam o procedimento de coleta dessas frações, respectivamente, nos pontos 1 e 2.



**Figura 2 A – Coleta de resíduos orgânicos no ponto 1**



**Figura 2 B – Coleta de sedimentos no ponto 2**

Para evitar contaminação cruzada, na coleta foram utilizadas luvas descartáveis, pás e vassouras plásticas devidamente higienizadas com água deionizada.

A Tabela 1 apresenta as quantidades coletadas nas áreas de amostragem, as quais consistiram na totalidade dos resíduos retidos no sistema após o fim do período de chuvas e inicio do período de seca.

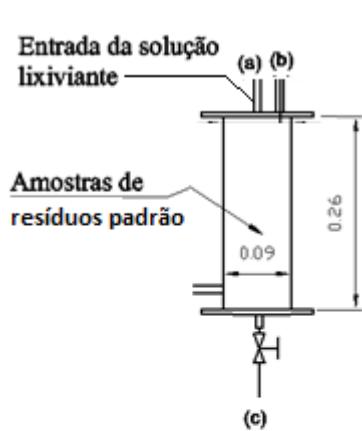
**Tabela 1 – Quantidade em massa de amostras coletadas**

Local	Amostras coletadas		
	Orgânicos (g)	Sedimentos (g)	Total (g)
Ponto 1	154,76	1261,78	<b>1416,54</b>
Ponto 2	1026,96	3014,57	<b>4041,53</b>

### 3.1.2 Colunas de lixiviação (lisímetros)

Para montagem do experimento laboratorial foram utilizadas duas colunas em acrílico inerte com diâmetro interno de 9 cm e altura 26 cm, e volume aproximado de 1,6 litros. A escolha dessa altura deve-se a média das alturas de sedimentos retidos nas bocas de lobo do município estudado variar de 20 a 30 cm.

As Figuras 3A e 3B apresentam o esquema e coluna finalizada com os detalhes construtivos e técnicos das colunas de lixiviação a serem utilizadas nesse estudo.



**Material: Acrílico**

**Legenda:**

- (a) Entrada de solução lixiviante
- (b) Respiro
- (c) Amostrador de lixívios



**Figura 3 A – Esquema das colunas simuladoras de lixiviação de resíduos**

**Figura 3 B – Coluna finalizada durante processo de simulação**

A partir dessas informações, o estudo adotou como solução lixiviante um líquido denominado como “chuva artificial”, o qual é obtido a partir do uso de água deionizada isenta de interferentes analíticos com pH igual a 6,0.

Duas colunas de lixiviação foram utilizadas, sendo a primeira representativa de resíduos coletados no ponto 1, e a outra a partir do material coletado no ponto 2.

Com relação às proporções a serem inseridas nas colunas optou-se pela proporção variando de 8 a 10% em massa para matéria orgânica, e aproximadamente 80 a 90% para sedimentos, ou seja proporções encontradas nos pontos 1 e 2. Para efeitos comparativos adotou-se proporção idêntica de aproximadamente 8% para matéria orgânica e 92% para sedimentos.

A Tabela 2 apresenta um resumo com as proporções dos resíduos amostrados e os resíduos padrão inseridos nas colunas.

**Tabela 2 – Composição dos resíduos padrão inseridos nas colunas**

Local	Proporção de amostras utilizadas na lixiviação (g)		
	Orgânicos	Sedimentos	Total
Amostra Ponto 1	46,96	564,58	<b>611,56</b>
Amostra Ponto 2	46,96	564,57	<b>611,53</b>

### 3.1.2 Análise das amostras

A etapa seguinte do trabalho consistirá na análise das amostras coletadas nas duas condições. Os parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, serão medidos e registrados *in situ*. Os demais parâmetros serão analisados por laboratório especializado, sempre em consonância com métodos padronizados e padrões previstas em dispositivos e resoluções em vigor no país. A metodologia analítica usada para análise das amostras de lixiviado, e suas referências estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Metodologia analítica definida para análise dos lixiviados e suas referências.**

Parâmetro	Método	Frequência de análise das bocas de lobo	Referência
pH	Potenciométrico - 4500-H <sup>+</sup> B	Única	APHA et al. (2005)
Condutividade elétrica	Condutivímetro - 2510 B	Única	
Turbidez	Turbidimetria - 2130 B	Única	
DQO	Colorimetria - 5220 D	Única	
Coliformes termotolerantes (fecal)	9222D	Única	

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 sintetiza os resultados das análises laboratoriais dos lixiviados.

**Tabela 3 – Resultados dos parâmetros analisados para os lixiviados dos pontos 1 e 2.**

Parâmetros	Unidade	Amostra (ponto 1)	Amostra (ponto 2)
Coliformes termotolerantes	--	Presente	Presente
Condutividade elétrica	µS/cm	162,14	589,5
DQO	mg/L	189	226
pH	--	6,12	6,42
Turbidez	NTU	31,1	35,1

A partir dos resultados obtidos e apresentados na tabela 3 pode-se observar elevados valores de DQO em 189 mg/L e 226 mg/L fato decorrente da existência de matéria orgânica em decomposição decorrente de folhas existentes na composição dos resíduos ou devido a presença de fezes de animais. Mediante o comparativo das áreas, observa-se que o ponto mais urbanizado apresentou DQO 20% maior que o outro ponto, tal fato pode ser decorrente da presença de fezes de animais (cachorros, gatos) trazidos pela lavagem de quintais, da existência de lixeiras, e mesmo da limpeza de estabelecimentos alimentícios existentes na região do ponto 2.

Embora haja discrepância com relação aos dados de DQO dos pontos analisados, ambas amostras apresentaram a presença de coliformes termotolerantes em suas composições.

Não houve significativas alterações de valores do pH ou da turbidez. No entanto, as amostras diferiram quase 350% entre si quanto à condutividade elétrica, isso pode ser explicado pela diferença dos materiais que compõem os sedimentos: no ponto 1 eles eram compostos basicamente por areia e solo, enquanto que os do ponto 2 possuíam areia, solo, fragmentos de asfalto, e pequenas frações de areia e tijolos cerâmicos de obras. Dados de literatura indicam que a condutividade para lixiviados de RCC pode variar de 500 a 2000 µS/cm; no entanto, estudo pormenorizado se faz necessário para confirmar esta suspeita.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos até o momento já permitem identificar que a lixiviação de resíduos retidos em sistemas de drenagem altera parâmetros de qualidade da água que por eles escoa, e eventualmente atinge rios e córregos. Constata-se a necessidade de aprofundar os estudos aqui iniciados, para verificar e avaliar potenciais impactos dos resíduos carreados para sistemas de drenagem urbana, bem como a de conduzir estudos acerca do tratamento dessas águas superficiais, para garantir a proteção da saúde humana e meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington, APHA, 2005.
2. ARMITAGE, N.; ROOSEBOOM, A. The removal of urban litter from stormwater conduits and streams: Paper 1 - The quantities involved and catchment litter management options. *Water South Africa*, v. 26, n. 2, p. 181-187, 2000.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, 14 dez., Seção 1, p. 39-46, 2011.
4. CÓRDOBA, R. E. Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação. Tese (Doutorado) (Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014. 312 p.
5. CÓRDOBA, R. E.; CASTRO, M.A.S.; MARTINS, L.G.B.; SCHALCH, V. Avaliação dos impactos de resíduos sólidos em sistemas de micro drenagem urbana – estudo de caso em campus universitário. 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia-GO, 15 a 19 de setembro de 2013.
6. CÓRDOBA, R. E.; SCHALCH, V. Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação. *Engenharia Civil UM (Braga)*, v. 1, p. 23-36, 2015.
7. FLORENZANO NETO, A.; MARQUES, M. S. Coleta e caracterização de resíduos sólidos captados em sistemas de micro drenagem urbana. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Tecnologia em Controle Ambiental. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Limeira, 2017.
8. FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. *Rev. USP*, São Paulo, n. 70, ago. 2006 . Disponível em <[http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-99892006000300008&lng=pt&nrm=iso](http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-99892006000300008&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 13 abr. 2011.
9. MARQUES, D. M.; SILVEIRA, A. L. L.; GEHLING, G. Resíduos sólidos na drenagem pluvial urbana. In: RIGHETTO, A. M. (coord.) Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES, p. 198-217, 2009.
10. MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 366 p. 2016.
11. PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (orgs.) Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1ª ed. (reimpr.), p. 387-428. 2015.
12. TOWNSEND, T.G.; JANG, Y.; THURN, L.G. Simulation of construction and demolition waste leachate. *Jurnal of Environmental Engineering*, v. 125, n. 11, nov., 1999.
13. TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. RBRH – *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 2 (Jul/Dez), 5-12, 1997.
14. TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. *REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 1, n. 1 (Jan/Jun), 59-73, 2004.