

Metais Tóxicos em sedimentos urbanos de superfícies asfálticas

Toxic metals in urban sediments of asphalt surfaces

Emanoelle Pereira da Silva¹, Eduardo Queija de Siqueira² e Wilson Mozena Leandro³

¹ Mestre da Universidade Federal de Goiás, UFG, Brasil.

² Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás.

³ Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás.

Recebido: 11/06/14 - Revisado: 30/07/14 - Aceito: 27/08/14

RESUMO

Os sedimentos urbanos são a principal fonte de contaminação das águas pluviais por metais e outras substâncias potencialmente tóxicas nos centros urbanos. Nesta perspectiva, com intuito de mensurar a carga de sedimentos e a concentração de metais tóxicos em área urbana, amostras de sedimento foram coletadas em três ruas com diferentes tráfegos de veículos, por meio do método de aspiração e escovação a seco em seis parcelas experimentais de 0,5 (m²), em duas campanhas de amostragem com duração de 14 dias cada. As amostras foram analisadas quanto à distribuição granulométrica por difração a laser e determinação de metais por Espectrometria de Absorção Atômica em três frações granulométricas (<63 µm, 250-63 µm, 500-250 µm). Os resultados mostram que as cargas diárias de sedimento variaram de 0,48 a 99, 2 g/m² para as ruas amostradas. Da composição granulométrica, observou-se que cerca de 52% das frações do sedimento são < 500 µm, sendo que destas, a fração predominante está entre areia fina e silte, ou seja, entre 250-63 µm. Para os metais verificou-se que as maiores concentrações estão preferencialmente nas partículas < 63 µm, e que segue em geral a seguinte ordem decrescente de concentração Fe > Mn > Cu > Pb > Zn > Cd > Cr.

Palavras Chave: Sedimentos urbanos. Metais pesados. Contaminação. Águas pluviais.

ABSTRACT

Urban sediments are the main source of stormwater contamination from heavy metals and other potentially toxic substances in urban areas. In this respect, aiming to measure the sediment load and heavy metals concentration in urban areas, sediment samples were collected on three streets with different traffic intensity by the dry brushing and vacuuming method in six experimental plots of 0.5 (m²) in two sampling campaigns lasting 14 days each. The samples were analyzed in terms of particle size distribution by laser diffraction and of metal content by Atomic Absorption Spectrometry in three particle size ranges (<63 µm, 250-63 µm, 500-250 µm). The results showed that the daily load of sediment varied from 0.48 to 99.2 g/m² in the sampled streets. It was observed from the particle size distribution that nearly 52% of sediment fractions were < 500 µm, and of these, the predominant fraction is between fine sand and silt, in other words, between 250-63 µm. For the metals it has been found that higher concentrations are preferably in particles < 63 µm. In general the concentration was in the following decreasing order Fe > Mn > Cu > Pb > Zn > Cd > Cr.

Keywords: Urban sediment. Heavy metals. Contamination. Stormwater.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado e sem planejamento efetivo tem provocado alterações nas bacias hidrográficas e consequentemente no ciclo hidrológico. Estas mudanças são decorrentes do aumento das áreas impermeáveis e redução da infiltração da água no solo, com consequente aumento do escoamento superficial e carreamento de poluentes para os cursos d'água. Tais fatores provocam problemas de cheias e poluição dos recursos hídricos.

Nesta perspectiva vários estudos (BRIS et al., 1999; DELETIC; ORR, 2005; SHI; CHEN; WANG., 2013; TUCCI, 2003) têm mostrado que os sedimentos urbanos, partículas depositadas nas ruas e telhados advindas principalmente da deposição atmosférica, uso do solo, tráfego de veículos e transporte de resíduos urbanos, são uma fonte potencial de deterioração da qualidade da água nos centros urbanos. Ainda, para Dotto (2006) e Herngren (2005), estes sedimentos provocam obstruções das canalizações prejudicando a funcionalidade das redes de drenagem, se depositam no leito de rios, elevam a turbidez da água, são grandes transportadores de metais tóxicos e outros poluentes nocivos ao ecossistema aquático e a qualidade das águas nas bacias hidrográficas.

Para Egodawatta (2007), a composição dos sedimentos urbanos e a concentração dos poluentes estão diretamente relacionadas com o uso do solo, onde o fluxo de veículos é um fator que afeta a concentração de elementos tóxicos depositados nas superfícies. Zhao, Li e Wang (2011), comentam que a maior contribuição de metais pesados como Pb, Cu, Cd e Zn depositados nas superfícies são advindos do tráfego e emissões veiculares, pois muitos destes metais estão na composição da gasolina, baterias, lubrificantes, e outros produtos usados nos veículos. Ainda, em estudos da EPA (1999), os metais Pb, Zn e Cu foram detectados no escoamento superficial urbano com frequência de 75%.

Outro fator importante que atua nos processos de deposição e transporte dos sedimentos nas superfícies asfálticas, é a o tamanho das partículas. De acordo com Viklander (1998), *“as partículas finas são as mais importantes para contaminação dos sedimentos”*, pois são nelas que estão as maiores concentrações de metais tóxicos. Para Sutherland (2003), em Palolo, Hawaí, as frações > 2000 μm são de limitada importância no transporte e adsorção de metais nos sistemas urbanos, sendo que, as maiores concentrações encontradas para o Pb neste estudo foram nas partículas de argila, silte e areia (64%), ressaltando ainda, que nas partículas < 63 μm foram encontradas 51% da carga total de chumbo armazenada. Em Queensland, Austrália, Gunawardana et al. (2012), observaram que mais de 70% das partículas coletadas eram < 150 μm , nas quais estavam cerca de 60% da massa de metais pesados.

O tamanho das partículas também determina a distribuição do sedimento na superfície asfáltica, a qual se dá pela ação dos ventos, varrição, chuva e tráfego de veículos. Sabe-se que esta não é uniforme, pois as partículas grosseiras se encontram próximo à linha da sarjeta e as mais finas na faixa central da rua como observado por Deletic e Orr (2005) e Grottker (1987). Também, Sartor e Boyd (1972), comentaram que geralmente ao

longo do centro da pista são encontradas as maiores concentrações de substâncias tóxicas, pois uma variedade de líquidos que derramam ou vazam dos veículos são concentrados nesta faixa. Por isso, em estudos que visam à análise de metais tóxicos e organofosforados, as maiores concentrações estarão ao longo da faixa central da rua.

Neste contexto, esta pesquisa teve por objetivo determinar a concentração de metais pesados e a carga de sedimentos depositados em superfícies asfálticas de áreas urbanas de Goiânia, Goiás, e avaliar o efeito do tráfego de veículos na concentração de metais, na carga de sedimento e na distribuição do tamanho das partículas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Goiânia, município mais populoso do Estado de Goiás localizado no Centro-Oeste do Brasil. A cidade tem uma população estimada de 1.302.001 milhões de habitantes (IBGE, 2010). Como área de estudo foram selecionadas três ruas (Figura 1), escolhidas pela diferença do tráfego de veículos, para verificar a relação do mesmo com as concentrações de metais tóxicos. O fluxo de veículos foi determinado pelo Volume Médio Diário (VMD) do tráfego das vias pela Ficha de Contagem Volumétrica I, do Manual de Estudos de Tráfego em dois períodos de 4 horas (BRASIL, 2006). As ruas adotadas foram a Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1.

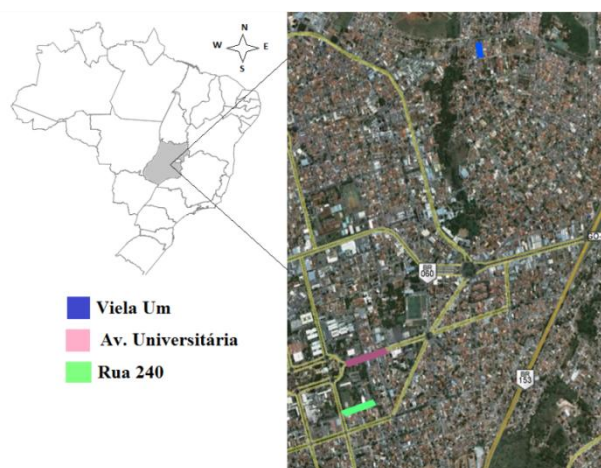


Figura 1 – Localização da área de estudo

Avenida Universitária é uma via arterial que dá acesso a pontos estratégicos da cidade, de uso comercial e residencial, possui área permeável nos canteiros onde há presença de plantas ornamentais. A superfície asfáltica está em ótimas condições e contém um VMD de 10.000 veículos/dia e uma declividade média de 2,5%. A Rua 240 é uma via coletora, possui uso preferencialmente residencial/comercial, possui grande área permeável nos canteiros com muitas árvores. A superfície asfáltica está conservada, e a rua possui um VMD de 1.500 veículos/dia e declividade média de 3,7%. A Viela 1 é uma via que dá acesso

aos lotes, de uso residencial, tem pouca área permeável e poucas árvores, a superfície asfáltica está desgastada e possui um VMD de 150 veículos/dia e uma declividade média de 2,7%.

Quanto ao serviço de limpeza das ruas, o qual foi monitorado no decorrer da pesquisa, observou-se que a Avenida Universitária conta com serviço de varrição duas vezes por semana, a Rua 240 uma vez por semana e a Viela 1 o sistema de limpeza é ocasional, ou seja, não é periódico.

Amostragem do sedimento seco

O sedimento foi coletado em duas campanhas de amostragem compreendidas entre os meses de agosto e setembro de 2013, período de ausência de precipitação, usando a técnica de aspiração e escovação a seco (DOTTO, 2006; GASTALDINI; SILVA, 2012; VAZE; CHIEW, 2002). Em cada campanha as amostras foram coletadas em seis parcelas distribuídas ao longo de 200 m de cada rua durante 14 dias, sendo coletadas amostras no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º e 14º dias secos antecedentes a um evento de chuva, em uma área de 0,5m², delimitada por uma moldura de madeira colocada entre a sarjeta e a faixa central da estrada, conforme ilustrado esquematicamente na figura 2.

Para coleta do sedimento a superfície foi aspirada utilizando um aspirador de pó e água modelo Flex S com potência de 1400 W, depois para desagregar os finos foi levemente escovada com uma escova de fibra, e então aspirada novamente. As etapas do processo são ilustradas na figura 3.

Os sedimentos foram aspirados para dentro de sacos coletores do próprio aspirador, os quais foram adaptados quanto

ao volume e garantem a retenção das partículas mais finas. Desta forma, foram obtidas seis amostras em cada rua por campanha, as quais foram enviadas para o laboratório para verificação dos parâmetros analíticos.

Procedimentos analíticos

As amostras foram encaminhadas ao laboratório e submetidas à secagem a 100°C ± 3°C por 24 h em estufa de secagem para remover a umidade, conforme estudos de Sutherland e Tolosa (2000) e Vaze e Chiew (2002). A determinação da massa foi por gravimetria em balança analítica de precisão. Após a secagem e pesagem as amostras individuais de cada dia foram agrupadas e homogêneas para obter maior representatividade. As amostras compostas foram analisadas quanto à distribuição granulométrica e determinação de metais.

Para determinar a granulometria as amostras foram previamente peneiradas em frações de 1000 µm e 500 µm em peneiras de material não metálico. O material passante de cada peneira foi então pesado e armazenado separadamente. Uma parte da fração passante da peneira de 500 µm, cerca de um grama, foi então avaliada em um analisador de partículas por difração a laser da Malvern, modelo HYDRO 2000MU, pelo software Mastersizer 2000, no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física-LABOGF do Instituto de Ciências Sócio- Ambientais da Universidade Federal de Goiás - UFG. Para desagregação das amostras não foram utilizados dispersantes químicos, apenas o banho de ultrassom. Os dados foram tratados no GRADISTAT (programa estatístico de análise de

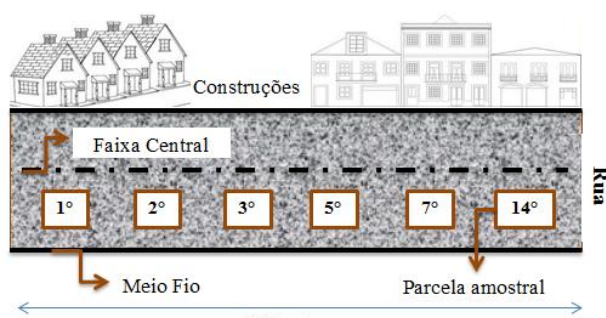


Figura 2 – Mapa experimental da coleta do sedimento na rua



Figura 3 - Coleta de sedimento na parcela amostral (A) aspiração, (B) escovação e (C) aspiração novamente

sedimentos). A outra parte foi então passada em peneiras de 250 µm e 63 µm, nas quais as massas passantes foram armazenadas separadamente. As análises de metais foram conduzidas em três frações granulométricas de 500-250 µm, 250-63 µm e < 63 µm.

Em relação aos metais, sete elementos foram selecionados por apresentarem características tóxicas aos ecossistemas aquáticos e por serem potencialmente encontrados em águas de escoamento superficial urbano, a saber, cádmio, chumbo, cromo, cobre, zinco, ferro e manganês, como observado por Deletic e Orr, 2005; Gunawardana et al., 2012; Hengren, 2005; Volesky, 2011. Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica por chama, um método sensível para determinar mais de sessenta metais em soluções, apresentando limites de detecção na faixa de 0,001 a 0,020 ppm na atomização por chama (SKOOG; HOLLER; TIMOTHY, 2002).

A abertura da amostra foi conduzida segundo método descrito por Robertson, Taylor e Hoon (2003), onde um grama de sedimento foi pesado em balança analítica de precisão, e então foi adicionado 10 mL de HNO₃. A digestão foi mantida por 1 hora a ± 85°C em chapa elétrica, com vidro de relógio sob o bquer para efetivar a digestão e evitar a secura rápida, até a redução do volume para ± 5 mL. Esse montante foi filtrado em papel de filtro faixa branca em um balão volumétrico de 50 mL e então avolumado. As leituras foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Foliar - LASF da UFG por meio de um espectrofotômetro da Perkin Elmer, modelo AA-100.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da carga dos sedimentos secos

A figura 4 apresenta a distribuição temporal das cargas de sedimentos pelos dias secos antecedentes em cada rua, para as duas campanhas de amostragem.

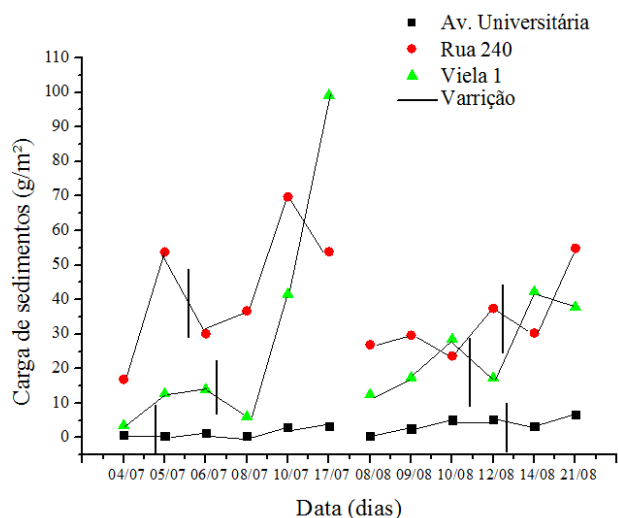


Figura 4 – Variação da carga de sedimentos com os dias secos antecedentes para as três ruas amostradas

Da carga de sedimentos verificou-se que em geral a Rua 240 apresentou as maiores cargas diárias, as quais variaram de 16,9 a 69,7 g/m², seguida da Viela 1 com 3,5 a 99,2 g/m² e Avenida Universitária com 0,48 a 6,7 g/m² (Figura 4). Estes dados mostram que a distribuição das cargas de sedimento não é uniforme ao longo das ruas nem dos dias secos, mas nota-se que esta tende a aumentar com do número de dias secos. Logo, verifica-se que a carga está diretamente associada às condições de uso de cada local, como condições do asfalto, densidade de plantas, limpeza urbana e tráfego de veículos.

Observou-se pelos dados levantados *in loco*, que a rua com maior densidade de plantas possui em geral as maiores cargas de sedimento, visto que gravetos e folhas são incorporados aos sedimentos. Também, as superfícies asfálticas mais degradadas elevam a carga de sedimento, pois o pavimento desgastado libera material particulado usado na sua confecção, como brita e areia, o qual é incorporado ao sedimento.

Outro fator importante observado foi o sistema de limpeza das ruas, pois a varrição é essencial para diminuir o acúmulo de partículas grosseiras durante os dias secos antecedentes. Neste trabalho, quando as coletas foram realizadas no dia seguinte ao evento de varrição, pode-se perceber o decaimento da carga de sedimentos, este efeito é mais acentuado na Rua 240 onde a carga cai de 53,7 para 30,1 g/m² do dia 05/07 para o dia 06/07 (Figura 4). Este fato foi verificado por esta rua possuir a maior densidade de árvores, ou seja, alta porcentagem de folhas e galhos, os quais são removidos pela varrição diminuindo assim a carga do dia seguinte.

Também, nota-se que o acúmulo de sedimentos possui uma relação com o fluxo de veículos, visto que a massa acumulada tende a diminuir com o aumento do tráfego de veículos. Exceto para Rua 240, onde se acredita que o aporte de folhas e galhos incorporados ao sedimento interfere no montante acumulado. Esta análise é apresentada na figura 5, onde se observa que a Avenida Universitária, rua com maior fluxo de veículos, possui as menores massas acumuladas durante os 14 dias de coleta para as duas campanhas de amostragem.

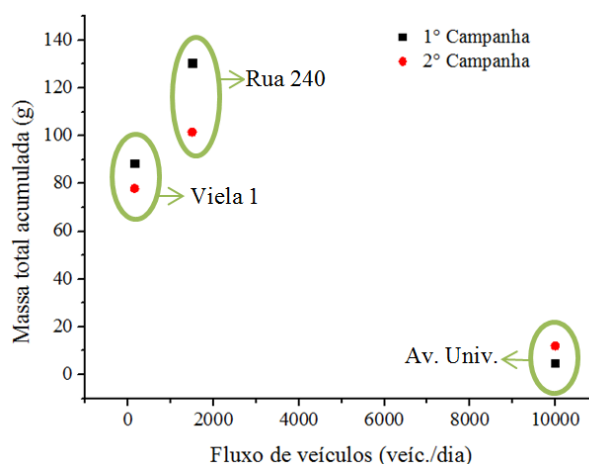


Figura 5 – Relação do fluxo de veículos com a massa acumulada

Resultados similares para carga de sedimentos foram encontrados por Vaze e Chiew (2002) na Austrália, em coletas na faixa central de uma rua, onde observaram uma variação de 5,0 a 55,0 g/m². Deletic e Orr (2005), também na Austrália coletando sedimentos na faixa central encontram uma variação de 18,3 a 321,0 g/m². Hengren, Goonetilleke e Ayoko (2006), encontraram uma variação de 0,8 a 5,3 g/m² para diferentes ruas com diferentes dias antecedentes. Dotto (2006) em Santa Maria-RS, Brasil encontrou para ruas residenciais uma variação de 4,0 a 350,0 g/m² na Rua Marquês do Herval e de 10,0 a 240,0 g/m² na Rua Rigoberto Duarte.

Observa-se que as cargas coletadas podem variar muito de um local para o outro, e que esta depende das condições de uso de cada local, e dos métodos de coleta do sedimento. Dotto (2006) encontrou faixas maiores de acúmulo, possivelmente, porque a coleta foi conduzida ao longo da sarjeta, onde a proporção de sedimento é maior que ao longo da via, e também pelo fato das ruas amostradas não receberem variação periódica.

Distribuição granulométrica dos sedimentos

A tabela 1 apresenta as cargas totais de sedimento coletados na Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1, nas faixas granulométricas $\geq 1000 \mu\text{m}$, 1000-500 μm , 500-250 μm , 250-63 μm e $< 63 \mu\text{m}$.

Nesta pode-se observar que cerca de 52% das frações totais do sedimento das ruas são $< 500 \mu\text{m}$, sendo que esta porcentagem é ainda maior na Avenida Universitária (62%). A média para todas as ruas é de 57,8%. Dos sedimentos mais grosseiros,

verifica-se que a Rua 240 possui as maiores porcentagens com 33,6% dos sedimentos $> 1000 \mu\text{m}$. Isso se deve ao fato, desta rua possuir alta concentração de folhas e gravetos no montante do sedimento, como já abordado anteriormente.

Na figura 6 são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos das ruas amostradas para a primeira e segunda campanha respectivamente. Esta figura apresenta um estudo detalhado da composição dos sedimentos $< 500 \mu\text{m}$, da qual é possível observar as porcentagens de argila, silte e areia. A análise estatística dos dados, que se refere ao cálculo das porcentagens foi obtida pelo GRADISTAT, programa estatístico de análise de sedimentos e é apresentada na tabela 2.

Desta análise verifica-se que o maior constituinte dos sedimentos é a areia, no entanto, os maiores volumes, mais de 41% das frações (Tabela 2), estão na faixa de 250-63 μm que compreende a areia fina, partículas de pequeno diâmetro fáceis de serem transportadas pelo escoamento, vento e tráfego de veículos.

Este mesmo fato foi observado por Zhao, Li e Wang (2011) em estudos na China, onde constataram que os sedimentos urbanos acumulados em superfícies asfálticas eram predominantemente $< 250 \mu\text{m}$. Robertson, Taylor e Hoon (2003) na Inglaterra, encontraram que os sedimentos urbanos eram compostos principalmente por areia, onde os diâmetros frequentes das partículas estavam entre 200 e 300 μm . Contudo, Hengren (2005) e Sutherland (2003), comentaram que as frações de sedimento $< 75 \mu\text{m}$ são as partículas mais importantes na caracterização dos sedimentos urbanos, pois nelas estão as maiores concentrações de metais. Neste estudo, essas partículas representam em média 21,9%, 29,5% e 18,3% das frações para

Tabela 1- Distribuição média da carga total de sedimento nas frações granulométricas

Granulometria (μm)	Av. Univ.		Rua 240		Viela1	
	g/m ²	%	g/m ²	%	g/m ²	%
≥ 1000	3,62	20,33	71,96	33,68	32,94	22,84
1000-500	3,27	17,33	30,67	14,36	26,40	18,05
500-250	3,53	17,88	35,51	16,70	37,57	25,44
250-63	3,88	24,28	62,02	29,20	39,48	26,86
< 63	3,40	20,18	12,72	6,06	9,80	6,81
Total	17,7	100,0	212,9	100,0	146,2	100,0

Tabela 2 - Composição física dos sedimentos coletado

Composição Física (%)	1ª Campanha			2ª Campanha		
	Av. Univ.	Rua 240	Viela 1	Av. Univ.	Rua 240	Viela 1
Argila	0,2	0,2	0,4	0,4	0,7	0,3
Silte	18,0	16,6	15,5	25,3	41,5	20,4
Areia Fina	52,1	54,0	41,2	45,8	36,2	46,0
Areia média	19,6	24,2	27,3	17,3	12,8	21,7
Areia grossa	10,1	5,0	15,6	11,1	8,8	11,7

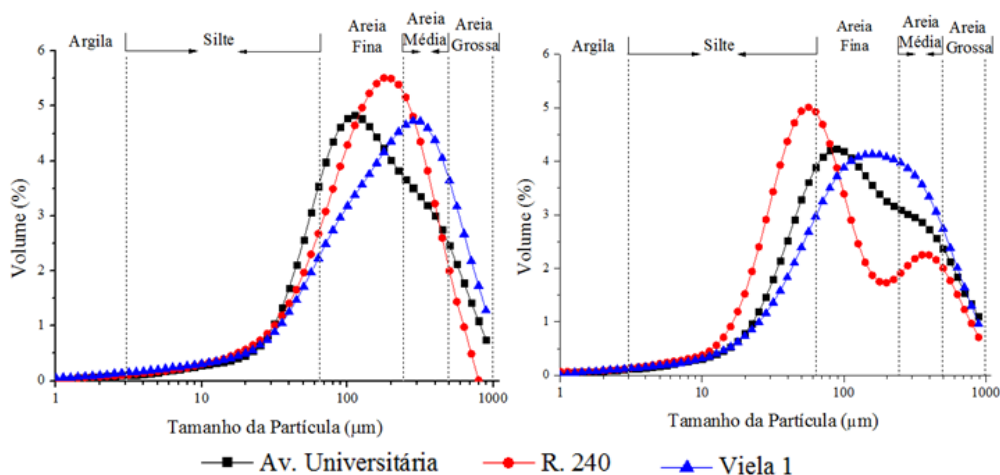


Figura 6 - Distribuição granulométrica dos sedimentos para as ruas amostradas para (A) primeira e (B) segunda campanha, respectivamente obtidas por meio do analisador de partículas

a Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1 respectivamente, ou seja, são o somatório das frações de argila e silte.

Para completar a classificação granulométrica a tabela 3 apresenta os diâmetros médios das partículas (d_{50}), que corresponde ao tamanho médio das partículas que ocorre com uma frequência de 50%. Nota-se que a Viela 1 é a via que possui os maiores diâmetros, mas que estes estão preferencialmente entre areia fina e silte.

Tabela 3 – Diâmetro médio dos sedimentos

Local de amostragem	1º CAMP.	2º CAMP.
	d_{50} (µm)	
Av. Univ.	143,8	123,5
Rua 240	161,2	75,0
Viela 1	207,9	156,6

Resultados similares foram encontrados por Deletic e Orr (2005) na Escócia, onde em amostras coletadas na faixa central detectaram um d_{50} de 238 µm, já para as amostras coletadas na sarjeta o d_{50} foi de 400 µm. Dotto (2006), também para coletas na sarjeta encontrou d_{50} de 350 µm para duas ruas em Santa Maria, mostrando que os sedimentos coletados na sarjeta são mais grosseiros que os encontrados na faixa central. Já Martínez (2010), coletando amostras na faixa central de três ruas em Porto Alegre encontrou valores de d_{50} variando de 55 a 64 µm.

Distribuição dos metais pesados nos sedimentos

A tabela 4 apresenta a concentração de metais nos sedimentos da Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1, nas faixas granulométricas para duas campanhas de amostragem.

Observa-se que os metais seguem em geral a ordem decrescente de concentração com Fe > Mn > Cu > Pb > Zn > Cd > Cr, e que estes estão preferencialmente na granulometria < 63 µm. Tal ocorrência só não foi verificada para o Fe e Mn

na Avenida Universitária.

O fato dos metais se depositarem em partículas menores já foi observado por Bris et al. (1999) e Robertson, Taylor e Hoon (2003), sobretudo Deletic e Orr (2005), comentam que a concentração de metais nos sedimentos tende a aumentar com o decréscimo do tamanho da partícula.

Nas figuras de 7 a 12 são apresentados os metais nas faixas granulométricas, onde é possível verificar de forma mais clara a distribuição dos metais para as ruas amostradas.

Na figura 7 são apresentadas as concentrações de cobre para as duas campanhas de amostragem, (A) e (B) respectivamente. Nesta observa-se que as concentrações de cobre variaram de 7,0 a 168,0 mg/kg, sendo que as maiores concentrações foram detectadas na Avenida Universitária, seguida da Rua 240 e Viela 1, respectivamente.

As concentrações de zinco, figura 8, variaram de 14,7 a 55,9 mg/kg e foram similares para todas as ruas, no entanto, a Avenida Universitária teve em geral as maiores concentrações.

As concentrações de chumbo na figura 9, variaram de 35,0 a 80,0 mg/kg, sendo que as maiores concentrações foram observadas para Avenida Universitária em todas as frações.

Na figura 10, as concentrações de cádmio variaram de 2,5 a 8,0 mg/kg, onde observa-se que as maiores concentrações foram detectadas para Avenida Universitária, principalmente na fração < 63 µm.

Na figura 11, as concentrações de ferro variaram de 4.756,5 a 21.004,0 mg/kg, em geral as maiores foram encontradas para Viela 1 e Rua 240. Para o manganês, figura 12 as maiores concentrações foram detectadas na Viela 1 e Rua 240 para as frações < 63 µm, as quais variaram de 104,5 a 331,0 mg/kg.

Pelos dados apresentados observa-se que o fluxo de veículos interfere na concentração de metais dos sedimentos de cada rua, este fato é evidenciado, pois as maiores concentrações de cobre, chumbo e cádmio foram detectadas na Avenida Universitária (local com maior fluxo de veículos), fato também verificado para o Zn na segunda campanha, sendo ainda importante ressaltar que o Cr só foi detectado na Avenida

Tabela 4 - Concentrações de metais nas ruas amostradas pelas faixas granulométricas

Metais	Granulometria	Concentração em mg/kg					
		1ª Campanha			2ª Campanha		
		Av. Univ.	Rua 240	Viela 1	Av. Univ.	Rua 240	Viela 1
Fe	500-250 μm	10.901,0	10.402,5	4.756,5	21.004,0	11.148,0	12.175,5
	250-63 μm	8.656,0	7.994,0	10.208,5	17.382,5	11.195,5	1.420,5
	< 63 μm	8.882,0	15.773,0	18.023,5	11.964,5	17.886,0	19.817,5
Mn	500-250 μm	132,5	169,5	106,5	185,0	176,0	50,5
	250-63 μm	108,5	117,5	161,5	188,0	176,5	213,0
	< 63 μm	104,5	227,5	25,0	155,0	290,0	331,0
Cu	500-250 μm	75,0	15,0	26,3	56,0	7,0	54,0
	250-63 μm	42,5	20,0	15,3	71,0	31,0	63,0
	< 63 μm	130,0	60,5	48,0	168,0	89,5	71,0
Pb	500-250 μm	55,0	50,0	36,5	70,0	44,5	35,0
	250-63 μm	65,0	54,5	45,0	60,0	50,5	50,0
	< 63 μm	70,0	55,0	55,0	80,0	55,0	69,0
Zn	500-250 μm	42,5	33,6	26,3	41,5	23,7	32,6
	250-63 μm	42,6	28,8	41,1	55,9	14,7	23,6
	< 63 μm	43,2	47,0	54,2	52,3	42,7	40,2
Cd	500-250 μm	3,5	3,5	3,0	3,5	2,5	3,1
	250-63 μm	4,0	3,5	3,6	5,0	3,7	4,5
	< 63 μm	5,0	4,2	4,0	8,0	5,0	4,5
Cr	500-250 μm	nd*	nd	nd	nd	nd	nd
	250-63 μm	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	< 63 μm	6,0	nd	nd	5,0	nd	nd

nd: não detectado

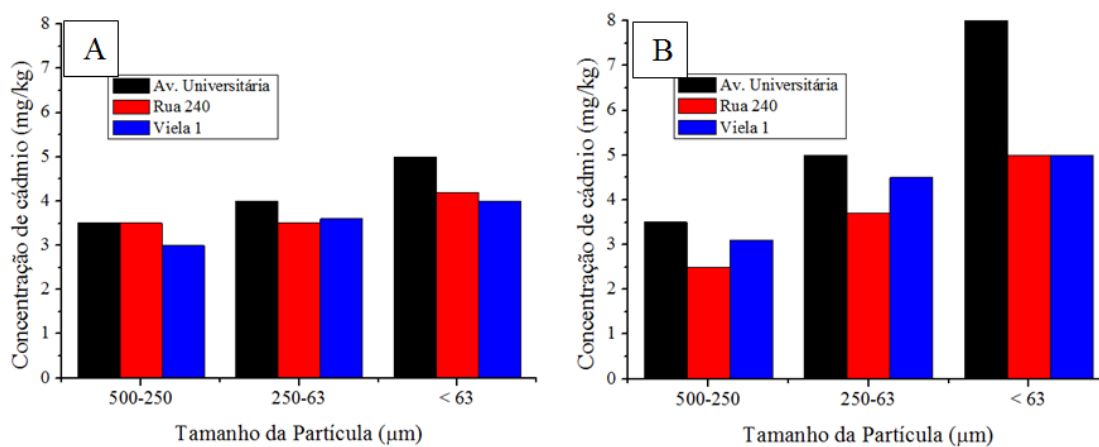


Figura 7- Concentração de cobre nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

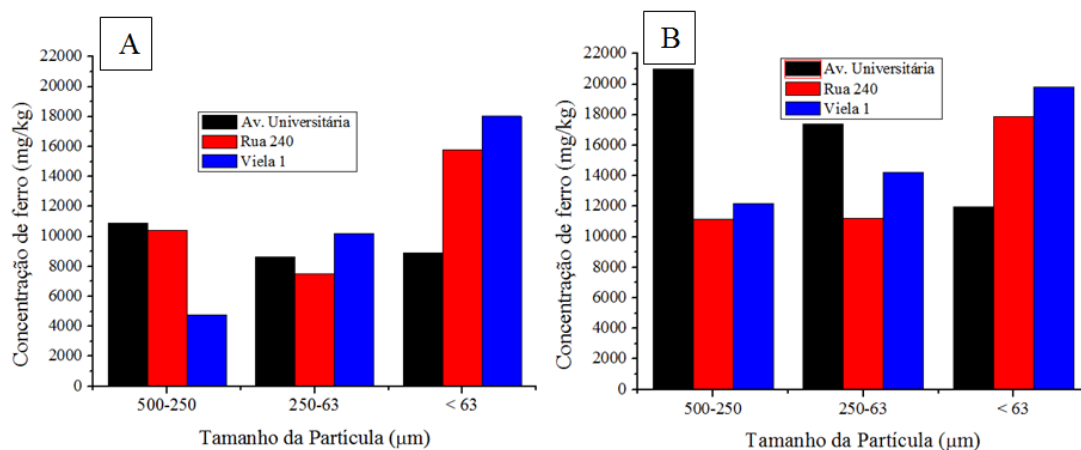


Figura 8 - Concentração de zinco nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

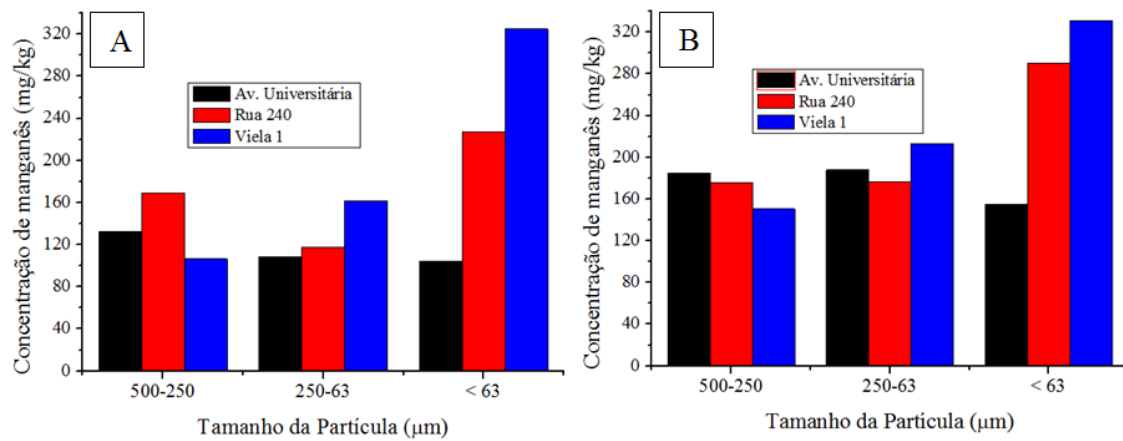


Figura 9 - Concentração de chumbo nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

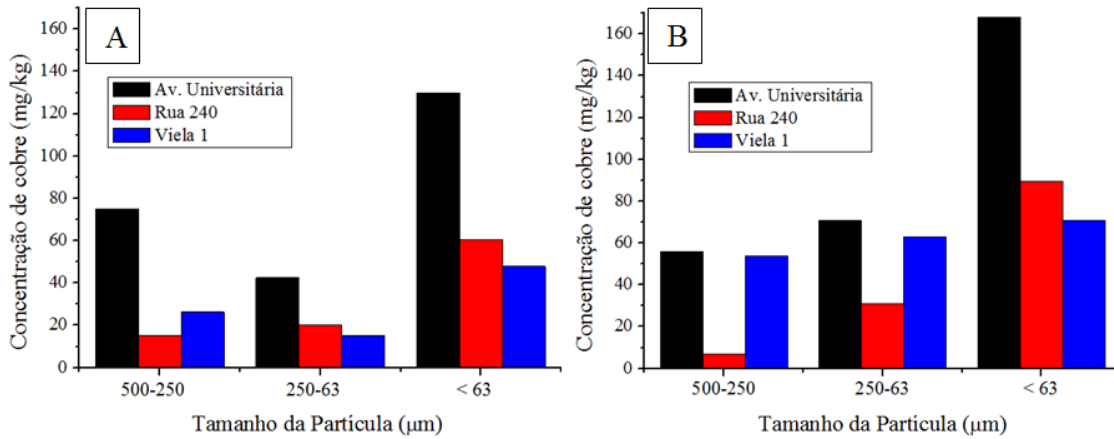


Figura 10 - Concentração de cromo nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

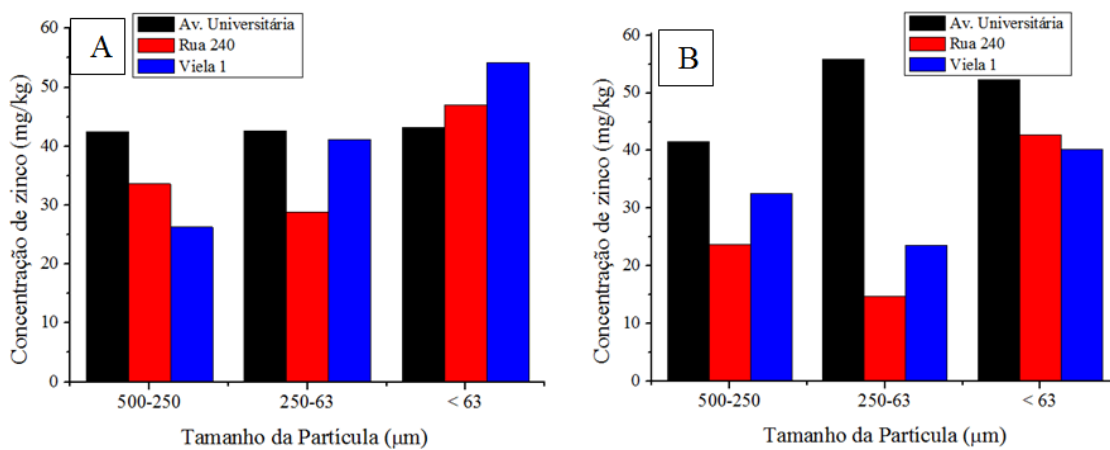


Figura 11 - Concentração de ferro nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

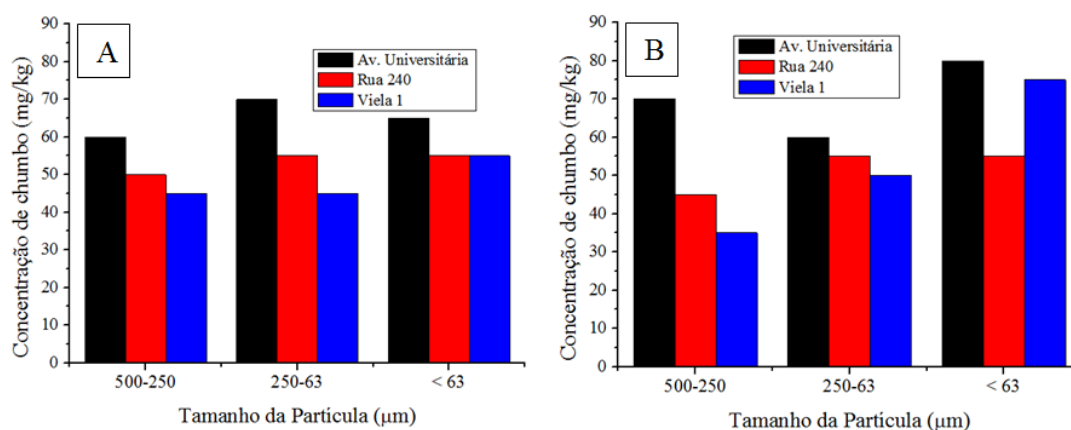


Figura 12 - Concentração de manganês nas faixas granulométricas para (A) primeira e (B) segunda campanha respectivamente

Universitária na fração < 63 µm. A concentração dos metais seguem em geral a ordem de crescimento do fluxo de veículos das ruas, sendo assim Avenida Universitária > Rua 240 > Viela 1. Tal relação só não foi verificada para manganês e ferro, e acredita-se que a presença destes deve-se em grande parte a composição do solo local.

Da relação dos resultados com outras pesquisas, observa-se que as concentrações encontradas para os metais foram inferiores as encontradas por Deletic e Orr (2005), que encontraram concentrações médias de 1.040,0 630,0 470,0 mg/kg respectivamente para Zn, Pb e Cu na granulometria < 63 µm. Também, verifica-se que a sequência encontrada por eles foi inversa à encontrada neste estudo. No entanto, as concentrações de Cd encontradas por eles em média 1,7 mg/kg foram inferiores as encontradas neste estudo, em média 5,0 mg/kg.

Robertson, Taylor e Hoon (2003), encontraram em seus estudos concentrações médias em mg/kg de 11.302,0 (Fe), 706,0 (Zn), 354,0 (Pb), 263,0 (Mn) e 92,0 (Cu). Observa-se que as concentrações foram similares às encontradas neste estudo, exceto para o Zn e Pb.

Yeung, Kwok e Yu (2003), encontraram concentrações médias para diversas ruas em Hong Kong em mg/kg de 14.100,0 (Fe) 3.840,0 (Zn), 594,0 (Mn) 124,0 (Cr), 120 (Pb), e 110,0 (Cu). Nota-se que as concentrações Zn, Cr e Pb foram superiores as encontradas nesta pesquisa.

Martinez (2010), encontrou concentrações médias em mg/kg para três ruas em Porto Alegre de 531,9 (Zn), 245,2 (Pb) e 0,9 (Cd) nas frações de 63 µm, também nota-se que as concentrações foram superiores, exceto para o cádmio. E as maiores concentrações para os metais foram detectadas nas partículas <63 µm, como observado em geral nesta pesquisa.

Shi, Chen e Wang (2013) na China, encontraram valores médios em mg/kg de 604,4 (Mn), 375,4 (Zn), 135,6 (Cr), 132,2 (Cu), 77,3 (Pb) e 0,13 (Cd). Observou-se que em geral as concentrações também são próximas as encontradas neste estudo, exceto para o Zn e Cr. Ressalta-se ainda que em todos os estudos analisados, estes dois metais obtiveram concentrações muito superiores às encontrados nesta pesquisa. Para o cádmio ocorreu o inverso, ou seja, as concentrações encontradas neste estudo foram superiores.

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a carga de sedimento acumulada nas ruas pode ser elevada dependendo das condições de uso do solo, sendo que, este determina a composição dos sedimentos, uma vez que características como tráfego de veículos, densidade de árvores e a varrição da rua influenciam na carga acumulada e na granulometria do sedimento.

Das ruas estudadas observou-se que a carga de sedimentos tende a decrescer com o aumento do fluxo de veículos. No entanto, tal observação está aliada a ação de outros fatores. Também, observou-se que a carga de sedimento tende a aumentar com número de dias secos antecedentes, mas este crescimento não é linear, pois sofre influência de fatores como a varrição da rua e tráfego de veículos, que atua distribuindo as partículas na superfície.

Da granulometria dos sedimentos observou-se que a Rua 240 possui as partículas mais grosseiras, onde aproximadamente 34% das frações são > 1000 µm, fato que está diretamente correlacionado com o aporte de folhas e gravetos ao sedimento. Para as outras ruas a faixa de partículas grosseiras foi próxima de 20%, onde foi possível observar que as partículas grosseiras tendem a diminuir com o aumento do fluxo de veículos. As frações predominantes para todas as ruas foram as < 500 µm com aproximadamente 58%, onde desta fração contatou-se que cerca de 41% das partículas estão entre 63- 250 µm (areia fina).

Da análise de metais pesados, observou-se que os sedimentos urbanos possuem altas concentrações de elementos metálicos independentemente do tráfego de veículos, pois em todas as ruas foram encontrados metais como Fe, Mn, Cu, Pb, Zn e Cd. No entanto, a diferença do tráfego de veículos pode elevar ou diminuir a concentração dos metais de uma rua para outra, principalmente para o Cr e Cu. Também, nota-se que os metais possuem uma relação com o tamanho da partícula, uma vez que nas frações < 63 µm foram detectadas as maiores concentrações da maioria dos metais, fato só não observado em geral neste estudo para o Fe e Mn.

AGRADECIMENTOS

A CAPES - Coordenação de Pessoal de Nível Superior e a FUNDEP - Fundação de Desenvolvimento de Pesquisa, pelo apoio e financiamento à pesquisa. Aos laboratórios de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física- LABOGEF do Instituto de Ciências Sócio - Ambientais na pessoa do professor Maximiliano Bayer e ao laboratório de Análise de Solo e Foliar - LASF na pessoa do professor Wilson Mozena pela parceria e apoio nas análises laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_estudos_trafego.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2012.
- BRIS, F. J.; GARNAUD, S.; APPERRY, N.; GONZALEZ, A.; MOUCHEL, J. M.; CHEBBO, G.; THÉVENOT, D. R. A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment. *Science of the Total Environment*, v. 235, p. 211-220, 1999.
- DELETIC, A.; ORR, D. W. Pollution Buildup on Road Surfaces. *Journal of Environmental Engineering - ASCE*, v. 131, n. 1, p. 149-159, Jan. 2005.
- DOTTO, C.B.S. *Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria*- RS. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil_ -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- EGODAWATTA, P. *Translation of small-plot scale pollutant build-up and wash-off measurements to urban catchment scale*. 2007. Thesis - Faculty of Built Environment and Engineering, Australia, 2007.
- EPA- Environment Protection Agency. *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. EPA-821-R-99-012. Office of Water (4303). Washington: Environment Protection Agency, 1999.
- GASTALDINI, M. C. C.; SILVA, A. R. V. Estudo da Distribuição de Poluentes em Superfícies Urbanas. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 17, n. 4, p. 97-107, out./dez. 2012.
- GROTTKER, M. Runoff quality from a street with medium traffic Loading. *Science of the Total Environment*, v. 59, p. 457-466, 1987.
- GUNAWARDANA, C.; GOONETILLEKE, A.; EGODAWATTA, P.; DAWES, L.; KOKOT, S. Role of solids in heavy metals build-up on urban road surfaces. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, v. 138, n. 4, p. 490-498, Apr. 2012.
- HERNGREN, L. *Build-up and wash-off process kinetics of PAHs and heavy metals on paved surfaces using a simulated rainfall*. Thesis - Faculty of Built Environment and Engineering, Australia, 2005.
- HERNGREN, L.; GOONETILLEKE, A.; AYOKO, G. A. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chemical Acta- Elsevier*, v. 571, n. 2, p. 270-278, July 2006.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2010*. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2013.
- MARTINEZ, L. L. G. *Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas impermeáveis de Porto Alegre*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ROBERTSON, D. J.; TAYLOR, K. G.; HOON, S. R. Geochemical and mineral magnetic characterization of urban sediment particulates, Manchester, UK. *Applied Geochemistry*, v.18, n. 2, p. 269-282, Feb. 2003.
- SARTOR, J. D.; BOYD, G. B. *Water pollution aspects of street surface contaminants*. Washington: Office of Research and Monitoring U.S. Environmental Protection Agency- EPA, 1972.
- SHI, X.; CHEN, L.; WANG, J. Multivariate analysis of heavy metal pollution in street dusts of Xianyang city, NW China. *Environmental Earth Science*, v. 69, n. 6, p. 1973-1979, July 2013.
- SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; TIMOTHY, A. *Princípios de análise instrumental*. 5. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002.
- SUTHERLAND, R. A. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. *Environmental Pollution*, v. 121, n. 2, p. 229-237, 2003.
- SUTHERLAND, R. A.; TOLOSA, C. A. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. *Environmental Pollution*, v. 110, n. 3, p. 483-495, Dec. 2000.
- TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. *Ciência e Cultura*, v. 55, n. 4, p. 36-37, out./dez. 2003.
- VAZE, J.; CHIEW, F. H. S. Experimental study of pollutant accumulation on an urban Road surface. *Urban Water*, v. 4, n. 4, p. 379-389, Dec. 2002.
- VIKLANDER, M. Particle size distribution and metal content in street sediments. *Journal of Environmental Engineering*, v. 124, n. 8, p. 761-766, Aug. 1998.
- VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, v. 59, n. 2-3, p. 203-216, Feb. 2001.

YEUNG, Z. L. L.; KWOK, R. C. W.; YU, K. N. Determination of multi-element profiles of street dust using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF). *Radiation and Isotopes*, v. 58, n. 3, p. 339-346, Mar. 2003.

ZHAO, H.; LI, X.; WANG, X. Heavy Metal Contents of Road-Deposited Sediment along the Urban-Rural Gradient around Beijing and its Potential Contribution to Runoff Pollution. *Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 17, p. 7120-7127, Sept. 2011.