

# DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS URBANOS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

## DETERMINATION OF HEAVY METALS IN URBAN SEDIMENTS BY X-RAY FLUORESCENCE

**Emanoelle Pereira da Silva<sup>1</sup>, Eduardo Queija de Siqueira<sup>1</sup>,  
Fernando Schimidt<sup>2</sup>, Claudia de Souza Guedes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil E-mail  
eduqs@yahoo.com

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás E-mail  
schimidt99@gmail.com

---

### RESUMO

Os sedimentos urbanos depositados nas superfícies impermeáveis são uma fonte de poluição dos corpos de água no meio urbano. No entanto, poucos estudos têm sido desenvolvidos para verificar o potencial poluidor desses sedimentos. Assim, este artigo visa quantificar a concentração de elementos químicos, sobretudo de metais pesados, verificar a sua relação com o fluxo de veículos e traçar o perfil granulométrico dos sedimentos. Para tal, foram coletados sedimentos em três ruas da cidade de Goiânia, pelo método de aspiração por via úmida. Os elementos foram determinados por fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF) e a granulometria analisada por difração a laser. Os resultados mostram altas concentrações de elementos tóxicos como Ba (1098 mg/kg), Cr (174 mg/kg) e Zn (280 mg/kg). Em geral, a ordem decrescente de concentração dos elementos foi Si > Al > Fe > Ca > K > Ti > S > Ba > Zn > Mn > Cr > Sr > Cu > Zr > V > Au > Ge. Os elementos analisados apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson positivo para o fluxo de veículos, fato não verificado para Fe e Al. Da granulometria observou-se que mais de 60 % das frações são < que 200 µm.

**Palavras-chave:** Sedimentos urbanos. Poluição difusa. Metais pesados. Fluorescência de Raios-X.

---

### ABSTRACT

Urban sediments deposited on paved surfaces are a source of pollution to water bodies. However, a few studies have been developed to check the potential pollution of these sediments. So this article aims to quantify the concentration of chemistry elements, above all heavy metals, verify the relation of those with the traffic flow and trace the sediments grain size distribution. For this, sediments were collected in three streets in Goiânia City, by the wet vacuuming method. The elements were determined by the energy dispersive X- ray fluorescence (EDXRF) and the particle size analyzed by laser diffraction. The results indicate high concentrations of toxic elements, as Ba (1098 mg/kg), Cr (174 mg/kg) e Zn (280 mg/kg). In general, the decreasing order of concentration elements were found Al > Fe > Ca > K > Ti > S > Ba > Zn > Mn > Cr > Sr > Cu > Zr > V. The elements analyzed

showed a positive Pearson coefficient correlation to the traffic flow, fact not verified to Fe and Al. Particle sizes observed were more than 60% < than 200  $\mu\text{m}$ .

**Key-words:** Urban sediments. Diffuse pollution. Heavy metals. X-Ray Fluorescence.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos urbanos depositados nas superfícies impermeáveis, tais como nos telhados, ruas, avenidas e nos sistemas de drenagem são uma potencial fonte de deterioração da qualidade da água em bacias urbanas. Para Pitt e Burton (2001), as águas pluviais que lavam essas superfícies transportam uma carga de poluentes que pode ser maior que em alguns efluentes, podendo assim causar impactos ainda não mensurados aos corpos de água.

De acordo com Tucci (2003), os poluentes provêm principalmente da deposição atmosférica, da erosão do solo provocada pela velocidade do escoamento, desgaste e lavagem das superfícies, acúmulo, deposição e transporte de resíduos sólidos urbanos, atividades industriais e do tráfego de veículos. Destas principais fontes de poluição, Egodawatta (2007) comentou que o fluxo intenso de veículos nas áreas urbanas é um fator crítico que afeta a concentração dos poluentes depositados na superfície asfáltica, de forma que a maior proporção de elementos tóxicos depositados na superfície está relacionada com o tráfego de veículos.

Dos poluentes gerados pelas atividades urbanas estão, às partículas sólidas, patógenos, nutrientes, carbono orgânico, lixo e detritos, hidrocarbonetos e metais pesados. Dentre estes, os metais pesados são de grande relevância no estudo ambiental devido a sua toxicidade em ecossistemas aquáticos. Os metais comumente encontrados são o Pb, Zn, Fe, Cu, Cd, Cr e Ni, os quais são advindos principalmente da gasolina, desgaste de pneus e de revestimento de freios entre outros (EPA, 1999; PITT e BURTON, 2001; MIGUNTANNA, 2009).

Nesta dinâmica de transporte de sedimentos, vários estudos têm sido desenvolvidos os quais visam determinar a composição dos sedimentos e como são transportados. De acordo com Herngren (2005) e Gunawardana et al. (2011), a composição dos sedimentos varia com uma gama de fatores, tais como, localização geográfica (característica do solo), uso do solo e condições do tráfego. Esses fatores influenciam também na distribuição granulométrica das partículas dos sedimentos no ambiente urbano. Neste tipo de estudo, as partículas mais finas são as mais importantes para contaminação dos sedimentos (VIKLANDER, 1998), uma vez que são concentradoras de metais, devido à alta porosidade e capacidade de troca iônica da estrutura.

Uma das pesquisas pioneiras nesta área foi desenvolvida por Sartor e Boyd (1972) em 12 cidades dos Estados Unidos, que usando o método de aspiração a seco coletaram amostras em ruas com diferentes usos do solo e determinaram a composição e as cargas de poluentes coletadas nas ruas. Eles concluíram que 51,2% de todos os metais pesados e outros poluentes estão concentrados nas partículas < 246  $\mu\text{m}$ , onde os metais encontrados em maiores concentrações foram Zn e Pb.

Ball et al. (1998) em Sydney, Austrália usando o método de aspiração e escovação encontraram que a maior carga de poluentes está adsorvida nas partículas < 70  $\mu\text{m}$  e os metais com maiores concentrações foram o Fe, Pb e Zn.

Deletic e Orr (2005) em Aberdeen, Escócia usando o método de aspiração úmida, analisaram a concentração de metais pesados e outros nutrientes. As maiores concentrações de metais pesados foram encontradas nas frações < 63  $\mu\text{m}$  para Zn, Pb e Cu.

Zhao et al. (2011) em Beijing, China usando aspiração a seco observaram que os metais pesados encontram-se, principalmente, depositados nas partículas < 250  $\mu\text{m}$  (80%), e que as partículas de maior importância no escoamento superficial são < 100  $\mu\text{m}$ .

Ressalta-se que as concentrações e cargas dos poluentes em diversos estudos podem ter uma considerável variação, devido aos diferentes métodos de amostragem e métodos de análise

(DELETIC e ORR, 2005). No entanto, estudos apontam que os sedimentos urbanos possuem altas concentrações de poluentes agregados as suas partículas, sobretudo de metais pesados, os quais são lixiviados das superfícies pela chuva e incorporados ao escoamento superficial, provocando assim poluição das águas pluviais e dos cursos de água.

Desta forma, o conhecimento dos poluentes, da quantidade e do tamanho das partículas é de suma importância para propor medidas compensatórias de conservação dos ecossistemas aquáticos e de subsistência humana, tais como subsídios para projetos de estruturas de tratamento, como bacias de sedimentação e detenção que atuem na remoção de poluentes das águas de drenagem. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo quantificar elementos químicos, sobretudo metais pesados, presentes em sedimentos urbanos, avaliar a relação destes com o fluxo de veículos, verificar a massa acumulada durante os dias e traçar um perfil granulométrico dos sedimentos depositados em três superfícies asfálticas com diferentes tráfegos de veículos e uso do solo, da cidade de Goiânia-Goiás.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de Estudo**

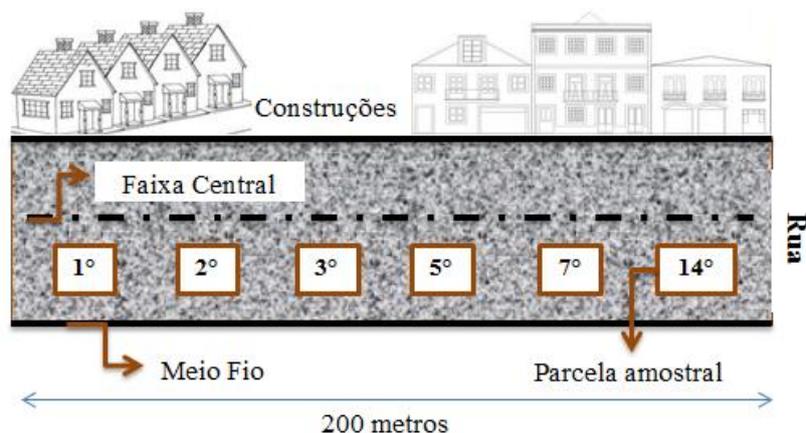
O município de Goiânia com extensão de 733 km<sup>2</sup> é a cidade mais populosa do Estado de Goiás, e com uma população estimada em 1.302.001 milhões de habitantes (IBGE, 2010). A capital tem como principal bioma o Cerrado, o relevo é basicamente constituído por planaltos em uma cota de 740 m com poucos declives onde o solo é arenoso e ácido. O clima é constituído por duas estações distintas com um período chuvoso e outro seco, onde a temperatura varia de 18 °C a 32 °C e a média de precipitação anual entre 1400 mm e 1500 mm.

Em Goiânia foram selecionadas três ruas com distintos tráfegos de veículos e uso do solo. Para eleger locais propícios ao desenvolvimento da pesquisa alguns critérios foram considerados: o mínimo de perturbação para o tráfego de veículos da região e boa acessibilidade a pontos de água e energia. O fluxo de veículo foi determinado pela Ficha de Contagem Volumétrica I, do Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006). A declividade foi determinada pelo programa X- Clinometer em três pontos para cada rua, e através destes foi calculado o valor médio. Para levantamento de dados do uso do solo, foi realizada uma pesquisa in loco com fotos. As ruas adotadas foram Avenida Universitária e Rua 240, ambas no Setor Universitário, e a Viela 1 no Parque Industrial.

### **2.2. Amostragem do sedimento**

O material acumulado na superfície pavimentada foi coletado em campanhas entre agosto e setembro de 2012, usando a técnica de aspiração por via úmida, que consiste na lavagem da superfície com spray ou jato de água e simultânea aspiração. A técnica foi empregada por Bris et al. (1999) e Deletic e Orr (2005), os quais verificaram que a pressão da água contra a superfície desagrega as partículas finas da massa asfáltica, tornando-as mais viáveis de serem aspiradas. Desta forma, a técnica é mais eficiente na remoção de finos comparada a outros métodos como varrição, escovação e aspiração a seco.

As amostras foram coletadas em seis parcelas distribuídas ao longo de 200 m de cada rua durante 14 dias, sendo coletadas amostras no 1°, 2°, 3°, 5°, 7° e 14° dia antecedente a um evento de precipitação (Figura 1), em uma área de 0,5 m<sup>2</sup> delimitada por uma moldura de madeira colocada entre a sarjeta e a faixa central da estrada. Os sedimentos foram coletados na faixa central, pois é onde se encontram as frações mais finas dos sedimentos e onde as substâncias que derramam ou vazam dos veículos sobre a superfície são geralmente encontrados em maiores concentrações (SARTOR e BOYD, 1972; GROTTKER, 1987).



**Figura 1.** Mapa experimental da coleta do sedimento na rua.

Desta forma, sob cada superfície delimitada foi lançado 0,5 litros de água destilada com auxílio de um pulverizador, a qual foi simultaneamente aspirada por meio de um aspirador comercial, modelo Flex S com potência de 1400 W, como ilustrado na Figura 2. As amostras coletada no interior do aspirador foram homogeneizadas e transferidas para frascos de coleta e encaminhadas para análise.



**Figura 2.** Aspectos gerais da coleta de sedimento na parcela amostral de 0,5 m<sup>2</sup>.

### **2.3. Análise das amostras**

As amostras coletadas foram evaporadas em Banho-Maria e depois secas a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 h em estufa de secagem para remover a umidade, e a determinação da massa foi por gravimetria em balança analítica de precisão. Em seguida, os sedimentos foram agrupados para maior representatividade amostral de cada rua e analisados quanto à composição química por Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, do inglês EDXRF.

A técnica EDXRF se baseia na medida da intensidade dos raios-X característicos dos elementos químicos, emitidos pelos componentes da amostra. De acordo com Yeung et al. (2003), é um método rápido, simples e não destrutivo para a análise de diversos elementos traços, sendo uma das técnicas mais usadas na geoquímica na análise de solo e sedimentos.

Das amostras de cada rua foram retiradas cerca de 3 g para análise por EDXRF. As análises foram feitas em duplicata e foram analisados 17 elementos (Si, Al, Fe, Ca, K, Ti, S, Ba, Zn, Mn, Cr, Sr, Cu, Zr, V, Au, Ge) utilizando o método de Parâmetros Fundamentais. Os espectros foram obtidos pelo Espectrofotômetro SHIMADZU, modelo EDX-720 em ambiente de vácuo, e as análises foram conduzidas no laboratório GERX do IQ-UNICAMP.

A matéria orgânica foi determinada por calcinação a 440°C por 4 horas (EPA, 2002).

Para determinar a granulometria, as amostras foram previamente peneiradas em frações maiores que 1000 µm e 500 µm em peneiras de material não metálico. O material retido de cada peneira foi pesado e armazenado separadamente. Da massa passante da peneira de 500 µm foi retirada cerca de 2 g, a qual foi avaliada em um analisador de partículas por difração a laser da Malvern, modelo HYDRO 2000MU pelo software Mastersize 2000, no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) do Instituto de Ciências Sócio-Ambientais da UFG. O procedimento analítico consiste em adicionar um percentual da amostra em um Becker preenchido com cerca de 300 mL de água destilada. Neste ambiente o módulo ultrassom e velocidade de rotação dispersa as partículas e quebra os flocos. Os dados obtidos de distribuição foram tratados no GRADISTAT, um programa estatístico de análise de sedimentos (BLOTT e PYE, 2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características dos sedimentos

Na Tabela 1, são apresentadas as características de cada rua amostrada, a carga de sedimentos acumulada e quantidade de matéria orgânica.

Verifica-se que as ruas possuem características diferenciadas em relação ao uso do solo e tráfego de veículos. A Avenida Universitária apresenta maior tráfego, seguida da Rua 240 e da Viela 1. O serviço de varrição também é uma característica importante, pois interfere na distribuição das partículas e no acúmulo dos poluentes nas superfícies. Esse atua removendo as partículas grosseiras e dispersando as mais finas, tornando-as mais suscetíveis de serem transportadas pelo vento e chuva (VAZE e CHIEW, 2002).

Da carga de sedimentos, observou-se uma relação inversa com o fluxo de veículos, sendo coletada uma carga de 85,8 g/m<sup>2</sup> para a Avenida Universitária, 246,4 g/m<sup>2</sup> para Rua 240 e 361,5 g/m<sup>2</sup> para Viela 1. No entanto, deve-se observar que a rua que obtém maior carga de sedimentos não possui o serviço de limpeza, o que colabora com o maior aporte de sedimentos.

Na Avenida Universitária a variação da carga de sedimentos foi de 8,8 a 21,6 g/m<sup>2</sup> com uma média de 14,3 g/m<sup>2</sup>, na Rua 240 esta faixa foi de 27,7 a 67,9 g/m<sup>2</sup> com uma média de 41,1 g/m<sup>2</sup> e para Viela 1 a variação foi de 11,6 a 80,1 g/m<sup>2</sup> com média de 46,9 g/m<sup>2</sup>.

**Tabela 1** - Descrição da área de estudo e características do sedimento das ruas estudadas

Local	Av. Universitária	Rua 240	Viela 1
VMD* (veículos/dia)	10000	1500	150
Declividade média (%)	2,5	3,7	2,7
Uso do Solo	Comercial; Circulação de ônibus e caminhões; Plantas ornamentais; Pouco solo exposto;	Residencial e comercial; Circulação de caminhões; Muitas árvores; Muito solo exposto;	Residencial; Pouca circulação de caminhões; Poucas árvores; Pouco solo exposto;
Serviço de varrição	Duas vezes por semana	Uma vez por semana	Esporadicamente
Carga de sedimento (g/m <sup>2</sup> )	85,8	246,4	361,5
Matéria orgânica (%)	7,2	20,9	6,1

\*Volume médio diário; \* Carga total coletada nas 6 parcelas;

Resultados similares foram encontrados por Vaze e Chiew (2002), em uma rua próxima ao maior centro de negócios de Melbourne, Austrália, onde a carga de sedimentos que variou de 5,0 a 55,0 g/m<sup>2</sup>. Já nos estudos de Deletic e Orr (2005) Aberdeen, Escócia, em uma rua de uso residencial com circulação de diversos veículos e ônibus, a carga média de sedimentos foi de 101,9 g/m<sup>2</sup>, mais que o dobro da detectada neste estudo. Dotto (2006) em Santa Maria, Brasil encontrou para ruas residenciais uma variação de 4 a 350 g/m<sup>2</sup> na Rua Marquês do Herval e de 10 a 240 g/m<sup>2</sup> na Rua Rigobeto Duarte.

Em relação à matéria orgânica, observa-se que a Rua 240 possui a maior concentração (20,9%), fato que pode estar correlacionado com a maior densidade de árvores presentes na rua em relação às outras ruas amostradas.

### 3.2. Distribuição Granulométrica

Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as frações de sedimentos de cada rua e a curva de distribuição. Na Figura 3 observa-se que para Avenida Universitária e Rua 240 mais de 50% dos sedimentos são < 500 µm; na Viela 1 esse montante é de 33,7% e a fração com maior volume foi a > 1000 µm com 51,7%. Desta forma, os sedimentos mais grosseiros, ou seja, maiores que 1000 µm foram encontrados em maior concentração na sequência Viela 1, Rua 240 e Avenida Universitária respectivamente. Fato que aponta, quanto menor o fluxo de veículos maior as frações dos sedimentos encontradas nas vias, isto também aliado ao fator da varrição.

A Figura 4 expressa a distribuição granulométrica das frações menores que 500 µm, na qual se pode observar que esses sedimentos são compostos predominantemente de argila, silte e areia fina, ou seja, a distribuição das partículas está entre 1-250 µm. Sendo que, pelos dados obtidos no GRADISTAT, 67,1%, 66,9% e 78,0% das frações dos sedimentos são < 250 µm respectivamente para Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1. E ainda destas frações, 25,4%, 28,4% e 41,5 são < 63 µm, ou seja, estão entre argila e silte. A distribuição da Avenida Universitária é unimodal, com pico em 300 µm e da Rua 240 e Viela 1 trimodal, com picos nas frações de silte e areia média. Os diâmetros médios D<sub>50</sub> são 153, 7 µm, 137,1 µm e 85,2 µm, respectivamente, para Avenida Universitária, Rua 240 e Viela 1.

Diversos estudos (WANG et al., 2006; HERNGREN et al., 2006; SUTHERLAND et al., 2012) apontam que as partículas finas têm importante papel na contaminação dos sedimentos urbanos, pois são concentradoras de metais pesados e tem a capacidade de estarem em suspensão e de serem transportadas a longas distâncias pelo escoamento superficial, representando assim riscos aos recursos hídricos.

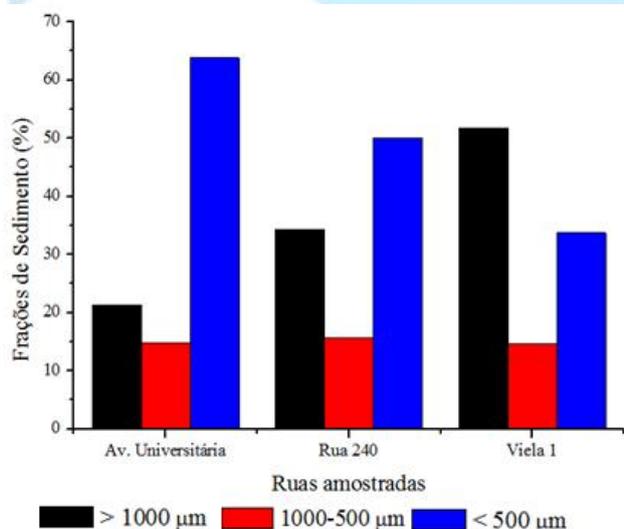


Figura 3. Frações dos sedimentos nas ruas Avenida Universitária, 240 e Viela 1.

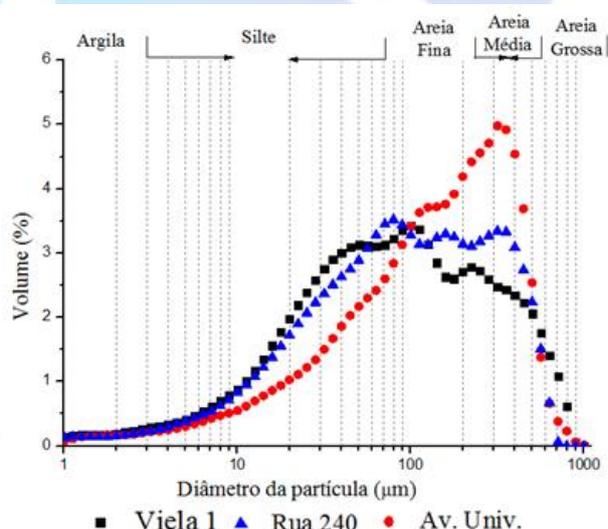


Figura 4. Distribuição Granulométrica dos sedimentos nas ruas estudadas.

### 3.3. Concentração de metais

As concentrações dos 17 elementos detectados nas amostras de sedimento são apresentadas na Tabela 2. Nesta se pode observar que todas as ruas apresentam concentrações de metais, dos quais muitos são considerados tóxicos ao meio ambiente (EPA, 1999; VOLESKY, 2001). Também é possível observar uma relação dos metais com o fluxo de veículos (Tabela 3), pois as maiores concentrações dos elementos analisados foram encontradas na Avenida Universitária, sobretudo para os metais Ca, K, Ti, Ba, Zn, Mn, Cr e Cu, dos quais devem-se destacar as concentrações de 1098 mg/kg, 280 mg/kg, 174 mg/kg e 92 mg/kg respectivamente para Ba, Zn, Cr e Cu, os quais apresentam grande relevância na poluição ambiental. Sendo ainda, importante ressaltar que elementos como Ba e Cr só foram detectados na rua com maior fluxo de veículos.

**Tabela 2** - Concentração média dos elementos químicos detectados nos sedimentos das ruas estudadas, em mg/kg, e comparação com outros estudos

Elementos	Av. Univ. Neste estudo	Rua 240 Neste estudo	Viela 1 Neste estudo	Mong Kok Yeung et al., (2003)	Tai Po Yeung et al., (2003)	Xianyang Shi et al., (2013)
Si	50107	29882	42347	158000	211000	-
Al	<b>36113</b>	22565	33304	13900	24100	-
Fe	18661	10672	23020	14100	12.500	-
Ca	15480	13729	13903	287000	253000	-
K	6832	5224	6165	14100	10600	-
Ti	2466	1458	2330	2970	2340	-
S	1761	1382	1243	-	-	-
Ba	<b>1098</b>	nd*	nd	299	126	-
Zn	<b>280</b>	111	203	4860	3510	375
Mn	226	146	194	512	664	604
Cr	<b>174</b>	nd	nd	177	65	136
Sr	105	52	110	144	153	-
Cu	<b>92</b>	54	72	133	40	132
Zr	66	23	97	180	250	-
V	47	67	85	46	37	-
Au	nd	nd	48	-	-	-
Ge	nd	nd	42	-	-	-

\*Não detectado

Na Viela 1 foram detectadas as maiores concentrações para Fe, Sr, Zr e V, sendo ainda encontrados os elementos Au e Ge, os quais não foram observados nas outras ruas estudadas. A Rua 240 apresentou concentrações intermediárias entre Avenida Universitária e Viela 1.

Yeung et al. (2003), encontraram concentrações similares para Al, Fe, Ti, Cr, Cu, Sr e V em duas ruas de uso comercial e residencial em Hong Kong. Estes dados também são apresentados na Tabela 2 para comparação. Para Cr e Cu os resultados da Rua Mong Kok se assemelham aos da Avenida Universitária. Shi et al. (2013), em ruas da cidade de Xianyang encontraram concentrações superiores para Cu, Zn, Cr e Mn.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r^2$ ) dos metais com o fluxo de veículos (FV). Os coeficientes indicam que os metais analisados possuem uma correlação positiva com o fluxo de veículos, sendo que os metais com melhor correlação foram Ba = Cr > Cu > Zn > Mn. O Fe e Al não apresentaram uma boa correlação.



## 6. REFERÊNCIAS

ALHASSAN, A.J.; SULE, M.S.; ATIKU, M.K.; WUDIL, A.M.; DANGAMBO, M.A.; MASHI, J.A.; IBRAHIM, N.A. Study of Correlation Between Heavy Metal Concentration, Street Dust and Level of Traffic in Major Roads of Kano Metropolis, Nigeria. **Nigerian Journal of Basic and Applied Science**, v. 20, p. 161-168, 2012.

BALL, J.E.; JENKS, R.; AUBOURG, D. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. **The Science of the Total Environment**, v. 209, p. 243-254, 1998.

BLOTT, S.J.; PYE, K. GRADISTAT: A Grain Size Distribution And Statistics Package For The Analysis Of Unconsolidated Sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p. 1237-1248, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. 384 p. Disponível em:<  
[http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_estudos_trafego.pdf)>. Acesso em: nov. 2013.

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. **The Science of the Total Environment**, v. 235, p. 211-220, 1999.

DELETIC, A.; ORR, D.W. Pollution Buildup on Road Surfaces. **Journal of the Environmental Engineering**, v.131, p.149- 159, 2005.

DOTTO, C.B.S. **Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria- RS**. 2006. 126p. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2006.

EGODAWATTA, P. **Translation of small-plot scale pollutant build-up and wash-off measurements to urban catchment scale**. Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Australia, 2007.

EPA. **Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices**. EPA-821-R-99-012. Office of Water (4303). Washington, 1999.

EPA. **Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments**. Washington , 2002.

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. Composition and source identification of road deposited pollutants. **Proceedings of the First International Postgraduate Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing, Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology**, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, p. 151-156, 2011.

HERNGREN, L. **Build-up and wash-off process kinetics of PAHs and heavy metals on paved surfaces using a simulated rainfall**. Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Australia, 2005.

HERNGREN, L; GOONETILLEKE, A.; AYOKO, G.A. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. **Analytica Chimica Acta**, v. 571, p. 270-278, 2006.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. 2011. Disponível em< <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2012.

MIGUNTANNA, N.P. **Nutrients build-up and wash-off process in urban land uses**. Thesis submitted to Faculty of Built Environment and Engineering, Australia, 2009.

PITT, A.; BURTON, R. **Stormwater effects handbook: a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers**. Ed. CRC Press, New York, 2001.

SARTOR, J.D.; BOYD, G.B. Water pollution aspects of street surface contaminants. Office of Research and Monitoring U.S. **Environmental Protection Agency - EPA**, Washington, 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, p. 1973 -1979, 2013.

SUTHERLAND, R.A.; TACK, F.M.G.; ZIEGLER, A.D. Road-deposited sediments in an urban environment: A first look at sequentially extracted element loads in grain size fractions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 225, p. 54-56, 2012.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**. São Paulo Oct. /Dec. v.55, n.4, 2003.

VAZE, J.; CHIEW, F.H.S. Experimental study of pollutant accumulation on an urban Road surface. **Urban Water**, v. 4, p. 379-389, 2002.

VIKLANDER, M. Particle size distribution and metal content in street sediments. **Journal of Environmental Engineering**, v. 124, p. 761-766, 1998.

VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. **Hydrometallurgy**, v. 59, p. 203-216, 2001.

WANG, X.S.; QIN, Y.; CHEN, Y.K. Heavy metals in urban roadside soils, part 1:effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. **Environmental Geology**, v. 50, p.1061-1066, 2006.

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, p. 339-346, 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, p. 7120-7127, 2011.