

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DISTRIBUCIÓN DE CADMIO POR SEDIMENTOS URBANOS EN ÁREAS IMPERMEABLES DE PORTO ALEGRE (BRASIL)

* Leidy Luz García Martínez¹
Cristiano Poletto²
Humberto Tavera Quiroz³

*CADMIUM DISTRIBUTION BY URBAN SEDIMENTS ON
IMPERMEABLE AREAS OF PORTO ALEGRE (BRAZIL)*

Recibido el 8 de mayo de 2012; Aceptado el 7 de septiembre de 2012

Abstract

Urban environments may be considered as sources of pollution and, consequently, important agents in degradation of bodies of water due to the input of a large quantity of substances, which are transported from the drainage basin through surface run-off. Heavy metals, as cadmium (Cd), are subproducts of industrial activities; however, in recent years, studies have shown that even in residential areas results have indicated high concentrations of this element. This study measured the Cd concentrations in 20 composed samples of urban sediments samples collected from an urban basin of 5 km² with three kinds of soil occupation (residential, commercial and industrial) located in the city of Porto Alegre – RS. Concentrations of metal were determined by acid digestion (EPA 3050) in 209, 150, 63 e 45 µm grain size fractions followed by atomic emission spectrophotometry with inductively coupled plasma.

Mean values of 0.5 (± 0.5); 0.62 (± 0.75); 0.87 (± 1.17); 1.12 (± 1.5) e 1.69 (± 2.37) µg.g⁻¹ were obtained for 209, 150, 90, 63 and 45 µm grain size fraction, respectively. Cd concentrations were interpolated (Inverse Distance Weight) and represented geographically using Idrisi© Andes software. The results of the interpolations have permitted to observe high concentrations in the commercial and residential areas, characterized by high fluxes of vehicles most part of the day, so considered a potential source of cadmium. This study is important because it allows the establishment of control objectives within sustainable management of water resources, concerning future scenarios of local water resources.

Key words: Cadmium, diffuse pollution, GIS, urban sediment.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Departamento de Ingeniería Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Toledo)

³ Facultad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana (Campus Montería)

*Autor correspondiente: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Código Postal 91501 – 970. Email: luxgm@yahoo.es

Resumen

Ambientes urbanos pueden ser considerados como fuentes de contaminación y consecuentemente, importantes agentes en la degradación de cuerpos de agua debido al aporte de sustancias, siendo que estas son transportadas a través de la escorrentía superficial. Metales como el cadmio (Cd), son subproductos de actividades industriales, pero en los últimos años estudios han demostrado que aún en áreas residenciales, se han encontrado altas concentraciones de ese elemento. En este estudio, se midieron las concentraciones de Cd en 20 muestras compuestas de sedimentos urbanos colectadas en una cuenca urbana de 5 km² con tres tipos de uso del suelo (residencia/comercial, comercial e industrial), en la ciudad de Porto Alegre – RS. Las concentraciones fueron determinadas por digestión ácida (EPA 3050) en las fracciones 209, 150, 90, 63 e 45 µm seguida de espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente.

Se obtuvieron valores de 0.5 (± 0.5); 0.62 (± 0.75); 0.87 (± 1.17); 1.12 (± 1.5) e 1.69 (± 2.37) µg.g⁻¹ en las fracciones 209, 150, 90, 63 y 45 µm, respectivamente. Las concentraciones de cadmio fueron interpoladas y representadas geográficamente utilizando Idrisi© Andes. Los resultados muestran que las mayores concentraciones están localizadas en la parte residencial/comercial y residencial del área de estudio, caracterizada por presentar alto flujo vehicular la mayor parte del día, siendo considerada una fuente potencial de cadmio. Estudios de este tipo posibilitan el establecimiento de metas de control dentro de un gerenciamiento sustentable de recursos hídricos, permitiendo inferencias sobre los futuros escenarios de polución de los mismos.

Palabras clave: cadmio, polución difusa, sedimentos urbanos, SIG.

Introducción

Con el desarrollo de las civilizaciones y el consecuente crecimiento poblacional, creció también la utilización de los recursos hídricos disponibles. Ya hace algún tiempo, se asocia la urbanización a la polución de los cuerpos de agua, debido a las aguas residuales domésticas no tratadas y a los residuos industriales. Recientemente, se percibió que en áreas urbanas, parte de esta polución tiene origen en la escorrentía superficial que trae consigo una gran carga de sedimentos generados por el proceso de urbanización, influenciada también, por el uso y tipo del suelo, además de las actividades antrópicas realizadas sobre la cuenca hidrográfica. En las partículas de sedimentos, se encuentran elementos trazas comunes en ambientes urbanos, entre ellos una amplia variedad de metales, como el zinc, plomo, cobre, níquel, cadmio y cromo, que son utilizados con frecuencia en actividades industriales y descartados sin ningún control en la red colectora de aguas pluviales o del alcantarillado sanitario. Además, esos metales pueden alcanzar espacios públicos a través de la remoción del polvo por el viento y otros vectores.

Según Poletto y Martínez (2009), los sedimentos constituyen una parte esencial, integral y dinámica de las cuencas hidrográficas, áreas de estuarios y zonas costeras. Por eso, es un recurso que debe ser gerenciado adecuadamente y de forma integral debido a su alto valor ecológico y socioeconómico.

La importancia ecológica de los metales pesados está relacionada a su potencial de acumulación y toxicidad, una vez que tales elementos no son biodegradables y que la mayoría puede ser tóxica para animales y seres humanos, caso sus concentraciones sean suficientemente elevadas.

La toxicidad ocurre en función de varios factores, que incluyen el tipo de organismo, biodisponibilidad de un metal o elemento traza en el ambiente y su potencial de bioacumulación en la cadena alimenticia o trófica (Oliveira, 2003). En ambientes urbanos, los metales pesados son parte de nuestras actividades cotidianas y muchos de ellos entran al ambiente urbano como subproductos de actividades económicas consideradas típicas en cuencas en proceso de urbanización. En el caso del cadmio, frecuentemente aparece como subproducto de la combustión del petróleo y carbón, residuos de llantas y combustión de gasolina. También sirve para la protección contra la corrosión de otros metales como el zinc, cobre y plomo. El cadmio es considerado según la Organización Mundial de la Salud como un contaminante peligroso para la salud humana, ya que está asociado al aumento de cáncer en las vías respiratorias y en la próstata (Valerio *et al.*, 1995).

El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de cadmio distribuida en sedimentos urbanos presentes en áreas impermeables de zonas con diferentes usos del suelo en la ciudad de Porto Alegre (Brasil). Para lo cual se analizaron 20 muestras compuestas de sedimentos urbanos colectadas en diferentes puntos de la Cuenca urbana Tamandaré (que drena para el Lago Guaíba). Las concentraciones del Cd fueron determinadas en diferentes fracciones granulométricas de los sedimentos con el fin de establecer una correlación, posteriormente fueron representados geográficamente mediante un SIG valores correspondiente a la fracción $< 63 \mu\text{m}$, considerada por diversos estudios como aquella que presenta la mayor adsorción de metales.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio escogida está localizada entre el centro y la parte norte de la ciudad de Porto Alegre, capital del estado de Rio Grande do Sul, al sur de Brasil (Figura 1). Koppen (1936), el clima en la región es templado, subtropical y húmedo. El área de estudio está dentro de la sub-cuenca urbana Almirante Tamandaré que drena hacia el Lago Guaíba y está georeferenciada entre las coordenadas 476561.77 E; 6676956.05 S y 481482.71 E; 6682109.55 S. Dentro del área de estudio se escogieron tres áreas representativas de los usos del suelo predominantes en la ciudad: industrial (3.0 Km^2), comercial (1.02 Km^2) y residencial/comercial (0.83 Km^2), conforme es presentado en la Figura 2. Los límites del área de estudio representan avenidas de alto volumen vehicular.

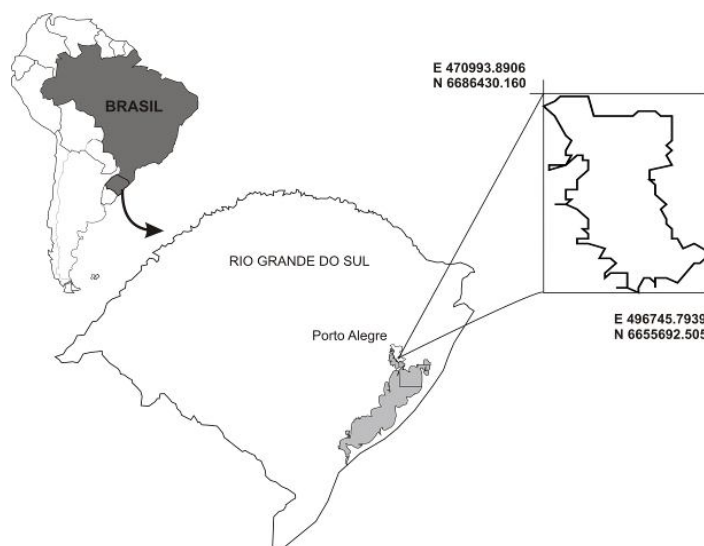


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

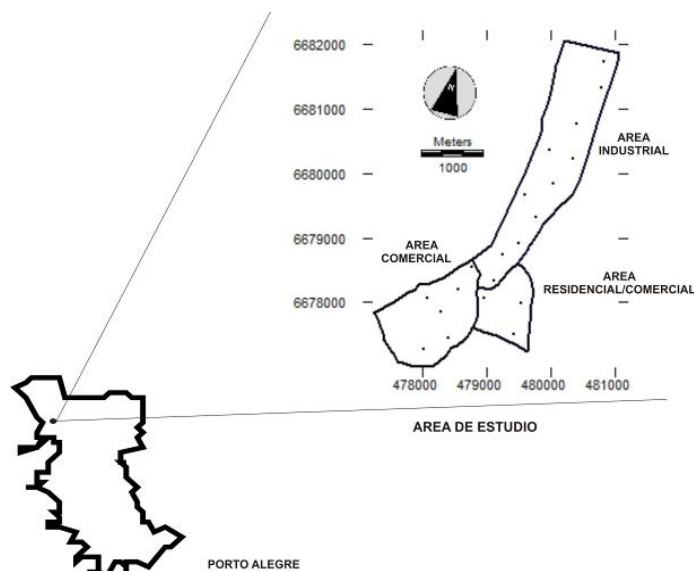


Figura 2. Área de estudio

Monitoreo sedimentológico

Fueron colectadas muestras compuestas de sedimentos acumulados sobre las vías del área de estudio. Las muestras fueron el resultado de la composición de varias sub-muestras de sedimento seco colectadas en un área de aproximadamente 200 m² para cada punto escogido (disminuyendo así la influencia de fuentes puntuales de polución), conforme se presenta en la Figura 3 y siguiendo una metodología similar a las utilizadas por Poleto *et al.*, 2009; Yetimoglu *et al.* (2008); Banerjee, (2003); Charlesworth *et al.*, (2003). Fueron colectados por cada punto aproximadamente 500g de sedimento seco (Poleto *et al.*, 2009; Sutherland, 2003).

Las muestras fueron colectadas usando un aspirador de polvo portátil sin piezas metálicas y que facilitara la colecta de las muestras sin el contacto manual directo y garantizara que las partículas más finas fueran colectadas. Las muestras colectadas fueron depositadas en sacos plásticos y refrigeradas para la realización posterior de los análisis físicos y químicos.

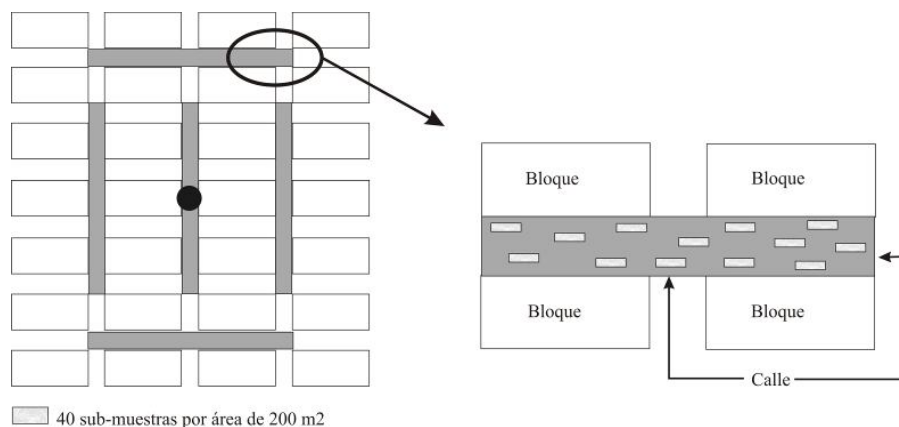


Figura 3. Puntos de colecta de muestras. Adaptado de: Poleto et al. (2009)

Análisis de cadmio por fracción granulométrica

Cada muestra colectada fue sometida a tamizaje (tamices sin partes metálicas), utilizando mallas de aberturas de 45, 63, 90, 150 y 209 μm , conforme a la metodología empleada por Banerjee (2003) y Charlesworth et al. (2003) y que muestra la separación de las fracciones granulométricas más importantes para estudios de calidad de sedimentos urbanos.

Las muestras fueron sometidas a una digestión ácida, conforme a la metodología de la U. S. Environment Protection Agency (EPA 3050). Esos análisis fueron realizados por duplicado y se utilizaron dos materiales de referencia de la USGS para control de calidad. Posteriormente las concentraciones totales de los metales fueron determinadas por espectroscopia de emisión inductiva de plasma acoplado (ICP-OES) en un equipo de marca Perkin Elmer.

Interpretación de los resultados

Fue calculada la estadística descriptiva de los datos de concentración obtenidos de los análisis químicos y posteriormente, fue aplicada una regresión de las concentraciones en función del tamaño de partícula con el fin de establecer una correlación entre estas dos variables, ampliamente mencionada en los estudios de este tipo. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software XLSTAT® v. 2009. Los valores de cadmio de la fracción < 63 μm fueron interpolados mediante el método IDW (*Inverse Distance Weight*) y el resultado fue representado a través de un mapa temático utilizando el SIG Idrisi® Andes.

Resultados y discusión

Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio en las muestras de sedimentos

Los valores de concentraciones de Cd obtenidos en las 20 muestras de sedimentos son presentados en la Tabla 1. Se observa que los valores mínimos son iguales para todas las aberturas de mallas y que los valores máximos aumentan en las partículas más finas. Los coeficientes de asimetría de Fisher ($\alpha = 0,05$) muestran que las distribuciones de los valores de cadmio para cada fracción fueron asimétricas a la derecha, por causa de los picos de concentración encontrados en cada fracción.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las concentraciones de cadmio

Estadística	Abertura de malla (μm)				
	209	150	90	63	45
Mínimo	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Máximo	2.200	3.100	5.000	6.400	8.600
Mediana	0.350	0.300	0.450	0.600	0.700
Promedio	0.500	0.620	0.865	1.125	1.685
Desviación estándar	0.498	0.755	1.173	1.531	2.367
Coefficiente de asimetría (Fisher)	2.562	2.569	2.903	2.746	2.546

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Charlesworth *et al.* (2003) en la ciudad de Coventry (Inglaterra), con valores máximos de $8.9 \mu\text{g.g}^{-1}$ en la fracción $< 63 \mu\text{m}$. Los valores de concentración de cadmio fueron correlacionados ($\alpha = 0,05$) con la abertura de las mallas a través de un modelo lineal, sin embargo los resultados mostraron una pobre correlación, establecida por el valor del coeficiente de regresión ($R^2 = 0,064$). Lo cual es explicado por el hecho de que la mayoría de los valores están por fuera del intervalo de confianza estadístico (95%), sobre todo en las fracciones menores a $90 \mu\text{m}$. El modelo que mejor explicó la correlación entre las dos variables fue el potencial. El modelo matemático obtenido en esa regresión se presenta en la Ecuación (1).

$$Y = 27.79X^{-0.76}$$

Ecuación (1)

Donde

X: diámetro de la partícula (μm)

Y: Concentración de cadmio ($\mu\text{g/mg}$)

Los resultados demuestran que los sedimentos urbanos están enriquecidos con Cd, sobre todo, en la fracción fina de las partículas. De forma similar a los sedimentos en otros ambientes, el aumento en la carga de poluentes en partículas de tamaños más finos está generalmente asociado al incremento del área superficial en las partículas de menor tamaño, ofreciendo mayor espacio para la adsorción de metales en minerales de arcillas o en la materia orgánica presente en las partículas de sedimento.

Los valores de cadmio obtenidos en este estudio también están encima de los valores máximos establecidos por la norma Canadiense (*Guideline*) que establece un valor de $0,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ en sedimentos, para preservar la manutención de los ecosistemas acuáticos. Pero no superan el valor de $10 \mu\text{g.g}^{-1}$ de la misma norma, lo cual presupone que puede ocasionar un efecto severo en el ecosistema. De igual forma, existe la necesidad de averiguar la influencia del “background” local. Como el área de estudio es densamente urbanizada, no fue posible encontrar una muestra naturalmente preservada (sin cualquier interferencia antrópica), por eso se considera que los datos obtenidos en los estudios de Poletto y Merten (2005) y Poletto *et al.* (2008), en la región metropolitana de Porto Alegre, como forma de referencia. El valor encontrado por los Autores es de $0.07 \mu\text{g.g}^{-1}$, configurando, por lo tanto, enriquecimiento antrópico.

Distribución espacial de cadmio en el área de estudio

La Figura 4 muestra la distribución de las concentraciones de cadmio en la fracción $<63 \mu\text{m}$ sobre el área de estudio.

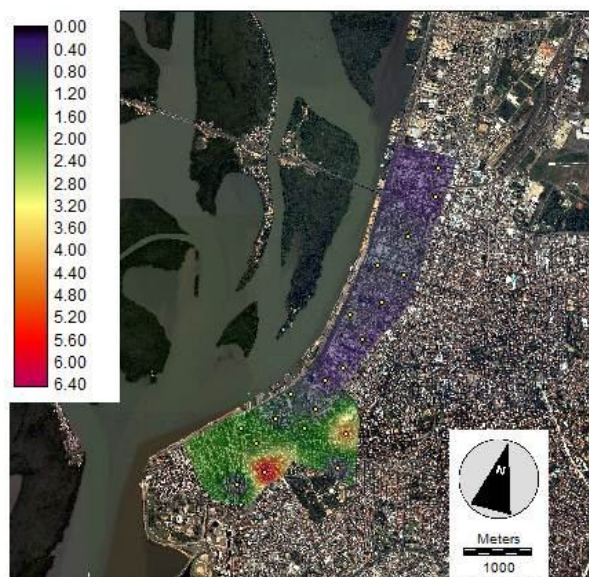


Figura 4. Distribución espacial de Cadmio ($\mu\text{g.g}^{-1}$) en sedimentos urbanos de Porto Alegre

Las concentraciones más elevadas son encontradas en las zonas residencial/comercial y comercial (valores sobre $3 \mu\text{g.g}^{-1}$), resultado que se esperaba encontrar en la zona industrial en función del uso del suelo en esta área, donde predominan empresas dedicadas al almacenamiento y transformación de metales y a la manutención de vehículos. En esta última se emplean sustancias como aceite de carros y pintura, las cuales poseen elevadas concentraciones de cadmio. Según Kremová *et al.* (2009) y Charlesworth *et al.* (2003), aún es difícil establecer la fuente principal de cadmio en los sedimentos urbanos, sin embargo, algunos estudios sugieren que la presencia de este metal junto con el zinc está asociada a residuos de llantas, la cual está directamente asociada con el volumen de tráfico vehicular.

Es importante mencionar tres aspectos que pueden explicar la presencia y las altas concentraciones de cadmio en el área residencial/comercial. Inicialmente, el tráfico vehicular en la zona residencial del estudio se considera mayor que en el resto, toda vez que esta presenta una frecuencia de movimiento vehicular durante toda la semana, mientras que en las otras por ser estrictamente dependiente del comercio, disminuye su volumen durante el final de la semana. Otro aspecto que probablemente influyó ese resultado, fue el tiempo de residencia del sedimento, mencionado por Charlesworth *et al.* (2003) y Banerjee (2003), ya que en el área de influencia de los puntos de mayor concentración de cadmio se encuentran vías consideradas secundarias, cuya frecuencia de barrido se limita a una vez por mes o cuando alguna persona solicita el servicio a la Empresa de Limpieza Urbana. Por último, se puede considerar el hecho de que en las zonas con vocación residencial/comercial, los vehículos permanecen estacionados normalmente por un tiempo prolongado sobre las vías, lo cual aumenta el contacto de residuos de vehículos como el aceite del motor con las partículas de sedimentos. Las concentraciones de cadmio encontradas coinciden con los valores citados por Charlesworth *et al.* (2003) en la ciudad de Coventry (Inglaterra) y de otras ciudades citadas por los autores en el mismo trabajo como es el caso de Nueva York, Seúl y Londres.

Conclusiones

Los valores máximos fueron encontrados en las partículas más finas de las 20 muestras de sedimentos urbanos colectadas, independientemente del lugar de origen de la muestra. El modelo matemático que mejor ajustó la concentración de cadmio y el tamaño de la partícula fue el potencial. Los valores más altos estuvieron en el área comercial/residencial, situación que puede ser explicada en función del volumen de tráfico vehicular y del tiempo de residencia de las partículas de sedimentos. Estas concentraciones superan en algunos puntos los límites establecidos por normas internacionales y en mucho la concentración de “background” adoptada.

Referencias bibliográficas

- Banerjee, A.D.K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 23, 2003, pp. 95 – 105.
- Charlesworth, S.M.; Everett, M.; McCarthy, R.; Ordoñez, A.; de Miguel, E. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International*, 29, 2003, pp. 563 -573.
- Horowitz, A.J.; Elrick, K.A.; Smith, J.J. Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: Methodological considerations as applied to the NASQAN programme. *Hydrological Processes*, **15**, 2001, pp. 1107 – 1132.
- Kremová, K.; Robertson, D.; Cvecková, V.; Rapant, Stanislav. Road deposit-sediment, soil and precipitation (RDS) in Bratislava, Slovakia: Compositional and spatial assessment of contamination. *Journal of Soils and Sediments*, **9**, 2009, pp. 304 – 316.
- Oliveira, J.A. *Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do parque estadual turístico do alto ribeira (PETAR)*. São Carlos, 116 p., 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos.
- Poleto, C.; Bortoluzzi, E.; Charlesworth, S.; Merten, G. Urban sediment particle size and pollutants in Southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, **9**, 2009, pp. 317 – 327.
- Poleto, C.; Merten, G.H. Otimização do Uso de Metodologia de Digestão Ácida Total de sedimentos para a identificação de fontes de sedimentos urbanos. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 16p., 2005.
- Poleto, C.; Merten, G.H. Elementos traço em sedimentos urbanos e sua avaliação por Guidelines. *Holos Environment*, **8**(2), 2008, pp. 100 – 119.
- Poleto, C.; Martínez, L.L.G. Introdução aos Estudos de Sedimentos. In: Poleto, C. *Introdução ao Gerenciamento Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009.
- Sutherland, R. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. *Environmental Pollution*. Núm. 121, 2003, pp. 229 – 237.
- Taylor, K. Urban Environments. In: Taylor, K. & Perry, C. (Org.) *Environmental Sedimentology*. Manchester: Blackwell, 2007. pp. 191 – 222.
- Valerio, F.; Pala, M.; Piccardo, M.T.; Lazzarotto, A.; Balducci, D.; Brescianini, C. Exposure to airborne cadmium in some Italian urban areas. *The Science of the Total Environment*, 172, 1995, pp. 57 – 63.
- Yetimoglu, S.; Ercan, O. Multivariate Analysis of Metal Contamination in Street Dusts of Istanbul D-100 Highway. *Journal Brasileiro da Sociedade Química*, **19**(7), 2008, pp. 1399 – 1404.