



ACUMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS ADERIDOS EM SARJETAS DE VIAS URBANAS

José Arimathea Pereira Junior¹; Alexandre Silveira²; Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro³; Flávio Aparecido Gonçalves⁴

RESUMO --- O objetivou-se investigar a acumulação de sedimentos secos sobre superfícies impermeáveis, sua caracterização e a relação da ocupação urbana na produção de sedimentos secos, coletados nas sarjetas de um loteamento em Poços de Caldas (MG). Especificamente buscou-se quantificar a massa média de sedimentos acumulados; caracterizar a distribuição granulométrica dos sedimentos acumulados; identificar a ocorrência dos metais traço Zn, Cu, Ni, Cd, Cu e Pb presentes nas frações de diâmetro menor ou igual a 63 μ m. As amostras da fração de diâmetro menor do que 63 μ m foram submetidas a análises através de EDXRF e ICP-OES para o identificação dos metais traço. Foi concluído que a aplicação do método de varrição a seco possibilitou a obtenção de amostras em condições de serem analisadas. Verificou-se que as zonas com maior área de lotes construídos apresentaram o maior acúmulo de sedimentos secos enquanto áreas sem ocupação apresentaram menor massa sedimentos acumulados. A análise das curvas granulométricas das amostras demonstrou que a granulometria média (d50) encontra-se na faixa granulométrica de areia média. As análises de metais permitiram identificar a presença de metais traço presentes na área estudada: Cr (735,2mg.m⁻²), Cd (137,9mg.m⁻²); Pb (3676mg.m⁻²); Zn (2297,5mg.m⁻²); Ni (1072,5mg.m⁻²) Cu (495mg.m⁻²); As (2722,5mg.m⁻²) e Sn (825mg.m⁻²).

ABSTRACT --- In this study dried sediments collected in the gutters in the city of Poços de Caldas (state of Minas Gerais, Brazil) were analysed.. Main goal of this study was to investigate the process of accumulation of dry sediments on impervious surfaces, characterize the sediments and find how this process relates with the urban occupation. More specific goals were to quantify the average mass and characterize the granulometric distribution of accumulated sediments and identify the occurrence of trace metals Zn, Cu, Ni, Cd, Cu and Pb in the fraction of sediments with diameter smaller or equal to 63 μ m. Samples of the sediment fraction smaller than 63 μ m of diameter were subjected to analysis by EDXRF and ICP-OES for the identification of trace metals. It was concluded that the dry-sweeping method allowed to obtain samples which were able to be analysed.. The granulometric curves showed that the average particle size (d50) is in the “average sand” particle size range. The metals analysis allowed to identify the presence of trace metals in the

¹ Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas/ Campus Poços de Caldas, Rodovia José Aurélio Vilela, 11999. Poços de Caldas – (MG). Email: jjuniorarq@hotmail.com

² Professor Dr. Universidade Federal de Alfenas/ Campus Poços de Caldas, Rodovia José Aurélio Vilela, 11999. Poços de Caldas – (MG). Email: alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br

³ Professor Dr. Universidade do Algarve/ Instituto Superior de Engenharia/ Campus da Penha, 8005-139. Faro. Portugal. Email: jisidoro@ualg.pt

⁴ Professor Dr. Universidade Federal de Alfenas/ Campus Poços de Caldas, Rodovia José Aurélio Vilela, 11999. Poços de Caldas – (MG). Email: flavio.goncalves@unifal-mg.edu.br

studied area: Cr (735.2 $\mu\text{g.m}^{-2}$), Cd (137.9 $\mu\text{g.m}^{-2}$); Pb (3676 $\mu\text{g.m}^{-2}$); Zn (2297.5 $\mu\text{g.m}^{-2}$); Ni (1072.5 $\mu\text{g.m}^{-2}$) Cu (495 $\mu\text{g.m}^{-2}$); As (2722.5 $\mu\text{g.m}^{-2}$) and Sn (825 $\mu\text{g.m}^{-2}$).

Palavras-chave: poluição difusa, granulometria, metais traço.

INTRODUÇÃO

No contexto do saneamento urbano, por mais abrangentes que sejam as políticas públicas específicas e por maior que tenham sido os esforços nas esferas política, técnica e econômica para conter e controlar a poluição urbana, ainda é insipiente a atenção que se dá em relação à poluição difusa proveniente da ocupação urbana em geral e principalmente nas pequenas e médias cidades brasileiras (Prodanoff, 2005). A poluição difusa ocorre com a urbanização havendo introdução de novas fontes de poluentes com o consequente aumento de cargas. Tem sido verificado que as áreas impermeáveis urbanas acumulam poluentes nos períodos entre os eventos de chuva (Batista *et al.*, 2005; Prodanoff, 2005; Dotto, 2006; Poleto, 2007) e que esses poluentes são lavados das superfícies sendo rapidamente direcionados aos sistemas hídricos através do escoamento superficial. Na origem desses poluentes estão a circulação de automóveis com emissão de hidrocarbonetos, metais, óxidos de nitrogênio e desgaste dos pavimentos; atividades de indústrias com produção de metais e micropoluentes orgânicos; excretas animais gerando matéria orgânica proveniente de dejetos, bactérias e vírus; resíduos sólidos urbanos tais como plásticos, metais, poeira; a erosão de solos e canteiros de obras (matéria em suspensão) e vegetação onde ocorre lançamentos de matéria orgânica, fertilizantes, pesticidas e herbicidas (Batista *et al.*, 2005). Dos poluentes gerados, tem especial interesse os metais traço por ser um grupo de elementos associados à poluição, contaminação e toxicidade no meio ambiente.

Este estudo tem como objetivo contribuir para o conhecimento das características poluidoras decorrentes de fontes difusas em ambiente urbano visando o desenvolvimento de metodologias de controle, gestão e melhoria da qualidade das águas que cortam áreas urbanas através do conhecimento do fenômeno de acumulação, distribuição granulométrica e carga de metais traço potencialmente disponíveis como poluentes aportados aos cursos d'água.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

As campanhas de amostragem foram realizadas em algumas das vias de tráfego de um loteamento recentemente implantado no Município de Poços de Caldas, MG, denominado Jardim

Santa Teresa. Este loteamento tem apresentado acelerada ocupação por uso predominantemente residencial (Figura 1Figura 1).

O Loteamento possui 23,8 ha de área total, sendo parcelado em 319 lotes compondo um total de 9,3 ha de lotes e sua área pavimentada de ruas totaliza 5,08 ha. As áreas permeáveis definidas pela legislação pertinente (área de preservação permanente e área verde) compõem 8,4 ha da superfície do loteamento constituindo, portanto, 24% do bairro. Estas áreas permeáveis encontram-se cobertas por vegetação nativa e exótica primárias em estágio inicial de regeneração tendo ocorrido o enriquecimento vegetal por meio de espécies arbóreas nativas plantadas como medida compensatória para aprovação do loteamento.



Figura 1 - Localização da área de estudo, Jardim Santa Teresa, Poços de Caldas (MG).

As vias do loteamento são totalmente asfaltadas e com sistema de drenagem pluvial totalmente concluído. As sarjetas foram executadas em concreto e apresentam bom estado de conservação. Nas vias onde as coletas de amostras foram realizadas não há ocorrência de erosões e depressões que impeçam o escoamento adequado das águas ou que acumulem sedimentos de maneira desigual.

Coleta de sedimentos urbanos

Para obtenção das amostras utilizou-se método de varrição a seco adaptando-se metodologia citada em Charlesworth et al. (2003). As coletas foram executadas em um período (entre 21/05/2013 a 27/08/2013) tipicamente seco para a região onde se situa a cidade de Poços de Caldas (MG).

As campanhas de amostragem ocorreram entre intervalos (mínimo de 7 dias) suficientes para se permitir um adequado tempo de acumulação de sedimentos nas seções, possibilitando a obtenção de massa de sedimentos em quantidade necessária para as análises, garantindo melhor desempenho do método de varrição a seco e obtenção de amostras suficientes para serem submetidas ao

peneiramento a seco em agitador eletromagnético. As coletas foram sempre realizadas considerando-se que fossem precedidas de um período mínimo de 24hs sem ocorrência de chuvas, o suficiente para possibilitar a obtenção de amostras secas.

Para a obtenção das amostras, as vias estudadas foram divididas 12 seções, rearranjadas em cinco zonas, considerando-se para essa divisão a continuidade das superfícies, a similaridade de declividade e/ou as características de geometria das vias procurando-se estabelecer zonas homogêneas em termos de potencial de acumulação de sedimentos.

Na Tabela 1 está apresentada as características de declividade de cada zona e as seções relativas à cada uma das vias.

Tabela 1 – Identificação das zonas e seções em relação às vias.

ZONAS	VIAS	INCLINAÇÃO DAS VIAS (%)	SEÇÕES
Z1	Rua 8	10	S1 e S2
Z1	Rua 8	7	S3 e S4
Z2	Av. A até rua 9	10	S5 e S6
Z3	Rua 4 e rua 5	7	S7 e S8
Z4	Rua 2	9	S9
Z4	Rua 9	4	S10
Z5	Rua 3 entre as ruas 4 e 9	7	S11 e S12

As zonas de amostragem possuem as ocupações indicados na Tabela 212, ocorrendo uso predominantemente residencial.

Tabela 21 – Relação entre as zonas e as respectivas tipologias de ocupação.

Zonas de amostragem	Lotes construídos	Lotes em construção	Lotes sem ocupação	Lotes construídos (%)	Lotes em construção (%)	Lotes sem ocupação (%)
Zona 1	23	19	27	33,33	27,54	39,13

Zona 2	27	11	24	43,55	17,74	38,71
Zona 3	8	3	12	34,80	13,03	52,17
Zona 4	16	4	13	48,50	12,10	39,40
Zona 5	6	2	9	35,20	11,80	53,00

As seções de amostragem nas sarjetas das vias foram definidas com área de 1m² (1,0m x 1,0m) (Figura 2) sendo que nessa área está inclusa a sarjeta e parte do pavimento asfáltico tendo-se por objetivo coletar a maior parte dos sedimentos acumulados nessa seção da via segundo conceitos apresentados por Butler & Clark (1995), embora Charlesworth (2003) cite trabalhos que afirmam que a maior parcela de sedimentos estão localizadas no centro das vias.

Uma vez definidas, as seções foram numeradas de modo a garantir que exatamente as mesmas áreas seriam objeto de amostragem durante as campanhas. O monitoramento das mesmas seções em todas as campanhas teve como objetivo verificar o acúmulo de sedimentos em pontos conhecidos durante todo o período de amostragem, possibilitando-se assim que o acúmulo de massa ocorresse sobre as mesmas condições de conservação da superfície amostrada, declividade e tipo de ocupação da via, influência de ventos e drenagem pluvial.

A

Figura 3 apresenta de forma esquemática onde estão localizadas as zonas e suas respectivas seções dentro da área de estudos. São ainda indicadas as áreas permeáveis definidas como áreas de preservação permanente, equipamentos comunitários e área verde legal e a localização do reservatório de detenção.



Figura 2 - Procedimento para demarcação das seções (A) e coleta de sedimentos por varrição a seco (B).

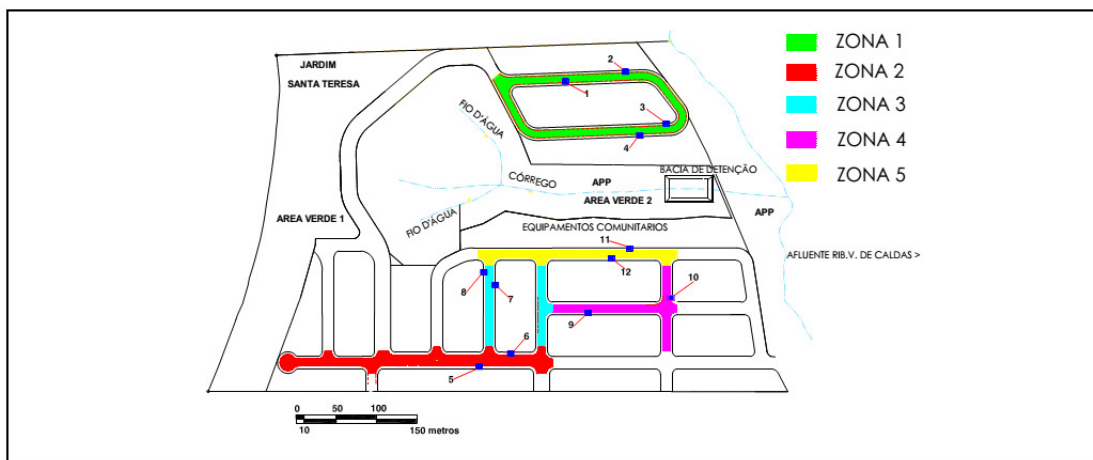


Figura 3 - Loteamento Jardim Santa Teresa com indicações das zonas e seções de amostragem.

Para a coleta de sedimentos foi usado método de varrição a seco utilizando-se de trincha de 170mm de largura com cerdas de nylon, escova de cerdas de nylon e pincel de 75mm de cerdas de pelo animal. O método de varrição com a utilização de escovas é mencionado no estudo de Charlesworth et al. (2003).

Para efeito de orientação quanto à forma de coleta, os sedimentos foram classificados como “Não-Aderidos” (NA) e “Aderidos” (A). Os sedimentos “Não Aderidos” foram classificados como sendo aqueles que foram coletados a partir da primeira varrição com a trincha de 170mm, sendo o material mais facilmente recolhido, apresentando-se solto sobre a sarjeta e incluindo material mais grosseiro (brita e cascalho). Nessa fração de sedimentos tomou-se o cuidado de remover eventuais folhas, pedras de dimensão maior do que britas e resíduos urbanos. Uma vez limpa a superfície da sarjeta pela ação da varrição mais grosseira, a mesma área foi ligeiramente escovada com escova de cerdas de nylon tentando-se aplicar o mesmo esforço sobre a escova durante todo o período de amostragem (Zafra et al., 2009), utilizando-se assim, energia suficiente para desprender a porção de sedimentos aderidos ao pavimento sem, no entanto, provocar o desprendimento de material das sarjetas ou do pavimento asfáltico, de modo a garantir que fossem recolhidos somente os sedimentos que foram naturalmente acumulados durante os períodos entre coletas. Uma vez escovada a superfície da seção utilizou-se o pincel de 75mm para varrição mais fina dos sedimentos desprendidos, classificados como “Aderidos”. Os sedimentos varridos foram coletados com uma pá de material plástico, acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados informando data, número da seção amostrada, tipo de sedimento e, posteriormente, armazenados em caixas térmicas secas.

Ao final do processo de coleta foi possível obter-se o total dos sedimentos acumulados nas seções incluindo-se as frações grosseiras que ficam soltas e as mais finas que tendem a ficar aderidas à superfície quando secas. Durante as campanhas foram geradas 240 amostras nas 12 seções que constituíam as 5 zonas sendo 120 amostras de sedimentos “NA” e 120 amostras de sedimentos “A”.

Neste trabalho serão apresentados somente os resultados das análises dos dados amostras de sedimentos “A”.

Análises

Obteve-se a massa média de sedimentos de diâmetro $\leq 63\text{mm}$ (fração fina) acumulados em cada campanha conforme Equação 1.

$$M_f = \frac{M_{fc}}{N_s \cdot A} \quad (1)$$

Em que:

M_f = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha (g/m^2).

M_{fc} = massa total de sedimentos de fração fina acumulados em cada campanha ($M_{fc}=\text{NA}+\text{A}$ de diâmetro $< 63\text{mm}$) nas campanhas (g).

N_s = número de seções (igual a 12).

A = área de cada seção igual a 1 m^2 .

Multiplicando-se M_{fc} pela área total de sarjetas da área de estudos (S_t), obteve-se a massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha, conforme Equação 2.

$$M_{fa} = \frac{M_f \cdot S_t}{1000} \quad (2)$$

M_{fa} = massa média de sedimentos de fração fina acumulados nas superfícies da área de estudos em cada campanha (kg).

M_f = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha (g/m^2).

S_f = área total de sarjetas na área de estudos, considerando-se o produto da extensão do perímetro de sarjetas (em metros) multiplicado por 1 metro.

Para a realização da análise granulométrica utilizou-se um Agitador Eletromagnético de Peneiras para Análises Granulométricas da marca Bertel. As amostras de sedimentos foram previamente secas em estufa a $105^\circ C$ por 24 horas para remover toda a umidade (Dotto, 2006). A determinação da distribuição granulométrica de cada amostra foi feita utilizando-se seis peneiras (63mm; 125mm; 250mm; 600mm; 1180mm e 2000mm) seguindo metodologia empregada em Dotto (2006).

Após o processamento no Agitador Eletromagnético de Peneiras, a fração de diâmetro menor ou igual a 63mm das amostras foram encaminhadas aos laboratórios da INB (Indústrias Nucleares do Brasil) com sede em Caldas, MG onde as amostras foram submetidas a análises para determinação da concentração e tipos de metais presentes. Foram empregadas duas metodologias para análise das amostras: (i) Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) e (ii) Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma de Argônio Indutivamente acoplado (ICP-OES).

As amostras foram, também, submetidas a análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) para a determinação da composição mineralógica dos sedimentos. Para determinar a carga total de metais traço mais comuns em áreas urbanas (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), as amostras foram submetidas a análise por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

O emprego dos dois métodos permitiu obter uma rápida identificação dos elementos e caracterização mineralógica das amostras em termos de elementos constituintes (EDXRF) e a caracterização da carga total de metais em massa por metro quadrado de sarjeta (ICP-OES).

Para análise através do ICP-OES, as amostras foram preparadas executando-se a fusão em Bico de Mercker por 30 minutos da massa de amostra mais 2g de fundente ($Li_2B_4O_7$ - Tetraborato de Lítio). A pérola resultante da fusão foi dissolvida em 25 mL de ácido nítrico (1:1) em chapa de aquecimento. O material foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água destilada. Na análise por ICP-OES, utilizou-se curva de calibração montada a partir de branco com matriz resultante da fusão/dissolução nítrica e adição de solução-padrão dos metais analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da massa total de sedimentos, descritos por seção, por zona e por campanha, estão apresentados na Figura 44 e na Tabela 3.

A partir dos dados calculados verificou-se que, em média, as sarjetas das zonas analisadas acumularam em suas superfícies massas de sedimentos que variaram de 4,95kg a 322,44kg em cada campanha de coleta. O cálculo da massa média de sedimentos acumulados nas sarjetas de cada zona por campanha é relevante para a quantificação dos poluentes relacionados aos sedimentos, constituindo-se em dado importante na gestão e controle da qualidade dos cursos d'água urbanos. Essas massas de sedimentos potencialmente irão aportar ao curso d'água durante eventos de chuva, carreando materiais granulares e poluentes inorgânicos associados principalmente com partículas de pequenos diâmetros, podendo provocar efeitos agudos (curto prazo) tais como aumento da turbidez, depleção de oxigênio dissolvido e/ou efeitos potenciais cumulativos (longo prazo) tais como assoreamento do leito dos cursos d'água e toxicidade por metais traço entre outros poluentes de baixa degradabilidade.

Analisando-se os valores de M_Z verificou-se que Z1 apresentou a maior massa média de sedimentos acumulados por zona por campanha ($314,08\text{g/m}^2\cdot\text{campanha}$). Isso pode ser atribuído ao fato de que Z1 possui a maior taxa de área de lotes em construção em relação às outras zonas (27,19%). A maior taxa de execução de obras em Z1 e sua configuração de via em forma de alça favoreceram a maior movimentação e concentração de veículos e eventuais lançamentos de materiais de construção sobre as sarjetas, fatos muito comuns quando se tem esse tipo de atividade e considerando a metodologia de construção predominante no país.

Quando se compara a taxa de área de lotes sem ocupação, entre as zonas de estudo, verifica-se que, embora Z1 possua área de lotes sem ocupação semelhante à Z2 e Z3 (Figura 4), Z1 acumulou cerca de 6 vezes mais sedimentos do que as zonas citadas, o que reforça a análise de que a variável mais significativa para o maior acúmulo de sedimentos em Z1 é o tipo de ocupação caracterizado pela taxa mais elevada de construções no local.

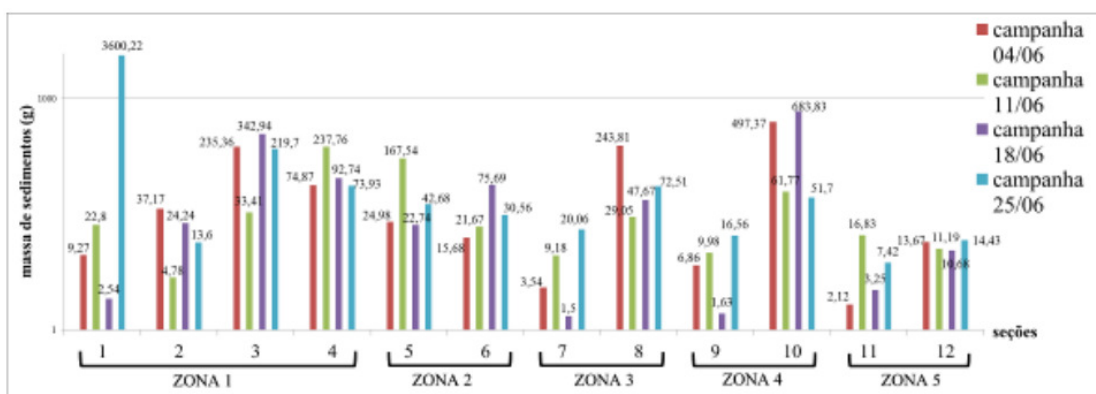


Figura 4 - Comparação entre as massas totais de sedimentos coletadas nas campanhas de 04/06 a 25/06 (gráfico em escala mono logarítmica).

Tabela 3- Cálculo da massa média de sedimentos acumulados nas superfícies das zonas

Zonas	M_z ($g/m^2 \cdot \text{campanha}$) (Equação 1)	S (m^2)	M ($kg/\text{campanha}$) (Equação 2)
Z1	314,08	1026,60	322,44
Z2	50,19	1012,48	50,82
Z3	53,42	393,29	21,01
Z4	166,21	464,62	77,23
Z5	9,95	497,78	4,95

Obs.: M_z = massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha

S = área de sarjetas em cada zona

M = massa média de sedimentos acumulados nas sarjetas de cada zona por campanha

Comparadas Z2 e Z3 verifica-se que essas zonas possuem taxas semelhantes de acúmulo de sedimentos e ocupação dos lotes, porém, constatou-se que Z3 apresentou acúmulo de sedimentos pouco maior do que Z2 ($53,42g/m^2 \cdot \text{campanha}$ e $50,19g/m^2 \cdot \text{campanha}$, respectivamente). Embora a pouca diferença possa ser atribuída à pequena variação nas taxas de ocupação, o maior acúmulo em Z3 também pode ser atribuído à variável “declividade da via”, uma vez que em Z2 a declividade é de

10% e em Z3 é de 7%. As maiores declividades favorecem, por um lado, a lavagem dos sedimentos pelo escoamento superficial gerado durante eventos de chuva e, por outro lado, as menores declividades favorecem a deposição de material, possivelmente, pela ação do vento.

Embora Z4 tenha taxa de apenas 14,80% de lotes em construção foi constatado que ocorreu grande acúmulo de sedimentos nesta zona ($166,21\text{g/m}^2$.campanha), o que também pode ser atribuído como sendo decorrência da baixa declividade da seção 10 (4%), o que permitiu que ocorresse maior deposição sobre a área dessa seção de coleta, refletindo na média da acumulação da zona.

Tem sido verificada uma importante relação entre a declividade e o acúmulo de sedimentos quando são comparadas Z2 e Z4. Essa relação indicou que embora Z2 tenha maior taxa de lotes em construção em relação a Z4 (ver Figura 5), o fato de Z2 possuir uma declividade maior do que em Z4 (ver Tabela 3) fez com que ocorresse nessa zona um acúmulo de somente cerca de 1/3 da massa média acumulada em Z4, confirmando a tendência de que nas maiores declividades o acúmulo tende a ser menor em decorrência da ação dos escoamentos com maior velocidade.

Quando se compara Z5 com relação às outras zonas verifica-se que essa zona apresentou a menor massa de sedimentos acumulados por unidade de área. A comparação especificamente com Z1 estabelece os extremos entre as zonas e permite verificar que a variável mais significativa no processo de acumulação de sedimentos é a “tipologia de ocupação” existente em Z1 e Z5. A zona Z5 apresentou taxa de lotes sem ocupação de 84,09% e taxa muito baixa de lotes em construção (3,8%). Considerando-se que Z1 e Z5 tenham em média declividades semelhantes, pode-se concluir que a taxa de lotes vazios foi determinante no processo de acumulação de sedimentos. O menor acúmulo de sedimentos em Z5 teve influência significativa devido à existência de uma ampla área de preservação permanente e uma área de equipamentos comunitários que constituem uma superfície muito permeável e com vegetação nativa que serve de barreira à ação dos ventos no processo de acumulação de sedimentos, sejam os sedimentos decorrentes do desgaste do pavimento asfáltico, dos pneus, do solo, de materiais exógenos e inclusive aqueles provenientes da combustão dos motores dos automóveis, além da manutenção da umidade do solo.

Considerou-se nessa análise que, pelas características do loteamento estudado e de suas vias, a velocidade e volume de tráfego de veículos (velocidade dos veículos aproximadamente 30km/h e volume de tráfego baixo) são iguais, em média, em todas as vias ficando as diferenças relativas ao tráfego relacionadas ao tipo de transporte. Desta forma a variável “nível de tráfego” se apresenta com menor influência no processo de acumulação.

As relações apresentadas permitem confirmar a característica complexa do fenômeno de acúmulo ficando exposto que variáveis como “tipologia de ocupação” (cobertura vegetal, lotes

impermeáveis e atividade de construção) e “declividade das vias” (topografia das áreas estudadas e geometria do leito carroçável) influenciam no comportamento do fenômeno de deposição.

A Tabela 44 apresenta a comparação entre as características de uso e ocupação das zonas estudadas e a massa média acumulada nas zonas.

Tabela 4 - Comparação entre a massa média acumulada nas sarjetas de cada zona em relação ao uso e ocupação da área de estudo

Zonas	M_z	Área de lotes construídos %	Área de lotes em construção %	Área de lotes sem ocupação %
	(g/m ² .campanha)			
	(Equação 1)			
Z1	314,08	32,24	27,19	40,57
Z2	50,19	43,00	16,60	40,40
Z3	53,42	46,40	10,44	43,16
Z4	166,21	49,40	14,80	35,80
Z5	9,95	12,12	3,80	84,09

Obs.: M_z = massa média de sedimentos acumulados por zona em cada campanha..

A Figura 525 representa graficamente as relações encontradas nas zonas em termos de massa média acumulada e uso/ocupação.

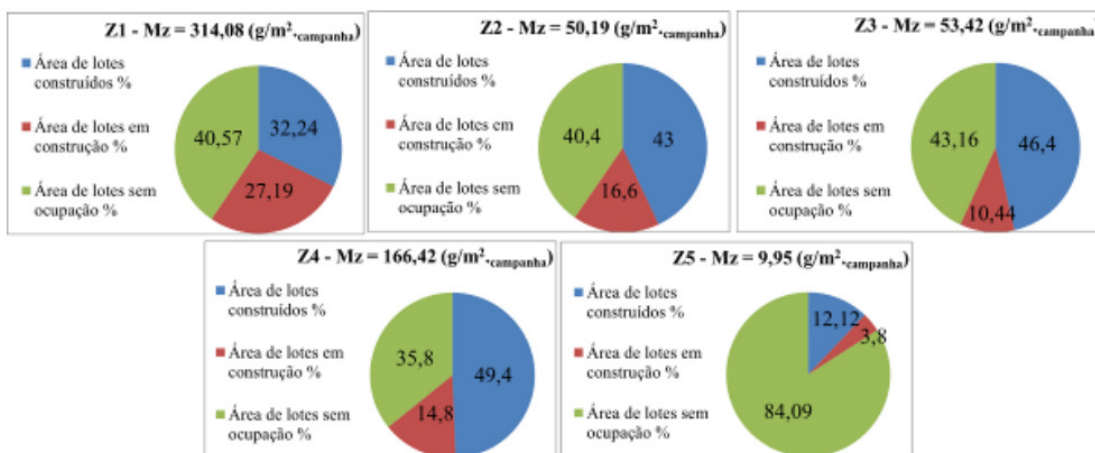


Figura 52 - Comparação entre a acumulação de sedimentos em cada zona e seus respectivos usos e ocupação.

Quanto aos sedimentos aderidos “A” (Figura Figura 6), estes apresentam distribuição mais uniforme com variação entre 85,7% a 95,7% de sedimentos menores do que 1180mm. As seções e amplitudes no d50 ficaram entre 170mm (S4) a 350mm (S2) e no d10 entre 63mm (S1) e 110mm (S2). Verificou-se um grupo de seções com d50 predominando na faixa de areia média na maioria das seções e S4, S5, S7, S8 e S11 apresentam d50 para a faixa de areia fina. Para essas seções não se constatou claras relações entre o comportamento granulométrico dos sedimentos e o tipo de ocupação dos lotes ou a declividade.

Tendo sido analisadas as relações entre as distribuições granulométricas nas 12 seções e a tipologia de ocupação das zonas nas quais estão inseridas, não foi verificada a influência predominante desta variável na distribuição dos sedimentos, sendo possível inferir que a tipologia de ocupação aparentemente não influencia a distribuição dos diâmetros das partículas nas diferentes seções. Isso pode indicar que as outras variáveis tais como tipo de ocupação geral da área estudada, o nível de tráfego, velocidade dos veículos, características dos ventos e fase construtiva das construções, irão influenciar a granulometria das amostras confirmando a característica de deposição de sedimentos como um fenômeno randômico e cuja complexidade se manifesta tanto na dinâmica de acumulação, quanto na distribuição de sedimentos entre as áreas estudadas.

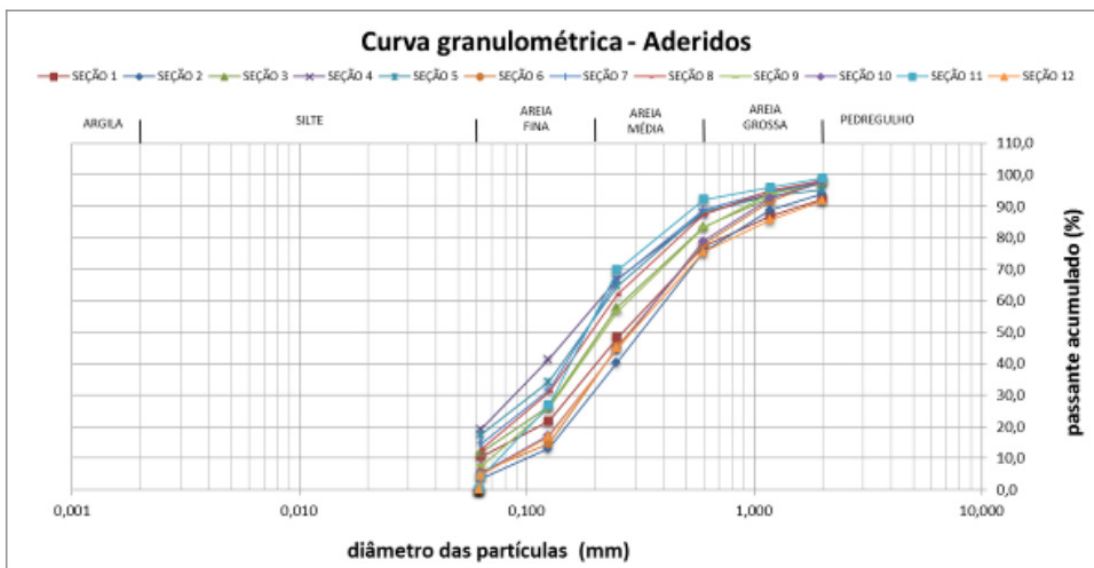


Figura 6 - Curva granulométrica dos sedimentos Aderidos “A” coletados nas seções nas campanhas.

Análise por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF)

A partir das análises por EDXRF foi obtida a composição mineralógica dos sedimentos tendo sido possível verificar seus teores em porcentagens de massa em cada amostra. A Figura 737 apresenta as concentrações destes elementos ocorridos durante as campanhas. A Tabela 5 apresenta os elementos encontrados e os respectivos teores em cada campanha.

Considerando-se que os metais mais comuns encontrados em sedimentos de granulometria fina em ambientes urbanos são o Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, os óxidos destes metais foram analisados separadamente, tendo sido verificada a variação dos teores em função do tempo durante as campanhas. Foi verificado que os metais Cd e Cr não foram detectados pelo método EDXRF nas amostras de sedimentos analisadas, estando presentes os óxidos de Zinco, Cobre, Níquel e Chumbo.

Pela análise por meio do método EDXRF constatou-se que dentre os elementos mencionados em todas as amostras o Zn foi o que apresentou maior concentração na forma de ZnO seguido do Cu (CuO). O Ni se apresentou em concentrações maiores do que o Pb nas campanhas dos dias 10/07, 16/07 e 07/08 havendo uma inversão em relação ao Pb nas campanhas dos dias 29/07 e 27/08. Foi verificado que na campanha do dia 07/08 não foi detectada a presença de PbO na amostra. As concentrações obtidas apresentaram variações ao longo do tempo sendo que o NiO apresentou maior desvio padrão relativo entre os elementos analisados (Tabela 6Tabela).

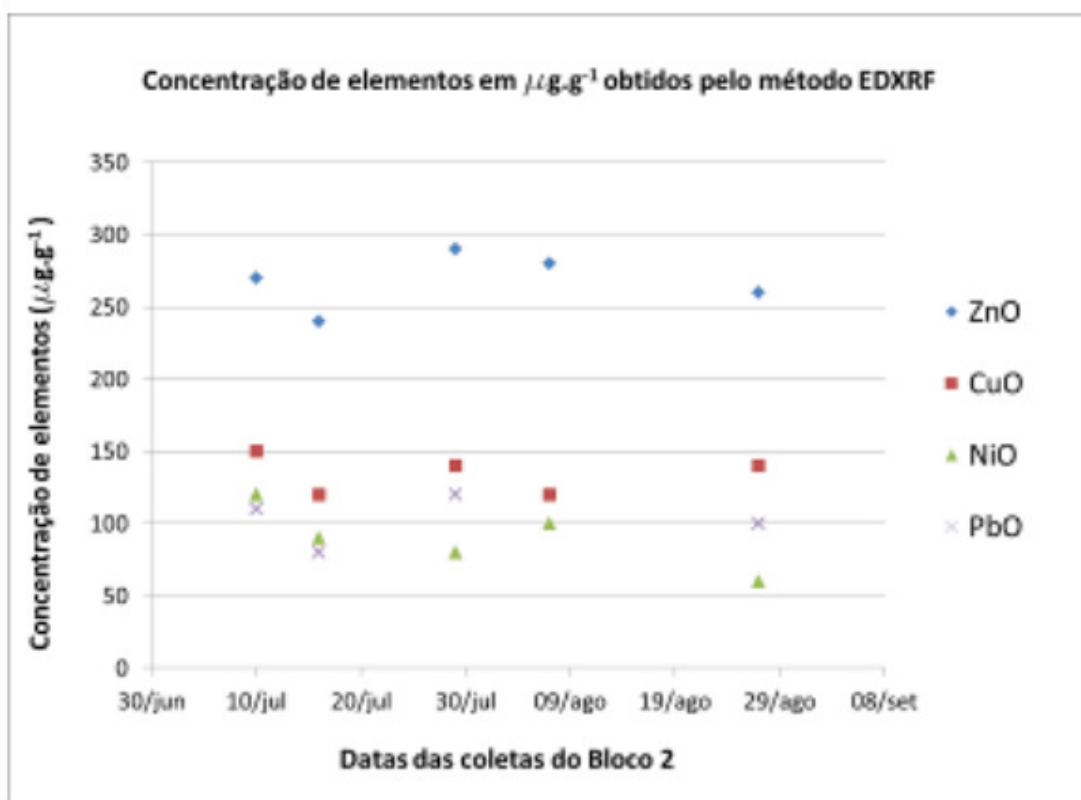


Figura 73 – Concentração de ZnO, CuO, NiO e PbO (mg.g^{-1}) em função do tempo.

Tabela 5 – Composição de elementos encontrados nas amostras de sedimentos finos obtidos em análise por EDXRF

Campanha 10/07/2013		Campanha 16/07/2013		Campanha 29/07/2013		Campanha 07/08/2013		Campanha 27/08/2013	
Elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)	elemento	teor (%)
SiO ₂	32,168	SiO ₂	31,091	SiO ₂	28,263	CaO	31,981	SiO ₂	29,734
CaO	22,823	CaO	28,594	CaO	24,775	SiO ₂	24,236	CaO	22,932
Al ₂ O ₃	17,227	Al ₂ O ₃	14,342	Al ₂ O ₃	18,029	Al ₂ O ₃	13,463	Al ₂ O ₃	17,905
Fe ₂ O ₃	7,442	Fe ₂ O ₃	6,080	Fe ₂ O ₃	7,496	Fe ₂ O ₃	5,594	Fe ₂ O ₃	7,063
K ₂ O	2,104	K ₂ O	1,749	K ₂ O	2,109	K ₂ O	1,698	K ₂ O	2,143
TiO ₂	1,534	TiO ₂	1,149	TiO ₂	1,712	SO ₄	1,222	TiO ₂	1,369
SO ₄	0,898	SO ₄	1,022	SO ₄	0,932	BaO	1,022	SO ₄	1,122
BaO	0,769	BaO	0,519	MgO	0,591	TiO ₂	0,852	BaO	0,767
ZrO ₂	0,615	ZrO ₂	0,503	ZrO ₂	0,496	MgO	0,740	MgO	0,732

MgO	0,613	MgO	0,396	MnO	0,354	MnO	0,302	ZrO₂	0,420
MnO	0,418	MnO	0,259	BaO	0,316	ZrO₂	0,210	MnO	0,315
SrO	0,129	SrO	0,158	SrO	0,134	ZnO	0,028	SrO	0,116
NbO	0,048	NbO	0,028	NbO	0,051	NbO	0,025	NbO	0,042
ZnO	0,027	ZnO	0,024	ZnO	0,029	CuO	0,012	ZnO	0,026
CuO	0,015	CuO	0,012	CuO	0,014	NiO	0,010	CuO	0,014
Y₂O₃	0,013	Y₂O₃	0,009	Y₂O₃	0,014	Y₂O₃	0,008	Y₂O₃	0,010
NiO	0,012	NiO	0,009	PbO	0,012	Rb₂O	0,007	PbO	0,010
PbO	0,011	PbO	0,008	Rb₂O	0,010	PPC	18,590	Rb₂O	0,010
Rb₂O	0,009	Rb₂O	0,007	NiO	0,008			NiO	0,006
Ga₂O₃	0,004	Ga₂O₃	0,003	Ga₂O₃	0,005			Ga₂O₃	0,004
PPC	13,120	PPC	14,040	PPC	14,650			PPC	15,260

Tabela 6 – Concentrações dos elementos detectados pelo método EDXRF.

EDXRF - Concentração de elementos (mg.g⁻¹)									
Elementos	Campanha					Mediana	Desvio Padrão	Média	Desvio
	10/jul	16/jul	29/jul	07/ago	27/ago	(conc. mg.g ⁻¹)	(conc. mg.g ⁻¹)	(conc. mg.g ⁻¹)	Padrão Relativo (%)
ZnO	270	240	290	280	260	270	19,24	268	7,2
CuO	150	120	140	120	140	140	13,42	134	10,0
NiO	120	90	80	100	60	90	22,36	90	24,8
PbO	110	80	120	...	100	105	17,08	103	16,7

As variações nas concentrações encontradas podem estar relacionadas às variações de períodos secos e chuvosos sendo que alguns metais têm sua dinâmica de dispersão/acumulação

diferentemente influenciadas pela ação do escoamento superficial e pela ação dos ventos (Diamantino, 2013).

Análise por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES)

Com o objetivo de caracterizar o aporte potencial de metais traço para o meio ambiente, foram estudadas as cargas dos elementos dadas em microgramas por metro quadrado de sarjeta. A Tabela 7 apresenta os valores das cargas de metais calculados.

Foi verificado que em termos de carga de poluentes (mediana), a relação entre os elementos foi $Pb > As > Zn > Ni > Sn > Cr > Cu > Cd$. Pelo método do ICP-OES, sendo ele mais preciso para detecção dos metais totais existentes nas amostras, pode-se verificar que, medianamente, em cada metro quadrado de sarjeta da área de estudos 3676,0mg de Pb foram acumulados, tornando-se potencialmente disponíveis aos processos de transporte para o curso d'água à jusante.

A

Tabela 828 indica as cargas totais dos metais que, em valores medianos, estiveram disponíveis como poluentes nas superfícies das sarjetas durante o período de amostragem.

Dos valores de mediana encontrados ressalta-se a carga de Pb que potencialmente atingirá o curso d'água. Uma vez que a extensão total das sarjetas das zonas estudadas tem uma área de 3394,77 m², pode-se estimar uma carga total de Pb acumulada sobre as sarjetas de 12,48g de Pb.

Tabela 7- Cálculo da carga de poluentes nas campanhas.

Campanhas	M _r (g/m ²)	(C mg/m ²)							
		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	As	Pb	Sn
10/07	10,91	1091,0	2618,4	763,7	2945,7	196,4	3382,1	5345,9	1091,0
16/07	8,57	771,3	1028,4	428,5	2056,8	111,4	2228,2	3256,6	685,6
29/07	8,25	660,0	1072,5	495,0	2475,0	140,3	2722,5	3712,5	825,0
07/08	8,14	569,8	1221,0	407,0	2197,8	105,8	2279,2	3093,2	651,2
27/08	9,19	735,2	735,2	643,3	2297,5	137,9	2757,0	3676,0	827,1
Mediana	-----	735,2	1072,5	495,0	2297,5	137,9	2722,5	3676,0	825,0

Obs.: M_f = massa média de sedimentos de fração fina acumulados por campanha.

Tabela 82 - Massa de elementos acumulados sobre as sarjetas

Elementos	Mediana (mg/m ²)	Área total de sarjetas nas Zonas de amostragem S_t (m ²)	Massa total acumulada nas sarjetas (g)
Cr	735,2	3394,8	2,50
Ni	1072,5	3394,8	3,64
Cu	495,0	3394,8	1,68
Zn	2297,5	3394,8	7,80
Cd	137,9	3394,8	0,47
As	2722,5	3394,8	9,24
Pb	3676,0	3394,8	12,48
Sn	825,0	3394,8	2,50

CONCLUSÕES

Através do estudo da acumulação dos sedimentos por zonas de amostragem foi possível confirmar a característica complexa do fenômeno de acumulação a partir das variações de massa coletada em cada seção no decorrer das campanhas, sendo possível concluir que as variáveis “tipologia de ocupação” (cobertura vegetal, lotes impermeáveis e atividade de construção) e “declividade das vias” (topografia das áreas estudadas e geometria do leito carroçável) influenciam no comportamento do fenômeno de deposição. Outras variáveis tais como níveis de tráfego, periodicidade de chuvas, fase construtiva do loteamento, características dos ventos e usos e também foram indicadas como influentes no processo.

Concluiu-se que tanto a as frações totais de sedimentos como para a fração fina, as zonas que demonstraram menor acúmulo de sedimentos estão relacionadas às maiores taxas de áreas sem ocupação, permeáveis e com vegetação significativa, especialmente vegetação nativa, pois estas características em conjunto servem para dificultar principalmente o acúmulo de sedimentos finos

podendo constituir-se em elemento de controle na acumulação desses sedimentos sobre as superfícies impermeáveis. Consequentemente, conclui-se que as características de uso e ocupação relativas à manutenção de áreas verdes ou, no mínimo, vegetadas, são uma boa medida para o controle de sedimentos, mais especificamente os sedimentos com diâmetro $\leq 63\text{mm}$ e, consequentemente, os poluentes que estiverem adsorvidos à essas partículas.

Foi possível calcular as massas médias de sedimentos acumulados por Zonas e por Campanhas, tanto para todos os diâmetros quanto para o diâmetro específico menor ou igual a 63mm estimando a quantidade de sedimentos acumulada sobre a área estudada.

Não foram verificadas claras relações entre o comportamento granulométrico dos sedimentos e o tipo de ocupação dos lotes ou a declividade, o que pode indicar que as variáveis: (i) tipo de ocupação geral da área estudada, (ii) o nível de tráfego, (iii) velocidade dos veículos, (iv) características dos ventos e (v) fase construtiva das construções; irão influenciar a granulometria das amostras.

O emprego de dois métodos distintos de análise de metais em sedimentos (EDXRF e ICP-OES) permitiu caracterizar a presença dos principais metais traço presentes em ambientes urbanos (Cr, Cd, Pb, Zn, Ni e Cu) além de traços de As e Sn.

A partir da análise por ICP-OES, verificou-se a ocorrência de Pb como sendo o metal pesado com maior concentração sobre as sarjetas, podendo ser calculada uma carga de Pb de 3676mg m^{-2} e uma massa acumulada de chumbo de 12,48g em toda a área de estudo. Esse resultado ressalta a relevância desse metal como poluente ambiental em áreas urbanas dadas suas características de toxicidade em diversos compartimentos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas.

BIBLIOGRAFIA

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

CHARLESWORTH, S. et al.. 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. **Environmental International**. Londres, p. 563-573. jan. 2003.

DIAMANTINO, Catarina; LEITÃO, Teresa E.; SILVA, Manuel Oliveira da. **Estudo da poluição causada pelo tráfego rodoviário nos solos e nas águas subterrâneas, realizado na EN10 – Recta do Cabo**. Disponível em: <www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/R_76.PDF>. Acesso em: 27 set. 2013.

DOTTO, Cintia Brum Siqueira. **Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Avaliação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

POLETO, Cristiano. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa Pós Graduação em Recursos Hídricos e Gestão Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PRODANOFF, Jorge Henrique. **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. 2005. 266 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia, Departamento de Coppe/RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ZAFRA, Carlos Alfonso; GONZÁLEZ, Javier Temprano; MONZÓN, Iñaki Tejero. Evaluación de la contaminación por escorrentía urbana: sedimentos depositados sobre la superficie de una vía. **Revista Ingeniería e Investigación**, Bogotá, v. 29, n. 1, p.101-108, abr. 2009.