

## Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria - RS

**Cintia Brum Siqueira Dotto, Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva e Luciano Faustino da Silva**  
GHIDROS – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, <cintiadotto@yahoo.com.br>, <eloiza@ct.ufsm.br>, <lucianofaustino@gmail.com>

### RESUMO

*Durante o desenvolvimento dos ambientes urbanos, o aumento da produção de sedimentos é muito significativo devido, sobretudo, às ações de origem antrópica. O entendimento da acumulação de sedimentos é essencial para estimar o processo da propagação dos sedimentos e para o desenvolvimento de métodos a fim de minimizar os impactos destes poluentes no sistema de drenagem. São apresentados os resultados da caracterização dos sedimentos encontrados nas sarjetas de duas ruas asfaltadas em Santa Maria, RS, das amostras coletadas na estação hidrossedimentométrica instalada na saída da microdrenagem. As amostras de sedimento seco indicaram que o processo de acumulação dos sedimentos nas superfícies ocorre relativamente rápido após um evento de precipitação. O carreamento das partículas acumuladas nas superfícies depende das características da precipitação e do escoamento, e os eventos de precipitação removem apenas uma parte dos sedimentos presentes na superfície. As análises granulométricas das amostras de sedimento seco indicaram um diâmetro médio ( $d_{50}$ ) igual a 0,35 mm em ambas as ruas de amostragem. A concentração de sedimentos proveniente da microdrenagem apresentou valores entre 8,0 a 6.000 mg/L. As análises granulométricas destas amostras constataram que o escoamento transporta partículas, que variam de muito finas a mais grosseiras, com o diâmetro médio variando de 0,01 mm a 12 mm, confirmando o transporte do material presente nas sarjetas e áreas adjacentes pela microdrenagem.*

**Palavras-chave:** *Carga de sedimento, drenagem urbana, escoamento nas ruas.*

### INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, as alterações provocadas nas características das bacias hidrográficas devido, sobretudo às ações de origem antrópica durante o processo de urbanização têm causado impactos significativos no aproveitamento dos recursos hídricos.

A urbanização provoca um aumento na quantidade de poluentes nas bacias hidrográficas, destacando-se os sedimentos, matéria orgânica, bactérias, metais pesados, hidrocarbonetos, pesticidas, etc. O aumento da velocidade e volume da água, transportando tais poluentes, pode causar muitos impactos, que apresentam conseqüências bastante onerosas, além de prejudicar o corpo d'água receptor e interferir nas condições sanitárias. Conforme Tucci e Collischonn (2000), no Reino Unido, o custo anual relacionado com sedimentos na drenagem foi de US\$ 85 a 100 milhões em 1986.

O estudo e a compreensão dos fatores que integram o processo de urbanização e a produção de sedimentos são de grande importância, pois servem de ponto de partida para a elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos

recursos hídricos disponíveis e à convivência harmônica com a população.

Bannerman et al. (1993) comentam que as ruas representam uma fonte crítica de sedimentos no ambiente urbano. Estes sedimentos são transportados pelo sistema de drenagem até o corpo receptor, causando muitos danos aos constituintes da drenagem e à vida aquática do arroio. A quantificação dos sedimentos em qualquer uma destas fases é de suma importância, uma vez que o conhecimento quali-quantitativo destes sedimentos permite uma avaliação técnica e financeira da manutenção dos sistemas existentes e um planejamento para futuras obras.

Neste trabalho, busca-se conhecer e analisar o processo de produção e balanço dos sedimentos ao longo das sarjetas até a saída do sistema de microdrenagem, de forma a proporcionar um levantamento de informações e análise de dados que possam subsidiar a modelagem do fenômeno da produção e transporte de sedimentos em bacias urbanas.

A maior limitação nos estudos existentes é que a maioria deles apenas pressupõe as características dos processos de acumulação dos poluentes. Este estudo pretende superar tal

limitação através da coleta e análise das cargas de poluentes presentes na superfície.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

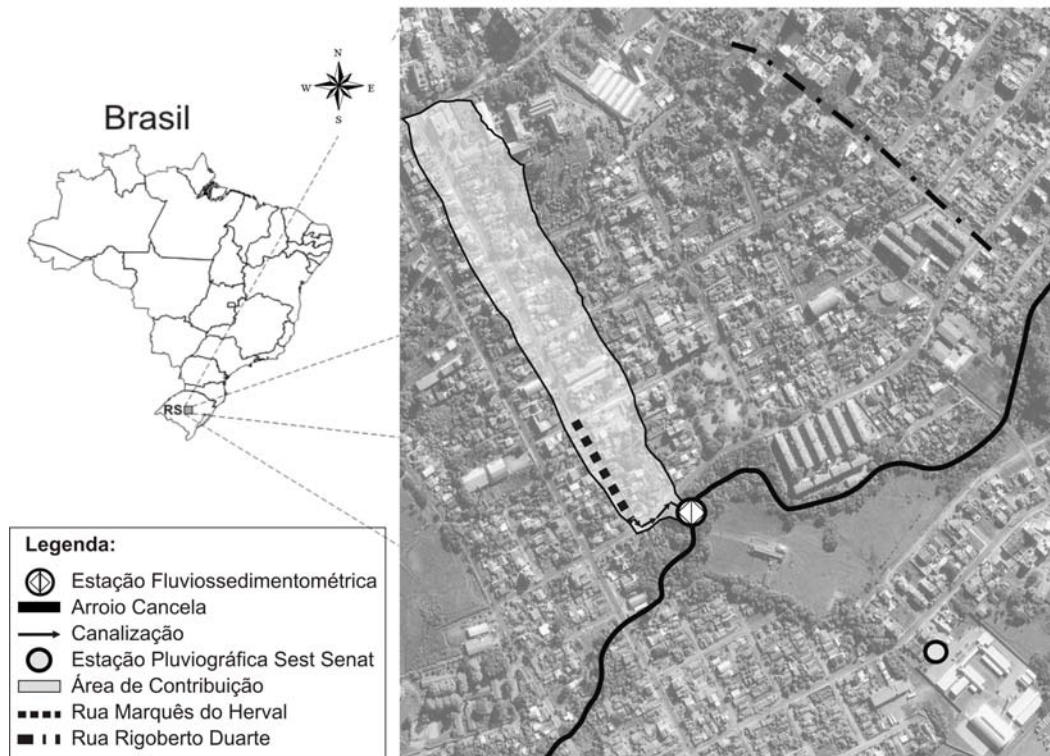


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Foram selecionadas duas ruas, onde o monitoramento ocorreu através da coleta de sedimentos secos ao longo das sarjetas.

O monitoramento hidrossedimentológico ocorreu na saída da canalização coletora das águas pluviais provenientes da rua Marquês do Herval, que possui aproximadamente 580 m de comprimento e 0,0531 m/m de declividade média.

Foram realizadas coletas de sedimento seco na rua Rigoberto Duarte, que possui aproximadamente 430 m de comprimento e declividade média igual a 0,09 m/m, a fim de obter dados comparativos em relação à acumulação dos sedimentos em superfícies impermeáveis.

A região em torno das ruas é predominantemente residencial com a presença de alguns estabelecimentos comerciais e não apresenta nenhum processo de limpeza urbana. Dessa forma, os poluentes que se depositam no local são carreados pela chuva diretamente para as bocas de lobo seguindo para o arroio Cancela, onde são lançados sem nenhum tratamento prévio.

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Santa Maria/RS. A região de estudo (figura 1) possui aproximadamente 0,06 km<sup>2</sup> e encontra-se inserida na porção sudoeste da bacia do Arroio Cancela, que é predominantemente urbana.

## DADOS PLUVIOMÉTRICOS E COLETA DE SEDIMENTO SECO

Os dados de precipitação foram obtidos da estação pluviométrica Sest-Senat localizada próxima às ruas de estudo conforme a figura 1.

Os sedimentos secos foram coletados ao longo das sarjetas das ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte durante três períodos através da utilização de um aspirador de pó conforme estudos já realizados (Butler et al., 1992; Deletic et al., 2000; Muthukaruppan et al., 2002 e Vaze e Chiew, 2002). O primeiro período de coleta ocorreu de 31 de março a 05 de maio, o segundo, de 31 de maio a 07 de julho, e o terceiro, de 24 de outubro a 19 de dezembro de 2005.

As áreas de estudos foram divididas em subáreas e a cada dia, aproximadamente no mesmo horário, as coletas foram realizadas em superfícies de 0,5 m<sup>2</sup> (0,707 m x 0,707 m) escolhidas por sorteio. Uma vez que a coleta ocorria em uma destas superfícies, ela só era

aspirada novamente, se sorteada, após um evento de precipitação. A superfície a ser amostrada foi delimitada e isolada através de uma moldura de madeira.

Dois tipos de cargas de poluentes foram coletadas seguindo a metodologia e as definições adotadas por Vaze e Chiew (2002). Primeiro, a superfície da rua foi aspirada conforme a figura 2

(a) sem nenhum processo prévio de preparação e a carga coletada foi definida como carga livre. Em seguida, a mesma superfície foi escovada utilizando-se uma escova de fibra para que então os poluentes finos agregados à superfície fossem soltos como ilustrado na figura 2 (b) e (c). Esta segunda coleta foi caracterizada como a carga fixa.

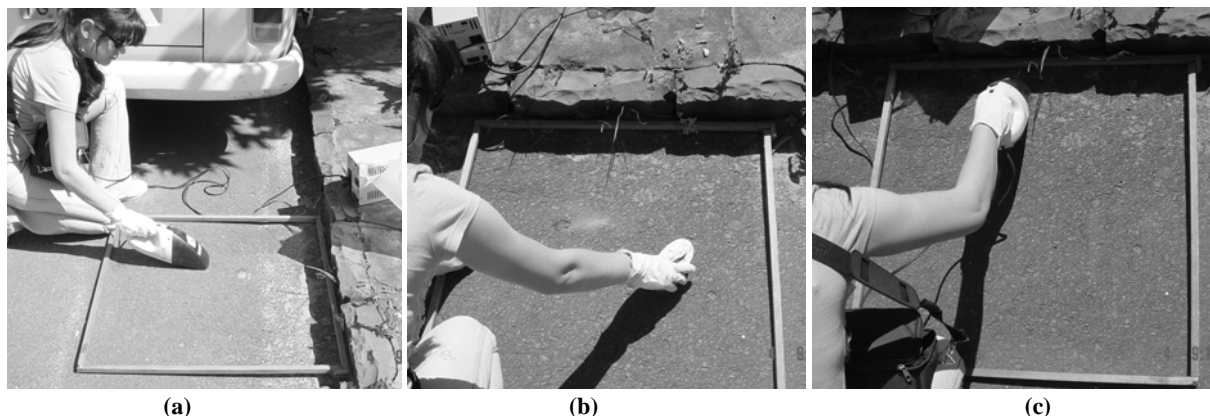


Figura 2 – A área de amostragem isolada por uma moldura de madeira e (a) aspirada, (b) levemente escovada e (c) aspirada novamente.

As coletas na rua Marquês do Herval foram realizadas na primeira quadra da rua, conforme a figura 3 (a). Com o objetivo de se obter uma amostra representativa, a quadra foi dividida em duas zonas, no sentido transversal, sendo sorteadas e coletadas amostras nas duas zonas.

As coletas na rua Rigoberto Duarte foram realizadas ao longo de suas quatro quadras alternadamente, sendo que a cada experimento, duas delas eram amostradas, conforme ilustrado na figura 3 (b). A rua Rigoberto Duarte apresenta maior tráfego de veículos do que a rua Marquês do Herval, que encontra-se fora das principais rotas da cidade.

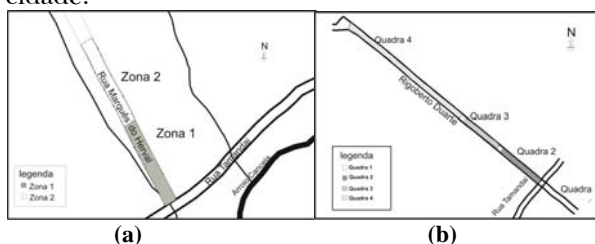


Figura 3 – Desenho esquemático com a disposição dos locais de amostragem.

Dessa forma, foram obtidas oito amostras individuais para cada dia de coleta: quatro amostras representando a carga livre e quatro, a carga fixa referentes às duas áreas aspiradas em cada rua. Após serem quantificadas, as amostras

fixas e livres de cada rua foram agrupadas para a determinação da distribuição granulométrica.

## MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICO

O monitoramento hidrossedimentométrico ocorreu na estação implantada na saída da canalização coletora das águas pluviais da área de contribuição em torno da rua Marquês do Herval.

A estação foi equipada com uma calha de fundo plano e com um registrador de nível digital do tipo Thalimedes (OTT). O intervalo de tempo de registro do nível foi configurado em 1 minuto na ocorrência de variação no nível de no mínimo 1mm.

A coleta dos sedimentos em suspensão foi realizada com a utilização de um amostrador de água automático, que foi instalado junto à calha a fim de coletar a mistura água e sedimento na saída da canalização. O equipamento é composto por 24 garrafas plásticas com capacidade de 1000 mL, que ficam acondicionadas no interior do mesmo

Após o término da amostragem, as garrafas foram retiradas e encaminhadas para o laboratório para as análises posteriores.

Após a maioria dos eventos de precipitação foi verificada a acumulação de sedimentos na

calha, logo na saída da canalização. Este material foi quantificado, e a sua distribuição granulométrica foi obtida através do ensaio de peneiramento e sedimentação.

## ANÁLISES DE LABORATÓRIO

As análises de laboratório englobaram a determinação da carga e da distribuição granulométrica dos sedimentos encontrados nas sarjetas nos períodos secos e a determinação da concentração dos sedimentos e da distribuição granulométrica das amostras coletadas nos eventos chuvosos.

Os dados obtidos em campo foram utilizados para a quantificação e caracterização granulométrica do sedimento transportado ao longo das sarjetas, bem como para a análise da influência dos eventos de precipitação na acumulação dos sedimentos nas superfícies amostradas. Dotto (2006) descreve os procedimentos de laboratório realizados para tais determinações.

## APLICAÇÃO À MODELAGEM

Sartor e Boyd (1972 e 1974) apud Deletic et al. (1997) sugeriram uma relação exponencial entre a quantidade de sólidos disponíveis na superfície,  $M$ , e a duração do tempo seco antecedente,  $t_{dry}$  (equação 1). Esta aproximação, que foi escrita para uma série de eventos de precipitação, tem sido aceita por outros autores e é utilizada na prática em alguns modelos (Grottker, 1987 e Kim et al., 2006).

$$M(T)=M_0 (1 - e^{-k(t_{dry}+t')}) \quad (1)$$

Onde:  $M$  é a quantidade de sólidos na superfície ( $g/m^2$ ),  $T$  representa o período decorrente desde o início da primeira chuva da série (dia),  $t_{dry}$  é a duração do período seco antecedente,  $t'$  é período virtual (dia),  $M_0$  representa a máxima quantidade de sólidos esperados na superfície ( $g/m^2$ ) e  $k$  é a constante de acumulação ( $dia^{-1}$ ).

Há dois parâmetros de calibração na equação 1,  $M_0$  e  $k$  que devem ser determinados para cada local.

O período virtual,  $t'$  é utilizado para auxiliar na aplicação da relação exponencial para uma série de precipitações e é calculado assumindo que a deposição é zero em  $t'$  dias antes do começo da chuva antecedente.

A equação proposta por Sartor e Boyd (1972 e 1974) apud Deletic et al. (1997) foi ajustada para equacionar a acumulação de sedimentos nas ruas de amostragem.

## RESULTADOS

### Análise das amostras de sedimento seco

As amostras de sedimento seco, muitas vezes eram compostas também por material não particulado como lixo, vegetação, fibras ou cabelos, etc. Foi encontrado que a presença deste material é relativamente insignificante proporcionalmente a massa total de sedimentos, representando em média apenas 3%. As coletas realizadas em locais muito próximos a árvores e jardins apresentaram uma porcentagem maior de material não particulado em torno de 12%. Os valores são semelhantes às porcentagens encontradas por Butler & Clark (1995) em seus estudos em Lambeth na Inglaterra, que apresentaram valores de 2% e 10% para a média e para valor máximo em área muito arborizada, respectivamente.

A figura 4 apresenta a distribuição temporal dos sedimentos na superfície da rua Marquês do Herval ao longo do primeiro período de coleta. Os valores de precipitação constantes nos gráficos correspondem às precipitações discretizadas em duas horas. Nota-se claramente que a distribuição não é uniforme ao longo dos períodos secos.

As diferenças são menores nas quantidades referentes à carga fixa, uma vez que a carga fixa está parcialmente agregada à superfície enquanto a carga livre pode ser redistribuída mais facilmente pelo vento, pelo tráfego e por outros fatores.

Alguns eventos significativos de precipitação ocorreram durante os períodos de coletas.

O evento do dia 1º/04/05 foi o maior e mais longo registrado no primeiro período de coleta, ocorrendo durante todo o dia, a precipitação do dia 12/04/05 teve semelhante duração. O evento do dia 24/04/05 teve início no final da manhã durando toda a tarde.

O segundo período de amostragem ocorreu durante o inverno e foi caracterizado por um período chuvoso entre 10/06/05 e 19/06/05. O evento registrado no dia 03/07/05 ocorreu durante à tarde e foi seguido pelo registrado dia 04/07/05 durante os períodos da manhã e tarde.

O terceiro período de amostragem ocorreu durante a primavera. O evento registrado no dia 27/10/05 ocorreu durante a tarde não impedindo a coleta de sedimento seco pela

manhã. O evento do dia 5/12/05 foi o maior registrado no período ocorrendo durante toda a manhã.

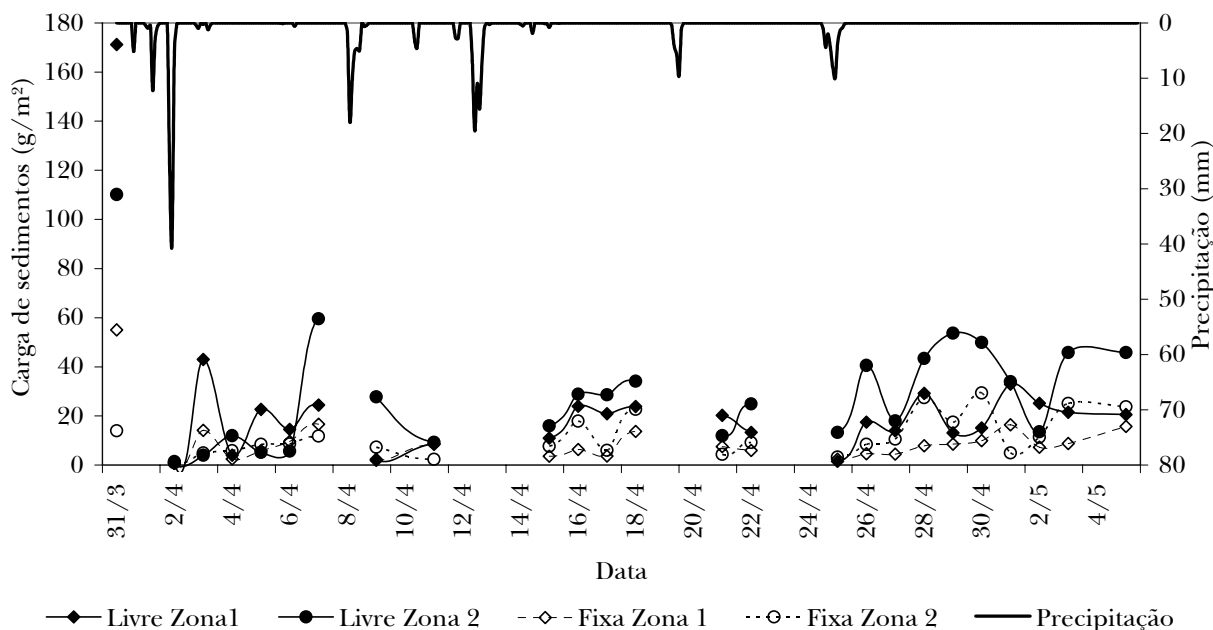


Figura 4 - Cargas livre e fixa coletadas das duas zonas de amostragem da rua Marquês do Herval durante o primeiro período de amostragem.

Após o evento do dia 08/04/05, a capacidade de transporte do escoamento foi suficiente para carrear a maior parte dos sedimentos desagregados e/ou dissolvidos. Nesse caso, devido à sua intensidade e a longa duração do evento, parte da carga fixa também foi removida. Esse processo deveria resultar numa diminuição da carga fixa, porém durante o processo de secagem da superfície, parte da carga livre pode ter sido agregada contribuindo para a quantidade de sedimentos da carga fixa. Isso explica por que há uma redução significativa da carga livre depois do evento em questão com uma pequena variação da carga fixa. O mesmo parece ocorrer para os eventos mais significativos de precipitação.

Devido à baixa intensidade da precipitação no evento do dia 06/04/05, apenas parte da carga livre se desintegra. O escoamento remove apenas uma pequena quantia destes sedimentos. O restante acaba se agregando à superfície como carga fixa. Isso explica a pouca variação da carga livre e o aumento da carga fixa após o referido evento. Foi constatado que, em geral, os eventos com intensidade menor que 1,0 mm/h resultam num aumento da carga total na superfície.

#### Distribuição Granulométrica dos Sedimentos

A figura 5 apresenta a distribuição granulométrica das amostras coletadas na rua Marquês do Herval durante o terceiro período de amostragem. Nota-se que há variação no tamanho das partículas das cargas livre e fixa, mas que em geral, suas características são semelhantes. As análises indicam que quase todo o sedimento constituinte da carga livre é mais fino que 2 mm, 70 % é mais fino que 1 mm e praticamente 10 % é mais fino que 0,2 mm. Semelhante às partículas da carga livre, quase todo sedimento constituinte da carga fixa é mais fino que 2 mm, por outro lado 20% dele é mais fino que 0,2 mm. Como esperado, os sedimentos constituintes da carga fixa são mais finos do que aqueles da carga livre. As análises granulométricas das partículas coletadas na rua Rigoberto Duarte e as amostras referentes aos outros períodos de amostragem apresentaram comportamento semelhante.

A tabela 1 apresenta a média ponderada dos diâmetros médios ( $d_{50}$ ) dos sedimentos constituintes da carga livre e fixa deste estudo e do estudo realizado por Vaze e Chiew (2002). O

diâmetro médio encontrado neste trabalho referente à carga livre foi de 0,35 mm e apresentou-se menor do que aquele encontrado no estudo dos referidos autores (0,6 mm). As partículas referentes à carga fixa apresentam-se com um diâmetro médio semelhante ao estudo referenciado. Uma explicação viável é que os sedimentos da carga fixa encontram-se agregados à superfície asfáltica e tendem a ser mais uniformes em diferentes locais, por outro lado, a carga livre parece ser mais suscetível à redistribuição e a influências do local em questão (presença de obras, tráfego, vento, etc).

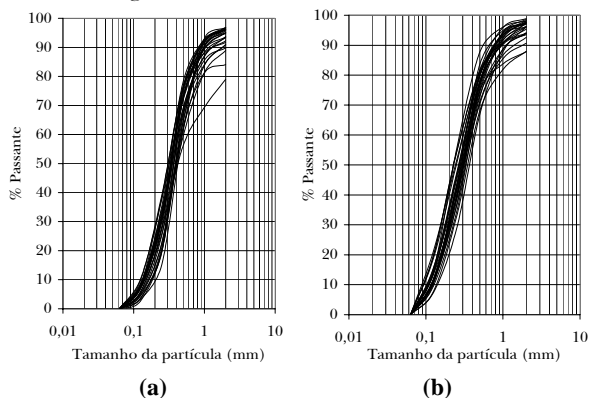


Figura 5 - Distribuição granulométrica das cargas livre e fixa, respectivamente, referente ao terceiro período de amostragem da Rua Marquês do Herval.

Tabela 1.- Diâmetro médio ( $d_{50}$ ) dos sedimentos referentes à carga livre e fixa

Local de Amostragem	Livre	Fixa
	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	
Rua Marquês do Herval	$\approx 400$	$\approx 300$
Rua Rigoberto Duarte	$\approx 370$	$\approx 300$
Bouverie Street, Melbourne, Austrália*	$\approx 600$	$\approx 300$

\* Fonte: Vaze e Chiew, 2002

### Efeito da precipitação na Distribuição Granulométrica dos Sedimentos

O efeito dos eventos de precipitação na distribuição granulométrica dos sedimentos é apresentado nas figuras 6 e 7. Os sedimentos constituintes da carga livre apresentaram-se em geral mais grosseiros após os eventos de precipitação. Enquanto que os constituintes da carga fixa apresentaram-se mais finos após a maioria dos eventos.

Em resumo, os eventos de precipitação geralmente reduzem a quantidade de sedimentos da carga livre e alteram a distribuição granulométrica das partículas. Os eventos também

aumentam a quantidade total e a proporção de material fino na carga fixa devido ao fato de que a chuva dissolve as partículas mais finas da carga livre, das quais algumas são carregadas pelo escoamento e outras permanecem agregadas à superfície em forma de carga fixa, resultando em um aumento de material fino na carga fixa.

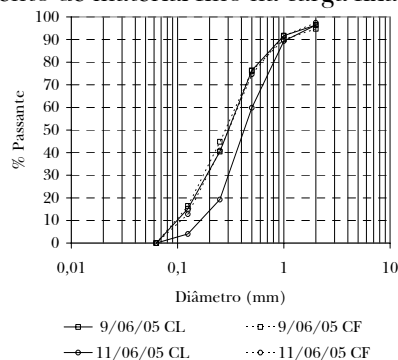


Figura 6 - Distribuição granulométrica dos sedimentos antes e depois do evento de precipitação do dia 10/06/05 - Rua Marquês do Herval.

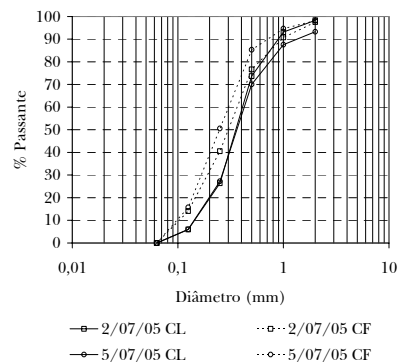


Figura 7 - Distribuição granulométrica dos sedimentos antes e depois do evento de precipitação dos dias 03/07/05 e 04/07/05 - Rua Marquês do Herval.

### Aplicação da equação proposta por Sartor and Boyd (1972 e 1974) apud Deletic et al. (1997)

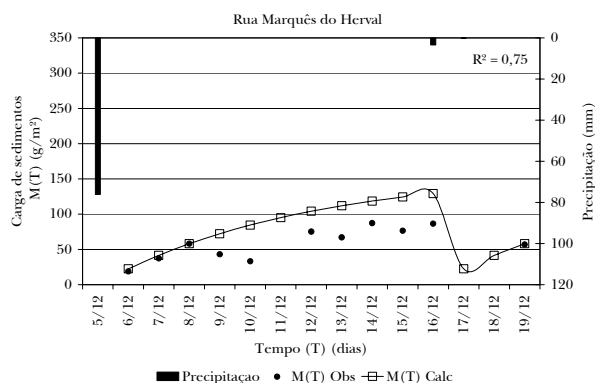
O período escolhido para a calibração dos parâmetros da equação foi de aproximadamente um mês, englobando dois períodos maiores de tempo seco, 4 e 10 dias, e dois períodos menores intercalados. Foi encontrado um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,52 e 0,53 para as ruas Marquês do Herval e Rigoberto Duarte respectivamente.

O valor de  $t'$  ( $t$  virtual) foi adotado igual a um dia, uma vez que durante a calibração, a análise dos dados observados mostrou o valor de aproximadamente 1,0 dia.

A calibração dos parâmetros  $M_0$  e  $k$  a partir dos dados observados na rua Marquês do Herval e na rua Rigoberto Duarte resultaram nas equações (2) e (3), respectivamente.

$$M(T) = 160(1 - e^{-0,15(t+1)}) \quad (2)$$

$$M(T) = 140(1 - e^{-0,20(t+1)}) \quad (3)$$



**Figura 8 - Verificação da aplicabilidade do modelo - Rua Marquês do Herval.**

A figura 8 apresenta a aplicação do modelo em um período onde a redução da carga devido ao efeito da ocorrência de um evento de precipitação pode ser ilustrada.

A equação aplicada considera que a carga diminui após os eventos de precipitação, porém não considera o volume nem a intensidade da precipitação. O evento de precipitação ocorrido no dia 01/04/05 (89,23 mm) foi o maior registrado no período de coleta dos sedimentos secos e acarretou em uma grande redução da carga presente na superfície, em torno de 98%. Dessa forma, é de muita importância que seja desenvolvido um modelo de acumulação que considere a influência do volume e da intensidade de precipitação ocorrido nos dias antecedentes ao período seco.

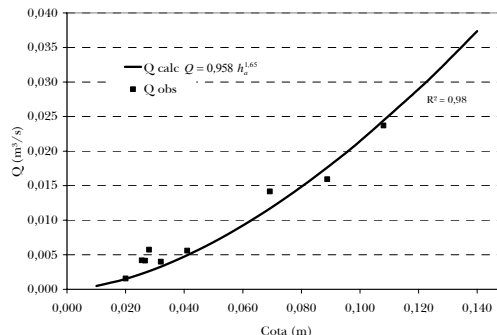
### Monitoramento fluviográfico

Foram realizadas medições de vazões através de um sensor de velocidade baseado no princípio magnético indutivo a fim de verificar pleno funcionamento dos registros do Thalimedes (OTT) e do dimensionamento e execução da calha.

A figura 9 apresenta a curva chave obtida através de equação da calha e verificada com os valores medidos em campo.

A curva chave apresentou um bom ajuste até a cota de 0,11 m. A dificuldade em ajustar os valores para cotas acima desta mencionada

encontra-se na falta de eventos que ultrapassassem esta cota durante o dia, horário possível de medição. Porém os valores observados indicam a precisão no dimensionamento e construção da calha, bem como o pleno funcionamento dos registros do Thalimedes (OTT).



**Figura 9 - Curva chave obtida através de equação da calha e verificada com os valores medidos em campo.**

Mesmo obtendo-se cotas bastante baixas durante as medições, considera-se que a curva chave teórica da calha pode ser representada também para os eventos noturnos extremos, que apresentaram cotas em torno de 0,40 m.

As análises das amostras líquidas, provenientes da microdrenagem, mostraram que a concentração de sedimentos variou de 8,0 a 6.000 mg/L. Apresentando um valor médio de 537,05 mg/L nos eventos chuvosos.

As figuras 10 a 12 apresentam gráficos, que relacionam a vazão e a concentração de sedimentos no tempo durante eventos de chuva. Pode-se constatar um comportamento inicial semelhante. A concentração de sedimentos no início da cheia, mesmo com a vazão bem reduzida, é mais elevada, apresentando um pico, que possivelmente representa a presença do fenômeno da carga de lavagem das ruas. Após este pico, há uma redução no valor da concentração de sedimentos que mantém certa proporcionalidade com a variação da vazão, pois é observado que em geral o aumento da concentração ao longo do evento, ocorre juntamente com os picos da vazão.

Por outro lado, o aumento da concentração, no momento em que há uma diminuição da vazão no evento do dia 15/06 deve-se provavelmente a existência de sedimento já inserido no processo de transporte pelo escoamento superficial.

As descargas sólidas foram calculadas a partir dos dados de concentração e vazão medidos durante os eventos chuvosos. O sedimento retido na calha no final dos eventos não foi considerado na confecção da curva.

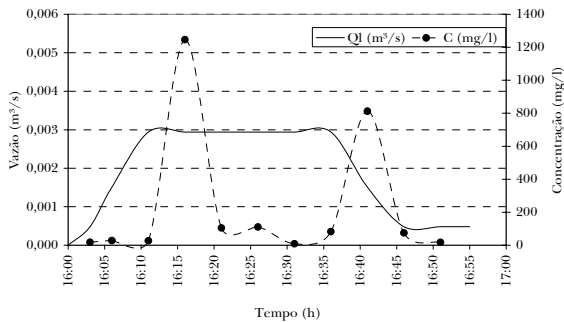


Figura 10 – Gráfico da concentração de sedimentos e vazão no evento do dia 15/06/05.

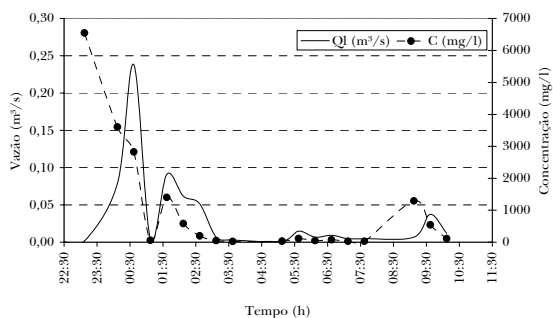


Figura 11 – Gráfico da concentração de sedimentos e vazão no evento dos dias 03/10/05 e 04/10/05.

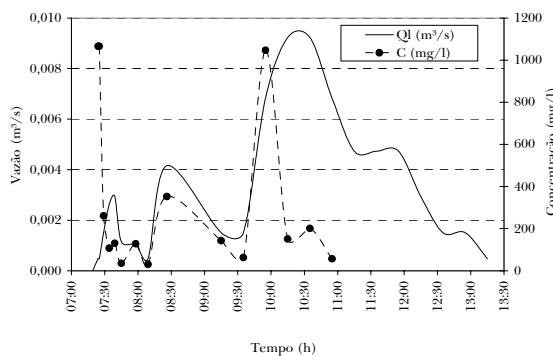


Figura 12 – Gráfico da concentração de sedimentos e vazão no evento do dia 23/12/05.

A figura 13 apresenta a relação entre a descarga líquida ( $m^3/s$ ) e a descarga sólida ( $g/s$ ). A equação obtida foi a seguinte:

$$Q_s = 7777,1 Q^2 + 999,84 Q \quad (4)$$

Onde  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ ) e  $Q_s$  representa a descarga sólida ( $g/s$ ).

O ajuste apresenta-se aparentemente muito bom, porém há uma grande variação nos dados referentes às menores descargas. Desta forma, o ajuste é mais satisfatório para os eventos

maiores, que são responsáveis pela maior parte da carga total transportada até o arroio.

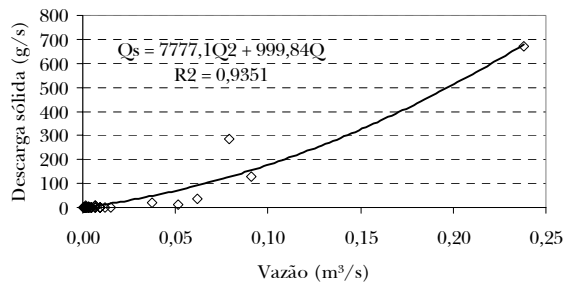


Figura 13 – Relação entre a descarga líquida e a descarga sólida.

As figuras 14 a 16 apresentam os hidrogramas dos eventos analisados e as descargas sólidas apenas dos pontos onde existiam valores de concentração observados.

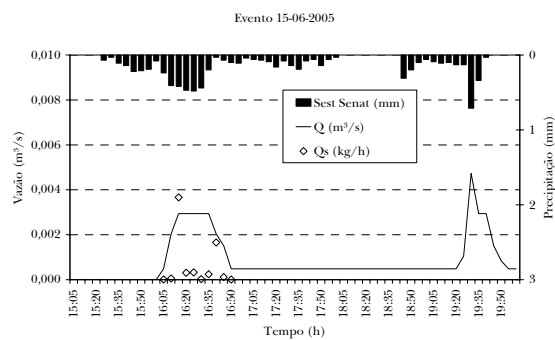


Figura 14 – Hidrograma do Evento 15/06/05.

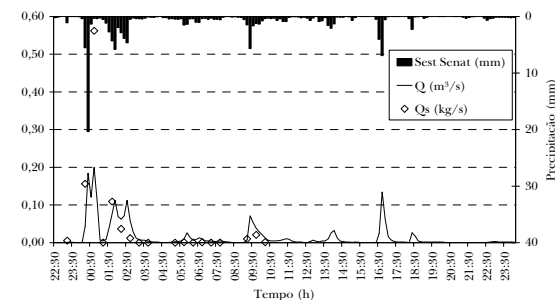


Figura 15 – Hidrograma do Evento 03 a 04/10/05.

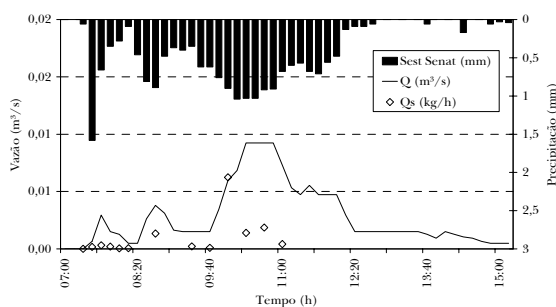


Figura 16 – Hidrograma do Evento 23/12/05.



A tabela 2 apresenta, para cada evento, a precipitação total (P) durante o intervalo de tempo de coleta de amostras líquidas, a duração da precipitação, o volume escoado, a massa (M1) obtida através dos valores das descargas sólidas, a massa (M2) resultante da acumulação de sedimentos no fundo da calha após os eventos, a massa total (M = M1+M2), a descarga sólida e a carga de sedimentos, que foi calculada pela relação entre a massa total e a área de contribuição. A tabela apresenta também a estimativa da carga antecedente ao evento presente na superfície da rua, calculada a partir da equação 2.

**Tabela 2 – Carga sólida dos eventos de cheia medidos**

Data	15/06/05	3/10/2005 4/10/2005	23/12/05
P (mm)	4,05	86,65	15,04
Duração (h)	0,8	11	3,52
Vol. Escoado	4,92	1252,47	46,57
M1 (g)	1785,716	2387362,999	16737,482
M2 (g)	1568,000	4,895	2716,000
MT (g)	3353,716	2387367,894	19453,482
Qs (g/s)	1,16	60,29	1,54
Carga - Evento (g/m <sup>2</sup> )	0,056	39,789	0,324
Carga-Rua (g/m <sup>2</sup> ) *	22,287	41,469	94,949

\* Calculada pela equação 2

No dia 15/06 pela manhã, antes do início da chuva, foi observada uma carga de sedimento seco de 38,39 g/m<sup>2</sup> na sarjeta da rua Marquês do Herval. No mesmo dia, decorrente do período do evento de precipitação monitorado, foi observada uma carga de 0,06 g/m<sup>2</sup> de sedimento. Deve-se considerar que esta carga é resultante apenas da primeira hora inicial da chuva.

A chuva do dia 03/10 teve início às 22:00 e durou até o final do dia 04/10. Não há dados observados da carga de sedimento seco nesses dias, então a carga total na rua no dia 03/10 foi estimada pela equação 2 e o valor obtido foi de 41,47 g/m<sup>2</sup>. As descargas sólidas neste dia indicaram uma carga de 39,79 g/m<sup>2</sup> e uma massa total de 2,38 t.

A precipitação teve início às 7:30 na manhã do dia 23/12. A carga de sedimento seco na rua referente ao dia 22/12 foi estimada pela equação 2, obtendo-se o valor de 94,95 g/m<sup>2</sup>. As descargas sólidas neste dia indicaram uma carga de 0,32 g/m<sup>2</sup> e uma massa total de 19,5 t.

Pode-se verificar que apenas o evento de maior precipitação, ocorrido durante os dias 03/10 e 04/10, realmente transportou a carga de sedimentos presente na rua. O tempo de retorno para tal precipitação foi calculado através da equação de chuva de Santa Maria conforme Paiva (1997) e é igual a 2 anos. Desta forma, pode-se

reafirmar que os eventos típicos de precipitação removem apenas uma parte dos sedimentos presentes na superfície.

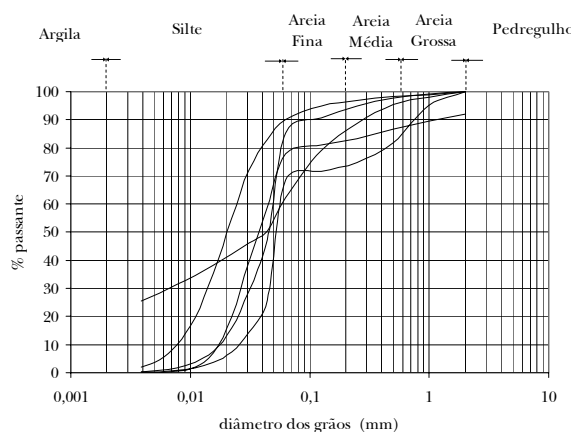
A partir da equação 4, foi estimada a descarga sólida de sedimento para cada evento de precipitação, que gerou escoamento na calha do dia 01/06/05 ao dia 23/12/05. Com os valores das descargas sólidas, a massa total transportada na microdrenagem durante o período de monitoramento foi determinada. O valor encontrado de 3,05 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> sugere a ordem de grandeza da descarga de sedimentos que é transportada na microdrenagem e atinge o arroio Cancela.

### Análises granulométricas

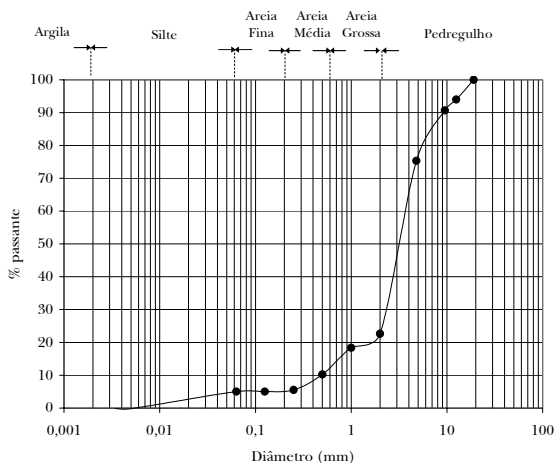
As amostras que permitiram em sua constituição uma análise completa, ou seja, a determinação da porção de areia por peneiramento seco e a determinação dos finos pelo ensaio do tubo de retirada pelo fundo, apresentam um diâmetro médio de aproximadamente 0,35 mm.

Na figura 17 são apresentadas as curvas granulométricas das amostras coletadas pelo amostrador durante o evento do dia 23/12 submetidas ao ensaio de peneiramento e tubo de retirada pelo fundo. O diâmetro médio das partículas foi em torno de 0,04 mm e o material foi constituído principalmente por silte. Porém neste mesmo evento, algumas amostras foram submetidas aos ensaios de peneiramento e evaporação, sendo constituídas principalmente por areia.

A figura 18 apresenta a curva granulométrica do material acumulado na calha após o evento do dia 4/10/05.



**Figura 17 – Distribuição granulométrica das amostras coletadas no dia 23/12/05 submetidas aos ensaios de peneiramento e tubo de retirada pelo fundo**



**Figura 18 – Distribuição granulométrica do material acumulado após o evento do dia 03/10/05 e 04/10/05**

A partir das curvas apresentadas é possível constatar que o escoamento transporta partículas, que variam de muito finas a mais grosseiras, com o diâmetro médio variando de 0,01 mm a 12 mm. Confirmando o transporte do material presente nas sarjetas e áreas adjacentes pela drenagem.

O material proveniente somente das ruas é de difícil quantificação, uma vez que o escoamento carrega poluentes provenientes das áreas adjacentes às ruas e também pelo fato de que há ligações clandestinas de esgoto doméstico na canalização pluvial. Além disso, seria necessário quantificar a porcentagem de sedimento retido nas bocas de lobo.

## CONCLUSÕES

A carga total de sedimentos na sarjeta diminuiu após a maioria dos eventos de precipitação.

Dependendo da intensidade e da duração de cada evento de precipitação, parte dos sedimentos presentes na superfície pode se desagregar ou se dissolver.

As análises granulométricas das amostras de sedimento seco indicaram um diâmetro médio de aproximadamente 0,350 mm em ambas as ruas de amostragem, semelhante ao diâmetro encontrado por Vaze e Chiew (2002).

Foi observada variação no tamanho das partículas das cargas livre e fixa, mas em geral, suas características são semelhantes. Como esperado, os sedimentos constituintes da carga fixa são mais finos que aqueles da carga livre.

Em geral, os sedimentos ficam mais finos à medida que a acumulação ocorre, uma vez que os

sedimentos são desagregados pela ação do vento e do tráfego de veículos.

Os eventos de precipitação geralmente reduzem a quantidade de sedimentos da carga livre e aumentam o tamanho das partículas. Com respeito a carga fixa, ocorre um aumento da quantidade e da proporção de material fino, devido ao fato de que a chuva dissolve as partículas mais finas da carga livre, das quais algumas são carregadas pelo escoamento e outras permanecem agregadas à superfície em forma de carga fixa, resultando em um aumento de material fino na carga fixa.

A aplicação da equação proposta por Sartor and Boyd (1972 e 1974) apud Deletic et al. (1997) foi satisfatória, considerando as limitações deste trabalho experimental e da equação. Os parâmetros calibrados apresentaram valores maiores do que aqueles encontrados na bibliografia, provavelmente devido ao fato de que as ruas estudadas não apresentam nenhuma prática de limpeza periódica. A rua de maior tráfego apresentou, como esperado, um coeficiente de acumulação maior.

A concentração de sedimentos no início da cheia, mesmo com a vazão bem reduzida, é mais elevada, apresentando um pico, que nos eventos mais significativos representa a presença do fenômeno da carga de lavagem das ruas.

Foi verificado que apenas o evento de maior precipitação transportou a carga de sedimentos presente na rua, reafirmando que os eventos típicos de precipitação removem apenas uma parte dos sedimentos que estão na superfície.

A granulometria do material amostrado indica que o escoamento transporta partículas, que variam de muito finas a mais grosseiras, com diâmetro médio variando entre 0,01 e 12 mm, confirmando o transporte do material presente nas sarjetas e áreas adjacentes pela drenagem.

O número limitado de eventos e a grande variabilidade no comportamento das precipitações não possibilitaram uma caracterização detalhada do processo complexo de transporte de sedimentos ao longo do sistema de drenagem. Por outro lado, esses eventos foram representativos no sentido de possibilitarem a quantificação de algumas grandezas, e verificar que o sedimento que chega ao arroio é proveniente das sarjetas e áreas adjacentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CT-Hidro, CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro, pelas bolsas de produtividade, mestrado e iniciação científica, ao servidor técnico Alcides Sartori pelo auxílio nos trabalhos de campo e aos bolsistas de iniciação científica Leandro Pochmann e Maikel Bruck Martins pela ajuda no trabalho de campo e preparação dos dados.

## REFERÊNCIAS

- BANNERMAN, R. T.; OWENS, D.W.; DODDS R.B.; HORNEWER, N.J. Sources of pollutants in Wisconsin stormwater. *Water Science Technology*.v. 28, n. 3-5, p. 241-259, 1993.
- BUTLER, D. & CLARK, P. Sediment management in urban drainage catchments. Construction Research and Information Association, CIRIA Report 134. London, 1995.
- BUTLER, D.; THEDCHANAMOORTHY, S.; PAYNE, J.A. Aspects of surface sediment characteristics on an urban catchment in London. *Water Science Technology*.v. 25, n. 8, p. 13-19, 1992.
- DELETIC, A.; MAKSIMOVIC, C.; IVETIC, M. Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces. *Journal of Hydraulic Research*. v. 35, n. 1, p. 99-118, 1997.
- DELETIC, A.; ASHLEY, R.; REST, D. Modelling input of fine granular sediment into drainage systems via gully-pots. *Water Research*. v. 34, n. 15, p. 3836-3844, 2000.
- DOTTO, C.B.S. (2006) Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria - RS UFSC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 126p. Dissertação de Mestrado. Santa Maria/RS.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p, 1999.
- GROTTKER, M. Runoff quality from a street with medium traffic loading. *Sci. Total Environ*. v. 59, p. 457-466, 1987.
- KIM, L.H.; ZOH, K.D.; JEONG, S.; KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M. Estimating Pollutant Mass Accumulation on Highways. *Journal of Environmental Engineering*. v. 132, n. 9, p. 985-993, 2006.
- MUTHUKARUPPAN, M., CHIEW, F.H.S. AND WONG, T. (2002) Size distribution and partitioning of urban pollutants. *Global Solutions for Urban Drainage*, 2002. (CD-ROM).
- TUCCI, C.E.M. & COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: TUCCI, C.E.M. & MARQUES, D.M.L.M. (Org.) *Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p.119-127, 2000.
- 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, 2002.

## ABSTRACT

*The sediment yield increase during the urban environmental development is very significant, mainly due to human activities. The understanding of the sediments characteristics on impervious surfaces is essential to estimate the sediment propagation process and to develop methods to minimize the impact of these pollutants in the drainage system. The sediment characterization results regarding the ones collected on the gutter of two asphalted streets in Santa Maria, RS are presented. The results from the samples collected at the station installed at the outlet of a drainage system are also presented. The results indicate that the sediment buildup process on impervious surfaces occurs relatively quickly after a raining event. The accumulated particles washoff depends on the rainfall and runoff characteristics and the data indicate the rainfall events remove only a small portion of the sediments found on the surfaces. The particle size analysis indicate that the two sampled streets present sediments with a measured median diameter of 0.35 mm. The solid-liquid samples concentration values ranged from 8.0 to 6000 mg/L. These samples particle size analysis presented that the superficial flow carries particles, which range from the finer to coarser, with a median diameter ranging from 0.01 mm to 12 mm, verifying the street sediment washoff through the drainage system.*