

**XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL OCTUBRE, 2004**

**CARACTERÍSTICAS HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE DUAS
PEQUENAS ÁREAS EM FASES DISTINTAS DE URBANIZAÇÃO EM UMA
PEQUENA BACIA DE ENCOSTA.**

Sergio Luiz Belló

PPGEC-CT/UFSM/BRASIL; (55) 220-8483 – bellojba@bol.com.br

João Batista Dias de Paiva

HDS-CT/UFSM/BRASIL; (55) 220-8483- paiva@ct.ufsm.br

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo a caracterização de duas pequenas áreas em fases distintas de urbanização em uma pequena bacia urbana de encosta com área de 0.53 Km², em termos hidrológicos e sedimentológicos. Foram instaladas duas estações de medição com o objetivo de caracterizar vazões máximas, médias e mínimas ao longo do tempo em períodos chuvosos e de estiagem, o transporte de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, e as características granulométricas do material transportado. Os dados foram coletados e analisados entre 16 de maio e 20 de dezembro de 2003, com 18 eventos catalogados. A caracterização da produção de sedimentos foi feita através da composição das relações das descargas líquidas com as descargas sólidas, levando-se em conta ainda o volume superficial escoado. Foi elaborada a curva-chave de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, obtendo-se boa correlação para o ajuste de ambas.

ABSTRACT - This work had as objective the characterization of two small areas in distinct phases of urbanization in a small hillslope urban watershed with 0.53 km², concerning hidrological and sedimentological aspects. Two stations of measurement were installed aiming to characterize maximum, average and minimum stream flow in wet and dry periods, the suspended sediment load and bed load transport, and the grain sized characteristics of the carried material. The data were collected and analysed between May, 10th and December, 20th, 2003 with 18 catalogued events. The sediments yield characterization was obtained through the liquid and solids discharges relations, considering the superficial runoff volume. The suspended sediments load and bed load rating curve was elaborated obtaining a good correlation to both curves.

PALAVRAS CHAVE – Hidrosedimentometria, Produção de Sedimentos, Sedimentos Urbanos.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O processo de urbanização, uso e ocupação do solo ocasiona grandes problemas do ponto de vista hidrológico e sedimentológico, provocando assim um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional.

Os problemas causados pela urbanização podem ser minimizados através de informações e pesquisas, no que tange ao comportamento dos processos erosivos e o conseqüente transporte e deposição de sedimentos. Tendo em vista a esses problemas os trabalhos deste estudo foram direcionados para a obtenção de dados em uma bacia hidrográfica que encontra-se em estágio inicial de urbanização.

A área em estudo está em fase de urbanização e apresenta áreas impermeabilizadas e áreas com o extrato vegetal ainda preservado.

A bacia em estudo apresenta forte declividade com pequena área para o escoamento superficial, apenas 0.53Km², resultando assim numa resposta hidrológica muito rápida.

Para o monitoramento da bacia em questão foram implantadas duas estações fluviométricas e uma pluviométrica, as quais foram monitoradas no período de 16/05 a 30/12/2003, com o objetivo de caracterizar as vazões máximas, médias e mínimas, o transporte de sedimentos em suspensão e por arraste de fundo, e as características granulométricas do material transportado, durante períodos secos e chuvosos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica e sua caracterização física

A bacia hidrográfica estudada localiza-se junto ao reservatório do DNOS na periferia da cidade de Santa Maria RS, com exutório nas coordenadas de longitude 53^o 47' 37,6" oeste e latitude de 29^o 39' 59,5" sul, onde foram instaladas duas estações fluviográficas e uma estação pluviográfica. Apresenta diversos usos do solo, contendo matas nativas e ciliares e áreas urbanas impermeabilizadas (Figura 1). Os solos predominantes são franco-arenosos com tendência erosiva.

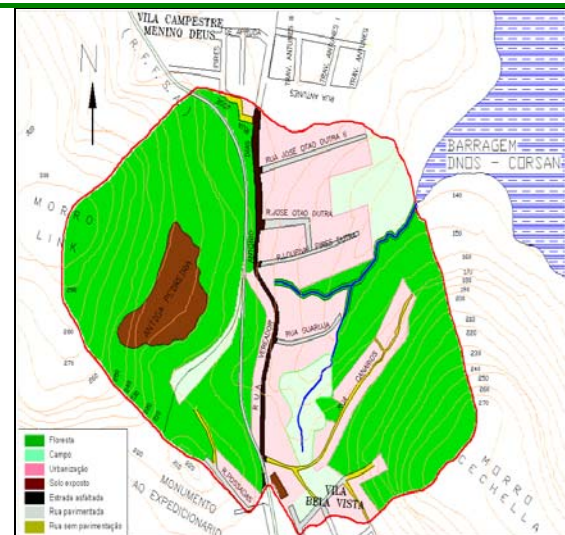


Figura 01 Mapa de Uso e Ocupação.
(Fonte: Bellinaso, 2002).

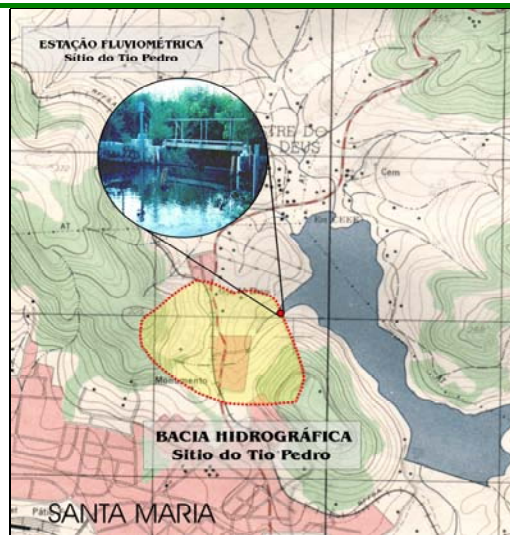


Figura 02 Mapa de localização.
(Fonte: Bellinaso, 2002).

O quadro 1 apresenta as principais características físicas da área estudada.

Determinação das descargas líquidas

A determinação das descargas líquidas da estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro foi feita em duas estruturas de medição, uma situada no leito principal do canal que capta toda contribuição da bacia, e a outra no leito secundário advindo da área urbana.

a) A primeira (**calha 1**) (figura 04), situada no leito principal, é uma estrutura composta de uma calha de fundo plano no centro, com dois vertedores retangulares nas laterais.

A calha foi construída em alvenaria com fundo em concreto. Suas características e dimensões seguiram o esquema da calha de fundo plano proposto por (Scogerboe et all, 1972). A largura da seção de entrada foi fixada em 50cm, a altura em 60cm e o comprimento em 200 cm. A seção de entrada tem convergência de 3:1, e a seção de saída divergência de 6:1.

Quadro 1. Características físicas da bacia em estudo. (**Fonte:** Bellinaso, 2002).

Área da bacia (Km ²)	0,53	Perímetro da bacia (Km)	2,750
Diferença de cotas (m)	130,0	Comprimento do rio principal (Km)	0,890
Altitude máxima (m)	305,0	Coefficiente de compacidade	1,050
Altitude mínima (m)	140,0	Declividade média da bacia (%)	26,800
Fator de forma	0,66	Declividade ponderada do rio principal (m/m)	0,063
Distribuição da área da bacia por faixa de declividade			
Faixa	Área (há)	Faixa	Área (há)
0-5%	5,34	30-47%	9,28
5-12%	7,05	> 47%	9,53
12-30%	22,55		

Os vertedores laterais foram construídos em madeira com larguras de 172cm lado esquerdo e 173 lado direito com altura de 40cm e parede delgada com espessura de 2,58 cm fixado nas bordas da mureta lateral em um tubo de PVC rígido vertical de 100mm. A crista do vertedor foi construída em chapa metálica de aproximadamente 3 mm de espessura. Para assegurar a aeração da lâmina vertente foi fixado abaixo da crista do vertedor, um tubo de PVC de 25 mm, perfurado e com as extremidades em contato com a atmosfera.

b) A segunda estrutura de medição (**calha 2**) (figura 03), foi instalada com objetivo de monitorar o escoamento proveniente da área urbana, foi constituída com uma calha de fundo plano com as mesmas características e dimensões da primeira.



Figura 03. Calha 2 vista de montante



Figura 04. Calha 1 vista de montante

Para o registro das cotas, foi instalado em cada uma das estruturas um linígrafo eletrônico com data logger e uma régua limimétrica tendo como referência o fundo de cada calha.

Determinação das descargas sólidas

As descargas sólidas, tanto de sedimentos em suspensão como de sedimentos de fundo, foram medidas e quantificadas no mesmo período paralelamente com as descargas líquidas. Os procedimentos das medições das descargas sólidas nas estruturas (calha 1), e na calha(2) foram feitas de modo semelhante.

Para as medidas de sedimentos em suspensão na calha 1 e na calha 2, foi utilizado o amostrador de fluxo ascendente tipo US-U-59, fixado à 60 cm de distância da entrada da calha em níveis pré estabelecidos. As amostras foram coletadas e posteriormente analisadas em laboratório no qual foram determinadas as concentrações de sedimentos em suspensão na subida da onda de cheia.

Para a medição das descargas de fundo na estrutura calha 1, nos eventos chuvosos, foi utilizado um amostrador do tipo Helley-Smith US-BL-84, proposto por (Emmett, 1981), com malha de 125mm. Nos

períodos de estiagem foi utilizado o amostrador do tipo fossa de sedimento, modelo proposto por (Waslenchuk, 1976).

O amostrador Halley-Smith, foi posicionado no centro do canal a 12 metros a montante da entrada da calha de medição com tempos de coleta em cada evento variando de 50 a 120 minutos, dependendo a onda de cheia.

Já os amostradores Waslenchuk utilizados, foram posicionados, em três verticais, situadas a 1/3, 1/2 e 2/3 da largura do canal de aproximação, à 11 metros a montante da entrada da calha de medição com tempo de coleta de 48 horas para cada evento monitorado.

Na (calha 2) foram instalados amostradores tipo fossa de sedimentos para a coleta do sedimentos produzido na área urbana e transportada pela enxurrada conforme mostrado na (figura 05). Esses amostradores foram posicionados à 2 metros da entrada da calha de medição, o material foi coletado por evento e recolhido após a passagem da onda de cheia.

Caracterização hidrossedimentométrica

Para a caracterização hidrossedimentométrica da área em estudo foram elaboradas curvas chave para cada uma das estruturas de medições tanto para descargas líquidas como para descargas sólidas.

A obtenção dos dados de vazão para a elaboração das curvas chave das descargas líquidas nas estruturas de medição foram feitas através de medidas das velocidades, sendo utilizado um sensor eletrônico de velocidades configurado para fornecer o valor médio das velocidades pontuais, medidas a cada 5 segundos, em um minuto.

Para a seção de medição (calha 1) foi elaborada uma curva chave para a calha, outra para os vertedores e uma quarta curva chave através da composição da equação da calha com a equação dos vertedores.

As curvas chave da descarga sólida transportadas por arraste de fundo foram obtidas de modo semelhante, através da relação da descarga com descarga do material coletado pelo amostrador Halley-Smith (figura 06) e Waslenchuk na estrutura calha 1 e pelos amostradores tipo fossa de sedimentos, (figura 05), na calha 2.



Figura 5. Amostradores tipo fossa de sedimentos em operação

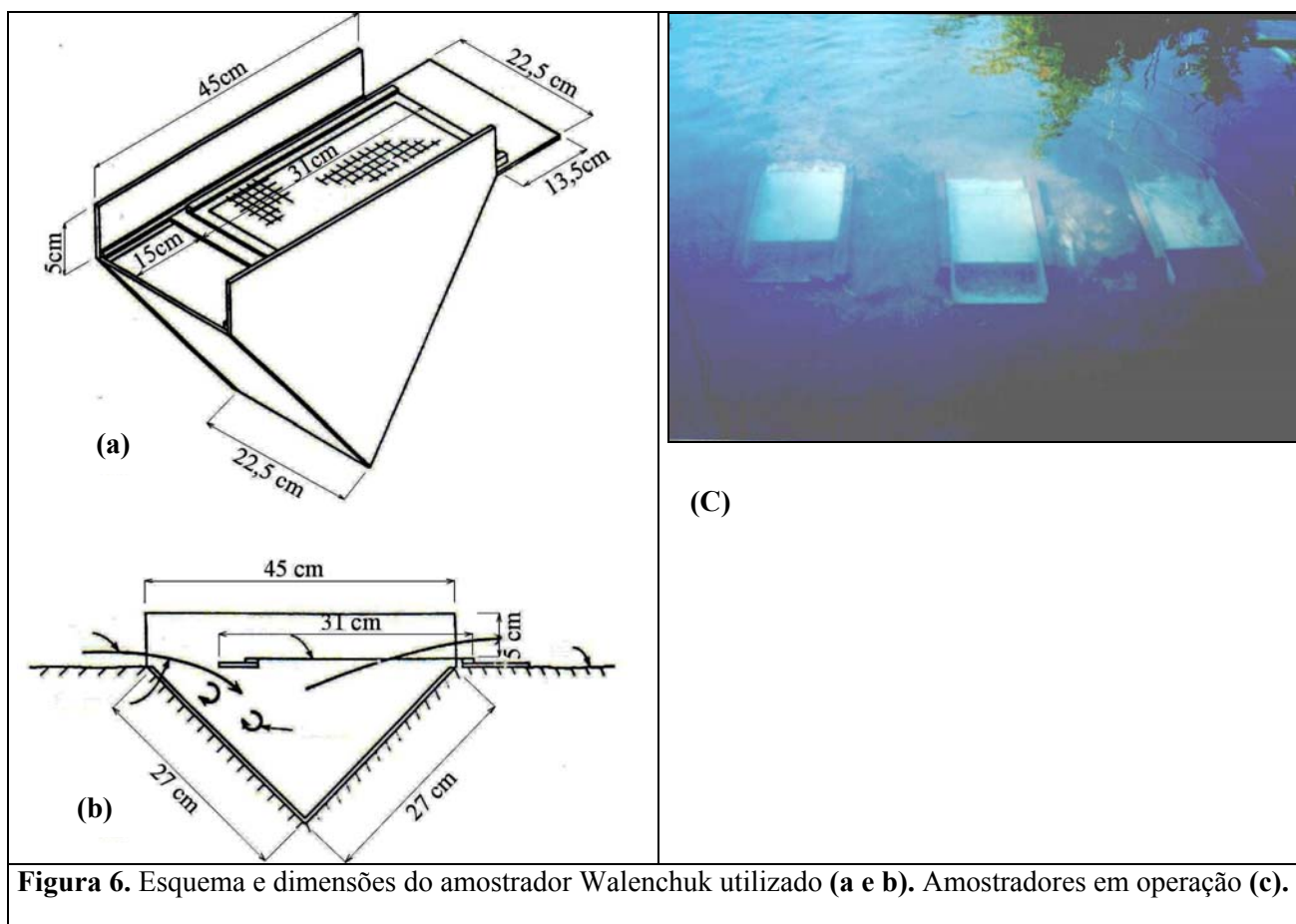


Figura 6. Esquema e dimensões do amostrador Walenchuk utilizado (a e b). Amostradores em operação (c).

Eventos selecionados e o levantamento populacional

Foram selecionados 18 eventos, 9 da estrutura de medição calha 1 e 9 da estrutura de medição calha 2. Foi dada especial atenção aos eventos em que os dados e as amostras fossem representativos, e que não houvessem apresentado problemas em suas medições e nas coletas respectivamente.

Quanto ao levantamento populacional feito in loco, através de entrevista com os moradores, observou-se que a área de contribuição da estrutura de medição da calha 2 abrange quase que a totalidade dos habitantes da área em estudo.

Cálculo da produção de sedimentos

Para o cálculo da produção de sedimentos utilizou-se as curvas chave das vazões estabelecidas pelas descargas líquidas e sua distribuição temporal, fez-se então a separação do escoamento superficial, relacionando-se o volume escoado superficialmente e a vazão de pico de cada evento com as amostras de sedimentos coletadas no mesmo período transformadas em valores (ton/ano).

RESULTADOS E ANÁLISES

Monitoramento Hidrológico

(Calha 1)

As medições nesta seção foram executadas de acordo com a altura da lâmina d'água, sendo que até 26cm de lâmina as descargas escoavam somente dentro da calha. Com altura superior à 26cm a lâmina d'água escoava na calha e nos vertedores laterais simultaneamente. Sendo assim foi elaborada uma curva chave para a calha, outra para cada vertedor individualmente e uma quarta curva chave que foi composta

com os dados da calha mais os dados dos vertedores laterais. A curva-chave da calha foi obtida através de 9 pares de medidas cota-vazão, enquanto que o vertedor do lado direito foi elaborado com 10 e o vertedor do lado esquerdo com 12.

O gráfico e a equação resultante foi baseada na composição dos dados individuais da calha mais os vertedores as equações resultantes foram:

$$Q = 0.387(h)^{1.6772} + 0.003(h - 26)^{3.1851} \quad \text{para } h > 26 \text{ cm} \quad (1)$$

$$Q = 0.387(h)^{1.6772} \quad \text{para } h \leq 26 \text{ cm} \quad (2)$$

Sendo: Q = vazão em l/s e h = lâmina d'água em cm.

(Calha 2)

A confecção da curva-chave desta estrutura foi obtida através de 23 pares de medidas cota-vazão nos mais diferentes níveis linimétricos

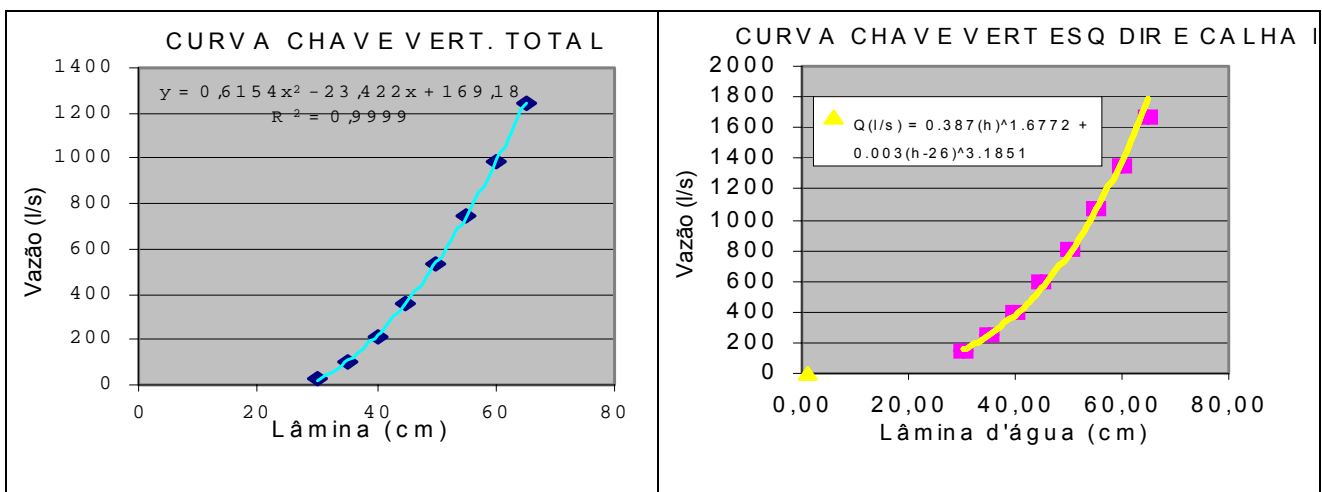


Figura 7. Curva chave do vertedor esquerdo e direito

Figura 8. Curva chave da calha 1 composta

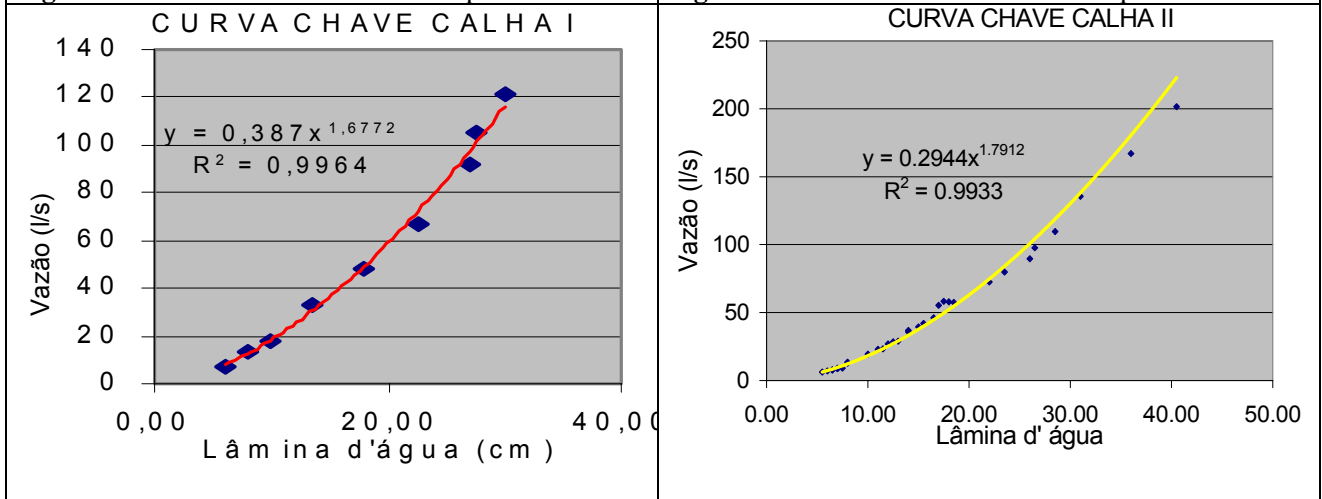


Figura 9. Curva chave da estrutura calha 1.

Figura 10. Curva chave da estrutura calha 2.

Monitoramento sedimentométrico

Sedimentos em suspensão

Os resultados e as curvas chaves dos sedimentos em suspensão foram obtidas através da relação da descarga líquida medida em campo em níveis de lâmina d'água pré estabelecidos e das descargas

sólidas obtidas a partir de amostras de água e sedimentos coletadas com amostradores tipo (US-U-59). As equações de ajuste são apresentadas nas figuras.

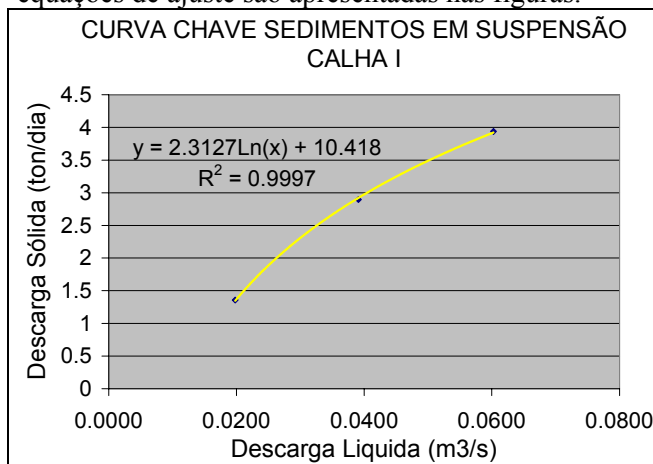


Figura 11. Curva chave de sedimentos em suspensão na calha 1.

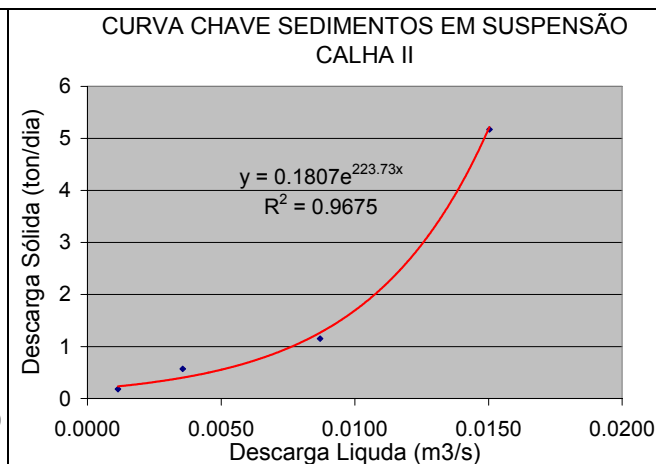


Figura 12. Curva chave de sedimentos em suspensão na calha 2.

Sedimentos coletados nos medidores tipo fossa

Os resultados e as curvas chave dos sedimentos de fundo e totais para a calha 1, foram obtidas através da relação entre a descarga líquida medida em campo e a descarga sólida obtida através de material coletado pelos amostradores Halley-Smith e Waslenchuk tipo fossa de sedimentos figuras 13 e 14. As figuras 17 apresenta a relação entre a descarga sólida total e o produto da descarga líquida pela vazão de pico. A figura 18 apresenta a relação entre a descarga sólida total e o volume escoado superficialmente.

Na calha 2 a quantidade de sedimentos coletada nos amostradores proveniente da área urbana, foi relacionada com o volume total escoado e com o produto do volume escoado pela vazão de pico. As curvas correspondentes são apresentadas nas figuras 15 e 16. As equações de ajuste são apresentadas nas figuras.

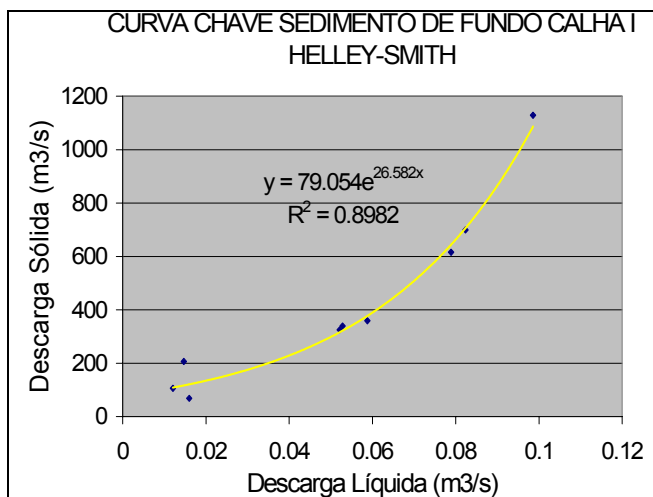


Figura 13. Curva Chave de sedimento de fundo na calha 1, obtida com o amostrador Helley Smith

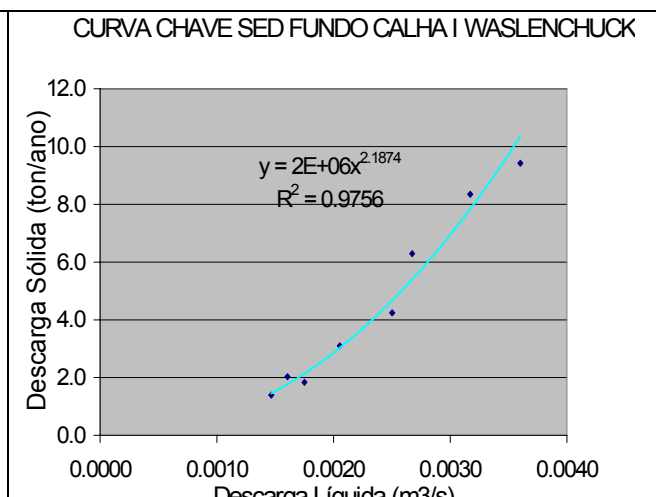


Figura 14. Curva Chave de sedimento de fundo na calha 1, obtida com o amostrador Waslenchuk.

Eventos e dados populacionais

Durante o período compreendido de 16 de maio à 30 de dezembro de 2003, foram selecionados os seguintes eventos:

Eventos	Calha 1	Calha 2	eventos	Calha 1	Calha 2
1	22 /05/ 2003	16 /06 / 2003	6	27 /07/ 2003	31 /10 / 2003
2	16 /06/ 2003	08 /07 / 2003	7	05 /08/ 2003	05 /11 / 2003
3	21 /06/ 2003	21 /09 / 2003	8	24 /09/2003	11 /12 / 2003

4	08 /07/ 2003	08 / 10 / 2003	9	11 /12 / 2003	15 / 12 / 2003
5	15 /07/2003	25 / 10 / 2003			

Na calha 1 o evento medido que apresentou o maior volume superficial escoado foi o de 11 de dezembro de 2003 com 1429,410 m³, e na calha 2 foi o de 15 de dezembro de 2003 com 227,576 m³.

Quanto aos dados populacionais observou-se a existência de 42 edificações de origem residencial com aproximadamente 210 habitantes, localizadas na área de contribuição da calha 2 com 0.1023 Km².

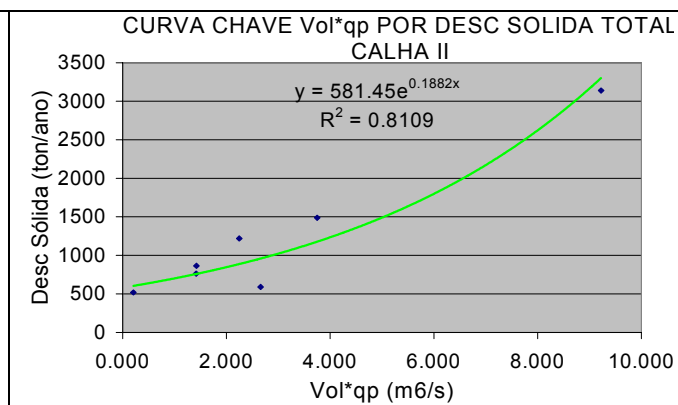
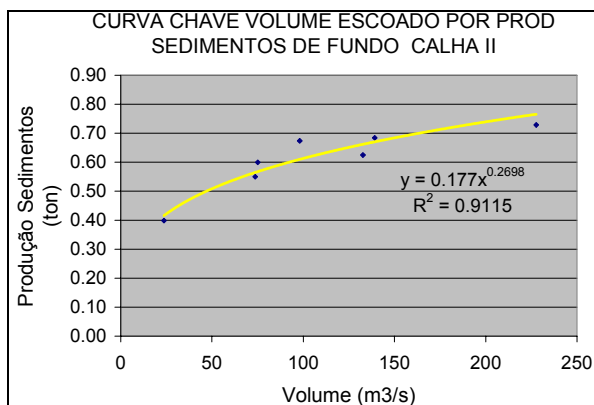


Figura 15. Relação entre a produção de sedimentos e o volume escoado para a calha 2.

Figura 16. Relação entre a descarga sólida e o produto $Vol_{sup} \times q_{p2}$ para a Calha 2.

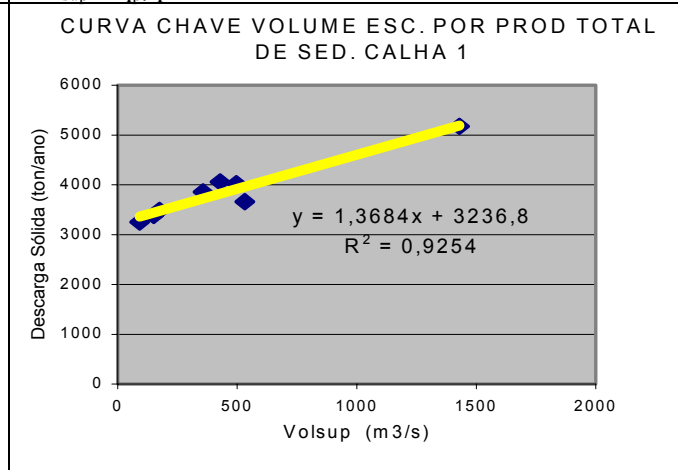
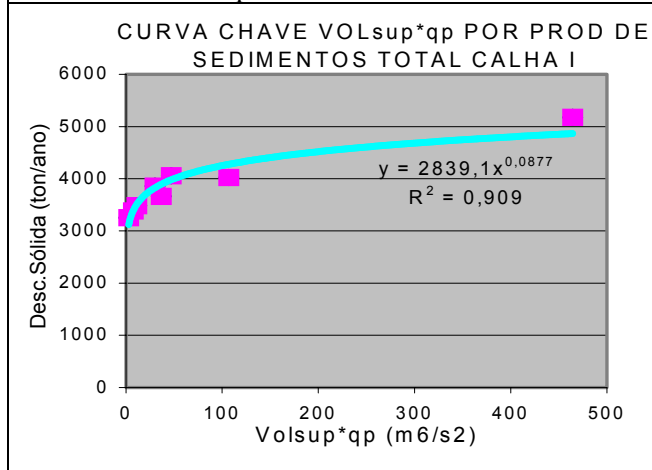


Figura 17. Relação entre a descarga sólida e o prod. da vazão de pico $Q_{vol_{sup}} \times q_p$, para a calha 1.

Figura 18. Relação entre a descarga sólida total e o volume superficial escoado para a calha 1.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a caracterização de duas pequenas áreas em fases distintas de urbanização em uma pequena bacia urbana de encosta com área de 0.53 Km², em termos hidrológicos e sedimentológicos. Foram instaladas duas estações de medição com o objetivo de caracterizar vazões máximas, médias e mínimas ao longo do tempo em períodos chuvosos e de estiagem, o transporte de sedimentos e as características granulométricas do material transportado.

Foram obtidos bons ajustes entre a produção de sedimentos e o produto do volume escoado pela vazão de pico, com coeficiente de determinação $R^2 = 81,09$ para a área com alto índice de urbanização, e $R^2 = 90,90$ para a área em fase incipiente de urbanização.

Na área urbana, em 9 eventos analisados, foi obtido um coeficiente de determinação $R^2 = 91,15$, para o ajuste entre a produção de sedimentos e o volume de escoamento superficial. A produção de sedimentos média nesta área foi de 0.0055 ton/ m³ de água escoada superficialmente.

BIBLIOGRAFIA

ALFARO, J. F. Medidas de águas em canales por medio del afoyador sin cuello. 1974. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 1., Porto Alegre, 1974. Anais.

BELINASSO, T.B. - Produção de Sedimentos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Urbana de Encosta. 300 p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

BRANCO, N. Avaliação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural de Encosta. Santa Maria – RS. 119p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 1998.

LEITE, L.A. K.; MOUCHEL, J.M. Contribuição à modelagem da poluição difusa de origem agrícola: transporte de sólidos em suspensão e de nitrogênio em pequenas bacias hidrográficas. RBE- Caderno de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.8, n.1, p.5-20, 1990.

PAIVA, E.M.C.D., PAIVA, J.B.D., COSTAS, M.F.T., SANTOS, F..A .Concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica em urbanização. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,, 2001, João Pessoa. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D.; VILLELA, S.M. Avaliação da descarga de sedimentos afluyente à captação da estação elevatória I do projeto de transposição das águas do Rio São Francisco. RBE-Caderno de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.13,n.2,p.47-79,1995.

TUCCI, C.E.M.; SANCHES, J.; SIMÕES LOPES, M.º Modelo matemático precipitação – vazão IPH II. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1980. (Publicação 3).