

AVALIAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA POR ARRASTE DE FUNDO E SUA RELAÇÃO COM A DESCARGA EM SUSPENSÃO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA

Tarcisio Barcellos Bellinaso¹ & João Batista Dias de Paiva²

Resumo - Este trabalho apresenta resultados do monitoramento hidrossedimentométrico de uma pequena bacia hidrográfica de encosta, em fase de urbanização, localizada entre a longitude 53° 47' 37,6" oeste e a latitude 29° 39' e 59,5" sul de Greenwich, na cidade de Santa Maria, RS, com o objetivo de avaliar e relacionar as descargas sólidas em suspensão e por arraste de fundo. Foram feitas medições em períodos secos e chuvosos e nas fases de subida e descida da onda de cheia. O material do leito tem a seguinte composição granulométrica: 2% de silte, 12% de areia fina, 62% de areia média, 17% de areia grossa e 7% de pedregulho. Na faixa de vazões estudadas, variando de 0,0513 m³/s a 1,085 m³/s, os resultados mostram na subida da onda de cheia, a descarga de sedimentos em suspensão, na secção estudada, representa 97,7% da descarga total de sedimentos enquanto que na descida da onda de cheia a descarga de sedimentos por arraste de fundo é desprezível em relação a descarga de sedimentos em suspensão, que representa 99,999% da descarga total de sedimentos.

Abstract - This work shows results of the hydro sedimentmetric monitoring of a little hydrographic basin of slope, on process of urbanization, placed at 53° 47' 37,6" W and 29° 39' 59,5" S from Greenwich, on the city of Santa Maria, RS with the objective to evaluate and to relate the solid discharges on suspension and by bottom dragging. Were made measurements on dry and rainy periods and on the phases of ascent and descent of the overflow wave. The material of the river-bed have the following granulometric composition: 2% of *silte*, 12% of thin sand, 62% of media sand, 17% of thick sand and 7% of hail. On the range of flows studied, varying from 0,0513 m³/s to 1,085 m³/s, the results show that on the ascent of the overflow wave, the discharge of the sediments on suspension, on the section studied, represent 97,7% of the total discharge of sediments. By the other hand, on the descent of the overflow wave the discharge of sediments by the bottom dragging is despicable on relation to the discharge of sediments on suspension, that represents 99,999% of the total discharge of sediments.

¹ Departamento de Hidráulica e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: tbellinaso@bol.com.br

Palavras-chave - Sedimentos de Fundo, Sedimentos em Suspensão, Monitoramento Hidrossedimentométrico, Pequenas Bacias Hidrográficas.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Segundo Paiva (2001, p. 313), a quantidade total de sedimentos transportada por um curso d'água pode ser expressa como:

$$Q_{st} = Q_{sf} + Q_{ss} + Q_{sb}$$

onde:

Q_{st} = descarga total de sedimentos (total load);

Q_{sf} = descarga de sedimentos transportada por arrasto de fundo (bed load);

Q_{ss} = descarga de sedimentos proveniente do fundo, transportada em suspensão (suspended load);

Q_{sb} = descarga de sedimento transportada em suspensão proveniente da bacia hidrográfica (wash load ou deplúvio).

O transporte por arrasto de fundo, usualmente se dá por saltos, rolamento e deslizamento no interior de uma fina camada do escoamento, próxima ao fundo, usualmente definida como camada de fundo (espessura usualmente considerada igual 2 vezes o diâmetro característico do material de fundo).

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a descarga sólida por arraste de fundo relacionando-a com a descarga em suspensão.

REVISÃO DE LITERATURA

Amostradores de sedimento de fundo

Segundo Linsley *apud* Villela & Mattos (1975, p. 234), não há nenhum amostrador de sedimentos de fundo inteiramente satisfatório. Existem basicamente dois tipos de amostradores de sedimentos de fundo: amostrador tipo diferença de pressão e tipo cova, fenda ou poço.

O amostrador tipo diferença de pressão, opera por diferença de pressões. Nesse amostrador a entrada de água consiste, inicialmente, em um estreitamento com posterior expansão que causa uma diminuição de pressão e, posteriormente, diminuição de velocidade, facilitando assim a retenção do sedimento.

Amostrador Arnhem ou Holandês

De acordo com Simons & Sentürk (1977, p. 631), o amostrador Arnhem ou Holandês é o melhor amostrador conhecido de diferença de pressão (figura 01). Os projetos mais recentes de amostradores de carga de fundo são principalmente deste tipo. A eficiência destes amostradores é

muito boa. Amostradores semelhantes foram desenvolvidos por Vinckers *et alii* (1953), por Novak (1959) e pelo *U.S. Corps of Engineers* (Hubbell, 1964).

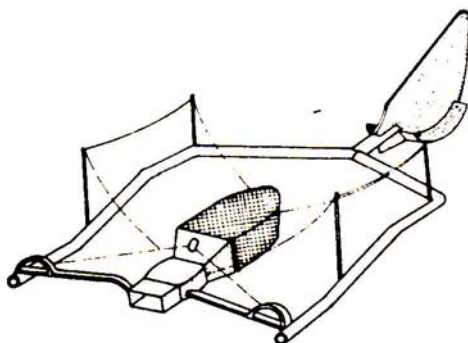


Figura 01 - Amostrador de sedimento de fundo Arnhem ou Holandês.
(Graf, 1984, p. 362).

Amostrador Helley-Smith

Helley & Smith (1971), citados por Emmett (1981), Yuqian (1989) e Carvalho (1994), desenvolveram um amostrador de sedimento de fundo, que é uma versão estruturalmente modificada do amostrador Arnhem ou Holandês. Foi projetado para ser usado em escoamentos com velocidades de até 3,0 m/s e diâmetros de sedimentos de 2 a 10 mm. A sua seção de entrada mede 7,62 x 7,62 cm e a abertura que segue foi aumentada para 15,2 x 15,2 cm, conforme figura 10.

O sedimento transportado no leito fica contido numa saca de náilon. A eficiência de amostragem é de 100 % para areia grossa e pedregulho, com material do leito de 0,5 a 16 mm.

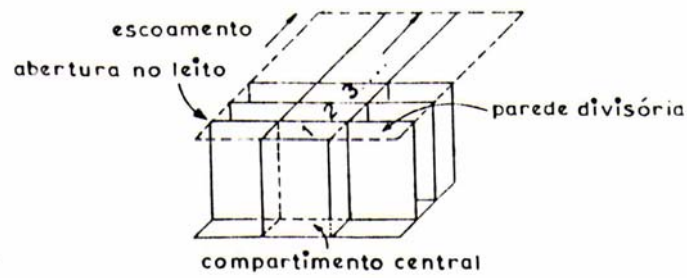
Amostradores de cova, fossa ou poço

Conforme descrito por Simons & Sentürk (1977, p. 630), os amostradores tipo cova consistem de uma depressão instalada no fundo do canal para coletar e acumular a carga de fundo.

Segundo Carvalho (1994, p. 91) os amostradores de fenda ou poço são os mais precisos na determinação da descarga de fundo, sendo também o mais dispendioso.

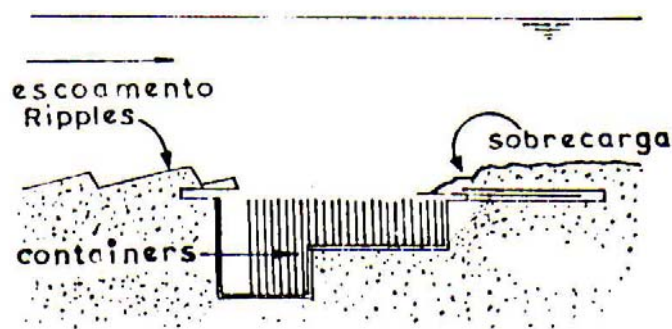
Amostrador armadilha compartimentada

Murphy & Amin (1979), citado por Paiva (1988, p. 38), propuseram uma armadilha compartimentada para sedimentos, que consiste de uma caixa impermeável, com tampa corrediça e um grande número de compartimentos removíveis. Durante a medição, os compartimentos são cheios com os sedimentos que se movem sobre o leito do rio.



a) Compartimentos removíveis.

Baseia-se no princípio que partículas de diâmetros maiores tem comprimento de salto menor que as partículas de diâmetros menores, permitindo assim, obter-se o arrasto de fundo por frações de diâmetro, da amostra total de sedimentos, com um particular comprimento de salto.



b) Armadilha no fundo do rio.

Figura 02 - Armadilha compartimentada para sedimento.
(Murphy & Amin, 1979).

Amostrador Waslenchuk (1976)

O amostrador tipo fossa de sedimentos proposto por Waslenchuk (1976, p. 748), (figura 03), consiste de três componentes: um amostrador em forma de cunha-moldada (A), uma tampa deslizadora (B), e uma tela de malha com peneira (C).

O amostrador é instalado de forma que a tampa esteja em nível com a superfície do fundo e de forma que as laterais façam um ângulo de 90° com a secção transversal do escoamento (D), e fiquem paralelas à direção do escoamento.

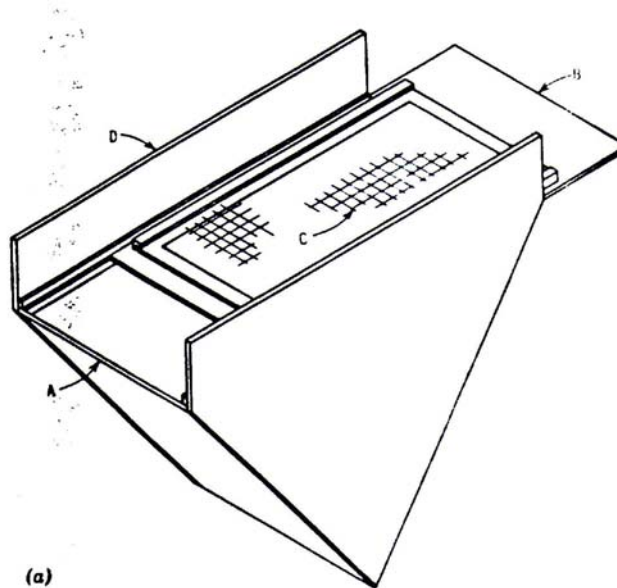


Figura 03 - Amostrador Waslenchuk (Waslenchuk, 1976, p. 748).

Amostrador em forma de cunha-moldada (A);
Tampa deslizadora (B); e;
Tela de malha com peneira (C).
Em operação, as laterais devem fazer 90° com o fundo (D).

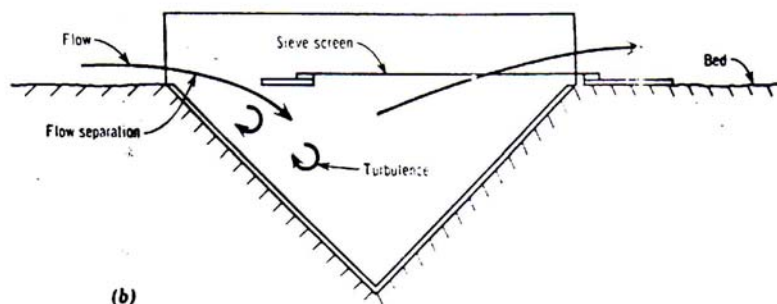


Figura 04 - Vista lateral do amostrador Waslenchuk.
(Waslenchuk, 1976, p. 748).

As dimensões do amostrador Waslenchuk (1976), são de 305 mm x 150 mm x 100 mm, com as duas laterais salientes de 50 mm sobre a tampa, podendo variar para cada aplicação pretendida.

Conforme Einstein *apud* Waslenchuk (1976, p. 749), a melhor largura do amostrador é de 100 a 200 diâmetros das partículas, porém, a efetividade do amostrador na coleta de todas as partículas de carga de fundo, provavelmente será visivelmente aparente para o operador, que pode ser aperfeiçoado aumentando a largura.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica estudada

Os estudos foram desenvolvidos na bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro (Figura 05), localizada à montante da barragem do DNOS, na localidade do Campestre do Menino Deus, a nordeste da cidade de Santa Maria - RS. Para o seu desenvolvimento foi instalada uma estação fluviométrica, na rua Lourival Pires Dutra, nº 210, em ponto cujas coordenadas geográficas são 53°47'37" oeste e 29°39'59" sul de Greenwich.

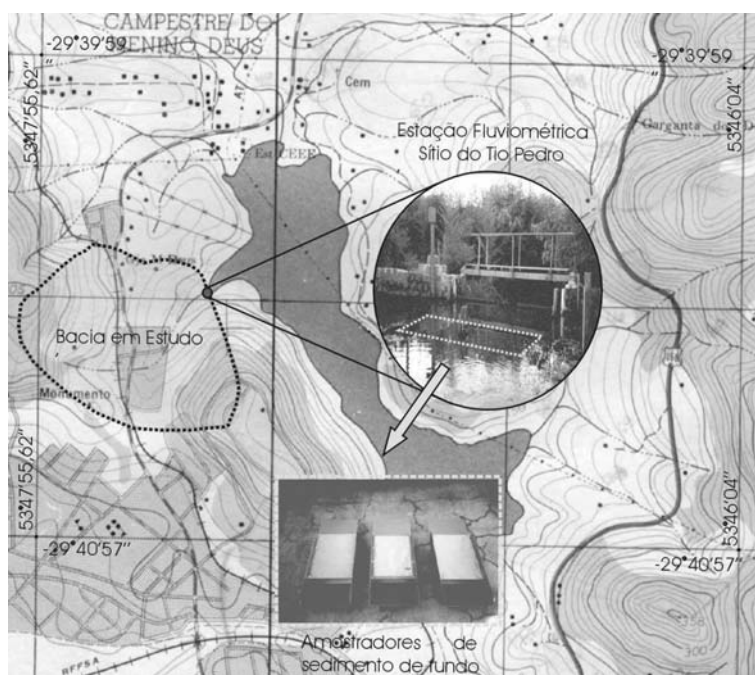


Figura 05 - Mapa da localização da bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro em relação ao reservatório do DNOS e os amostradores de sedimento de fundo Waslenchuk.

Características físicas da bacia estudada

A tabela 1 apresenta as principais características físicas da bacia estudada. A vegetação é composta de mata nativa, nos morros, e ciliar, estando em menores proporções áreas de capoeiras e pousio. Não há ocorrência de áreas utilizadas para pecuária, nem a existência de campo nativo e pastagem artificial. Essa região apresenta uma elevada densidade populacional, sendo na maior parte uma área residencial em constante crescimento, onde na maioria das ruas encontram-se pavimentadas com urbanização desordenada sem sistema público de coleta de esgotos. Na zona de

encosta está se desenvolvendo uma área de invasões com moradias precárias e sem infraestrutura sanitária.

Tabela 1 - Características físicas da bacia estudada.

Área da bacia (Km ²)	0,53	Perímetro da bacia (Km)	2,75
Diferença de cotas (m)	130,0	Comprimento do rio principal (Km)	0,89
Altitude máxima (m)	305,0	Coeficiente de compacidade	1,05
Altitude mínima(m)	140,0	Declividade média da bacia(%)	26,80
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		

Estruturas hidráulicas de medição

As medidas de descarga líquida foram realizadas em duas estruturas de medição e em dois períodos distintos, a saber:

a) Em um vertedor de seção retangular composto, que ficou em operação no período de 01° de junho de 2000 a 19 de abril 2001; e;

b) Em uma estrutura composta de calha de fundo plano, no centro da seção de medição e dois vertedores retangulares nas laterais, a partir de 19 de abril de 2001.

Características do vertedor retangular composto

As características do vertedor retangular composto são um retângulo menor de 15 cm de altura por 94 cm de largura e dois retângulos maiores de 40 cm de altura e 420 cm de largura (Figura 06). O vertedor foi construído em madeira, no qual foi fixado um tubo de PVC rígido de diâmetro de 25 mm e uma chapa metálica em toda a sua largura, com o objetivo de garantir a ventilação da lâmina e assegurar condições de não aderência. Nas laterais foram fixadas tubos de PVC rígido de 100 mm, chumbados nas bordas na posição vertical, para que a lâmina d'água não cole nas paredes.



Figura 06 - Vertedor retangular composto vista de jusante, na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.

Características da calha de fundo plano

Em 19 de abril de 2001, em função de dificuldades operacionais causadas pelo acúmulo de lixo, o vertedor teve seu vão central substituído por uma calha de fundo plano (Alfaro, 1974).

A calha foi construída em paredes de tijolo maciço, com reboco fino desempenado e impermeabilizado internamente. As dimensões adotadas para a calha foram: largura da seção de entrada de 50 cm, a altura de 60 cm e comprimento de 2,00 m. Para a medição da altura d'água no interior da calha foi instalada uma régua metálica graduada em milímetros, com o zero coincidindo com o fundo da calha.



Figura 07 - Calha de fundo plano, instalada na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.

Amostragem de sedimento em suspensão

As coletas de amostras de sedimento em suspensão foram feitas com amostrador AMS-1 (US-DH-48), figura 8, com bico de $\frac{1}{4}$ " , em dois pontos , nos lados direito e esquerdo da calha durante a ocorrência das cheias.

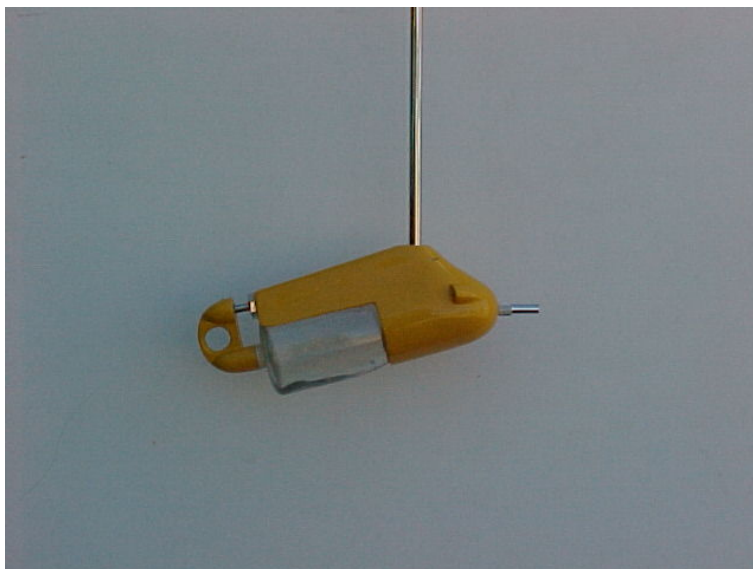


Figura 08 - Amostrador AMS-1 (US-DH-48), utilizado na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.

Amostragens de sedimento de fundo

Para a determinação da descarga sólida por arraste de fundo foram feitas medições diretas, usando amostradores Helley-Smith (US-BL-84, modelo 8030, com saca de malha de 0,125 mm), por ocasião das cheias e amostradores tipo fossa de sedimentos, modelo Waslenchuk (1976), em períodos de estiagem.

Sempre que o amostrador Helley-Smith foi colocado em operação, foi tomado cuidado para que a saca de amostragem não transbordasse ou para que não houvesse o enchimento total da mesma.

Sempre que os amostradores Waslenchuk foram colocados em operação, foi tomado cuidado para que os mesmos não transbordassem ou para que não houvesse o seu enchimento total.

Características do amostrador Helley-Smith

Neste trabalho foi utilizado o amostrador Helley-Smith, US-BL-84, modelo 8030, que tem bocal de entrada quadrado de 7,62 x 7,62 cm seguido de uma secção divergente com secção de saída de 9,40 x 8,50 cm, conforme indicado nas figuras 9 e 10.

A saca de amostragem tem 46 cm de comprimento e coleta na parte de trás do bocal o sedimento de arrasto de fundo, que fica armazenado na bolsa de amostra. A saca de amostragem, utilizada neste trabalho, consiste de uma tela de poliéster com malhas de abertura de 0,125 mm e área superficial de aproximadamente 1900 cm². A figura 11 apresenta o amostrador em operação na secção de medição.

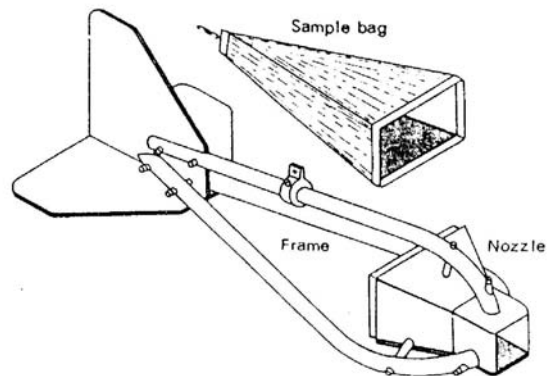


Figura 09 - Amostrador Helley-Smith, US-BL-84, modelo 8030. (Emmett, 1981, p. 5).

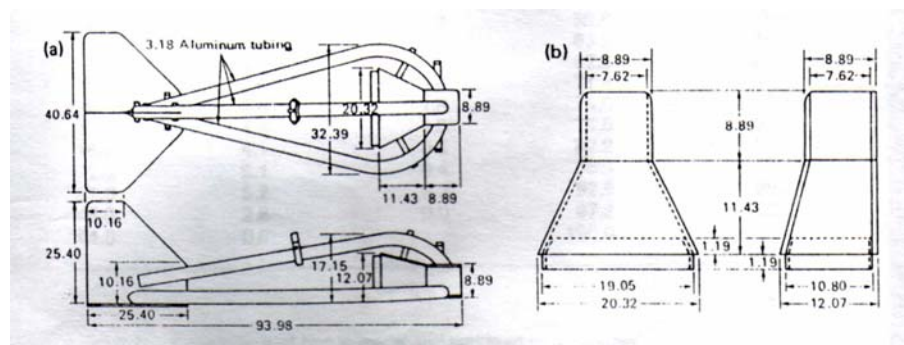


Figura 10 - Elevação e vista lateral do amostrador Helley-Smith e o bocal do amostrador. Todas dimensões em centímetros. (Emmett, 1981, p. 5).



Figura 11 - Amostrador Helley-Smith em operação, na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.

Características do amostrador Waslenchuk

Os amostradores modelo Waslenchuk (1976), utilizados neste trabalho, foram confeccionado em chapa de aço nº 12. Os amostradores constam de uma entrada e uma saída. Na saída está instalado uma tela confeccionada com tecido de aço inox, com malha 325, abertura 0,042 mm, que permite a coleta de material até a granulometria correspondente a areia muito fina.

Foram utilizados 3 amostradores, cujas dimensões são apresentadas na figura 12, instalados a aproximadamente 1/2, 1/6 e 5/6 da largura da secção transversal, conforme ilustrado na figura 13.

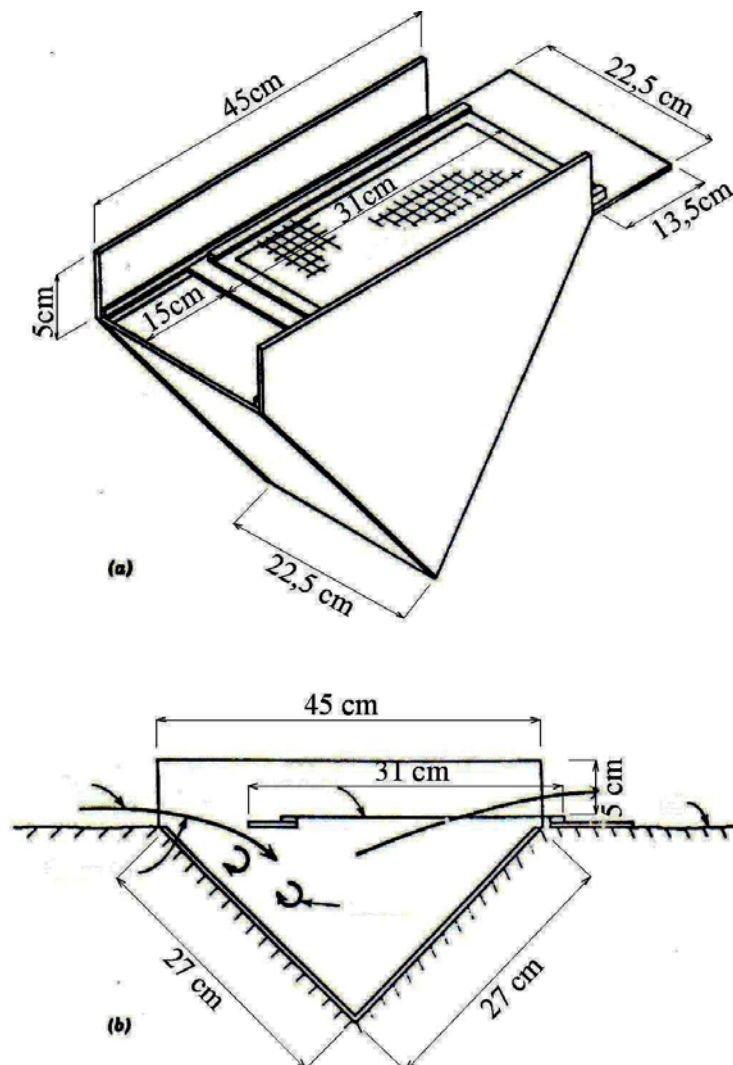


Figura 12 - Dimensões do amostrador Waslenchuk utilizado na bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.



Figura 13 - Amostrador Waslenchuk em operação, na estação fluviométrica Sítio do Tio Pedro, Santa Maria/RS.

Caracterização hidrossedimentométrica da bacia estudada

Curva chave de vazões

Para a obtenção das curvas chave de vazões foram feitas medições em diferentes níveis linimétricos, em verticais pré-determinados, para cada estrutura de medição, no período de funcionamento do vertedor e da estrutura calha + vertedores laterais. No caso da estrutura calha + vertedores laterais, foi feita uma composição das equações das curvas chaves da calha com as do vertedor, na faixa de vazões correspondentes a cota maior que 26 cm.

Curva chave de sedimento em suspensão

As curvas chave de sedimentos em suspensão foram obtidas através da relação entre a descarga sólida Q_{ss} e a descarga líquida Q_l , medida em campo nos mais diferentes níveis linimétricos, para cada estrutura de medição, vertedor e estrutura calha + vertedores laterais.

A variação das concentrações de sedimentos durante a passagem da cheia foi obtida através da determinação da concentração de amostras da mistura água+sedimento no ramo ascendente, pico de cheia e ramo descendente da onda de cheia. Foram feitas equações distintas para a subida e para a descida da onda de cheia.

As amostragens de sedimentos em suspensão foram feitas com o amostrador AMS-1, dentro da calha, a 60 cm à montante do estrangulamento da mesma, sempre em eventos chuvosos nos mais diferentes níveis linimétricos, nas posições a direita e a esquerda na calha, isto é, 1/3 e 2/3 da seção transversal.

Curva chave de sedimento de fundo

As curvas chave de sedimentos de fundo, foram obtidas através da relação entre a descarga sólida Q_{sf} e descarga líquida Q_l , medida em campo nos mais diferentes níveis linimétricos, para cada estrutura de medição, vertedor e estrutura calha + vertedores laterais. Foi utilizado o amostrador Waslenchuk em períodos de seca e Helley-Smith durante as cheias para a confecção das curvas chaves.

Dados coletados com o amostrador Helley-Smith

O amostrador Helley-Smith, desenvolvido por Helley & Smith (1971), foi utilizado para coleta de sedimento de fundo para determinação da descarga sólida de sedimento do leito.

O amostrador foi colocado em operação durante o período de 25 de agosto de 2000 a 30 de setembro de 2001, e sua posição de coleta foi a 12 metros em relação a seção transversal, na área de aproximação à montante do vertedor.

Foram analisados 13 amostras coletadas em 10 eventos de cheia que ocorreram durante o período.

Dados coletados com o amostrador Waslenchuk

Os amostradores foram colocados em operação durante o período de 04 de agosto de 2000 a 13 de agosto de 2001, e sua posição de coleta foi a 11 metros em relação a seção transversal, na área de aproximação à montante do vertedor. Os amostradores foram instalados durante períodos de 48, 72 e 96 horas para a coleta das amostras em épocas de estiagem. Foram analisados 30 amostras coletadas no período compreendido de 04 de agosto de 2000 a 13 de agosto de 2001. Foram coletadas 27 amostras durante os períodos de estiagem e 3 amostras em evento chuvoso. Para as amostras coletadas em evento chuvoso, foi tomado cuidado para que os amostradores não transbordassem, deixando os mesmos em um período máximo de 1 hora.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO HIDROSEDIMENTOMÉTRICA

Dados de vazão

A seguir são apresentadas as equações da curva-chave e os coeficientes de correlação (R^2) do vertedor e da calha, respectivamente.

Vertedor

Devido às características do vertedor, de seção retangular composto, foi confeccionado uma curva-chave com lâmina d'água menor que 17,4 cm ($h < 17,4$), isto é, a água escoava somente no vão central do vertedor, de 15 cm de altura por 94 cm de largura. Nesse caso o vertedor não está transbordando. Foi confeccionada, também, uma curva-chave com lâmina d'água maior que 17,4 cm ($h \geq 17,4$), isto é, a água escoava no vão central do vertedor e nos vãos laterais de 40 cm de altura por 2,10 m de largura cada. Para o vertedor com $h < 17,4$ cm a curva-chave da seção foi obtida através de 14 pares cota-vazão medidos em condições reais.

As equações que representam a curva-chave de vazão do vertedor são:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 1,9678 (h^{1,5})^{1,3721} \text{ para } h < 0,174 \text{ m com } R^2 = 0,8680 \quad (01)$$

e

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 11,583 (h - 0,15)^{1,5} + 0,0152 \text{ para } h \geq 0,174 \text{ m com } R^2 = 0,9192 \quad (02)$$

Calha de fundo plano

Para a calha a curva-chave da seção foi obtida através de 23 pares cota-vazão medidos em condições de campo. A estrutura calha + vertedores laterais entrou em operação em 19 de abril de 2001. Foram confeccionadas duas equações, uma para lâminas d'água menores que 26 cm ($h \leq 26$), quando a água escoava somente pela calha e os vertedores laterais não estão transbordando e outra para lâmina d'água maior que 26 cm ($h > 26$), quando a água escoava pela calha e pelos vertedores que estão transbordando. Para a calha com $h \leq 26$ cm, a curva-chave da seção foi obtida através de 15 pares cota-vazão medidos em condições reais.

A equação obtida foi:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 1,0085 h^{1,8557} \text{ para } h \leq 0,26 \text{ m com } R^2 = 0,9722 \quad (03)$$

Para $h > 26$ cm, a equação da curva chave da seção foi obtida através de 5 pares cota-vazão medidos em condições reais. A equação obtida foi:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 1,0085 h^{1,8557} + 8,0116 (h - 0,26)^{1,5} + 0,015 \text{ para } h > 0,26 \text{ m} \quad (04)$$

Nas equações (01), (02), (03) e (04) "Q" representa a vazão em m³/s e "h" a cota média do nível d'água, em metros.

Curvas chave de sedimentos em suspensão

As equações obtidas para a curva chave de sedimentos em suspensão na descida da onda de cheia foram:

$$Q_{ss} = 119,69 Q_l^{1,6523} \text{ para } Q_l \leq 0,97 \text{ com } R^2 = 0,9883 \quad (05)$$

e

$$Q_{ss} = 128,22 Q_l^{10,961} \text{ para } Q_l > 0,97 \text{ com } R^2 = 0,9913 \quad (06)$$

Para a subida da onda de cheia a equação obtida para a curva chave de sedimentos em suspensão foi:

$$Q_{ss} = 11,196 e^{3,2282 \cdot Q_l} \text{ para } 0,06 < Q_l \leq 1,085 \text{ m}^3/\text{s} \text{ com } R^2 = 0,9754 \quad (07)$$

Nas equações (05), (06) e (07) Q_{ss} representa a descarga sólida em ton/dia e Q_l representa a vazão em m^3/s .

Curvas chave de sedimentos de fundo

Para o amostrador Helley-Smith, durante a subida da onda de cheia, a equação que representa a curva-chave de sedimento obtida é:

$$Q_{sf} = 1030,5 Q_l^{0,8291} \text{ para } 0,0519 < Q_l \leq 1,085 \text{ m}^3/\text{s} \text{ com } R^2 = 0,9516 \quad (08)$$

Na descida da onda de cheia a equação obtida para a descarga de fundo foi:

$$Q_{sf} = 0,1737 Q_l^{1,8573} \text{ para } 0,057 < Q_l \leq 0,118 \text{ m}^3/\text{s} \text{ com } R^2 = 0,7043 \quad (09)$$

Para o amostrador Waslenchuk, para os valores médios encontrados, a equação que representa a curva-chave de sedimento por arraste de fundo obtida é:

$$Q_{sf} = 0,6527 e^{94,776 Q_l} \text{ para } Q_l \leq 0,0513 \text{ m}^3/\text{s} \text{ com } R^2 = 0,925 \quad (10)$$

Nas equações (08), (09) e (10) Q_{sf} representa a descarga sólida em ton/ano e Q_l representa a vazão em m^3/s .

Análise granulométrica do sedimento de fundo

Foi realizada análise granulométrica do sedimento de fundo e de sedimento transportado por arraste de fundo coletados com os amostradores Helley-Smith e Waslenchuk, obtendo-se os resultados apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização granulométrica do sedimento do leito e transportado por arraste de fundo.

Tipo de material do sedimento de fundo	Material do leito	Material coletado com o amostrador Helley-Smith	Material coletado com os amostradores Waslenchuk
1. Argila	0%	0 %	0 %
2. Silte	2%	2 %	6 %
3. Areia Fina	12%	5 %	30 %
4. Areia Média	62%	76 %	58 %
5. Areia Grossa	17%	17 %	6 %
6. Pedregulho	7%	0 %	0 %
Total	100%	100 %	100 %

RELAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA COM A DESCARGA EM SUSPENSÃO

Foi confeccionada uma curva relacionando a descarga sólida de sedimento em suspensão com a descarga sólida total e três curvas relacionando a descarga sólida de sedimento em suspensão, a descarga sólida de sedimento de fundo e a descarga sólida total, conforme figuras 14 e 15, respectivamente, ambas para subida da onda de cheia com Q_1 variando de 0,06 a 1,085 m³/s.

Os resultados mostram que na subida da onda de cheia, descarga de sedimentos em suspensão, na secção estudada, representa 97,7% da descarga total de sedimentos. Na descida da onda de cheia a descarga de sedimentos por arraste de fundo foi desprezível em relação a descarga de sedimentos em suspensão, que representa 99,999% da descarga total de sedimentos.

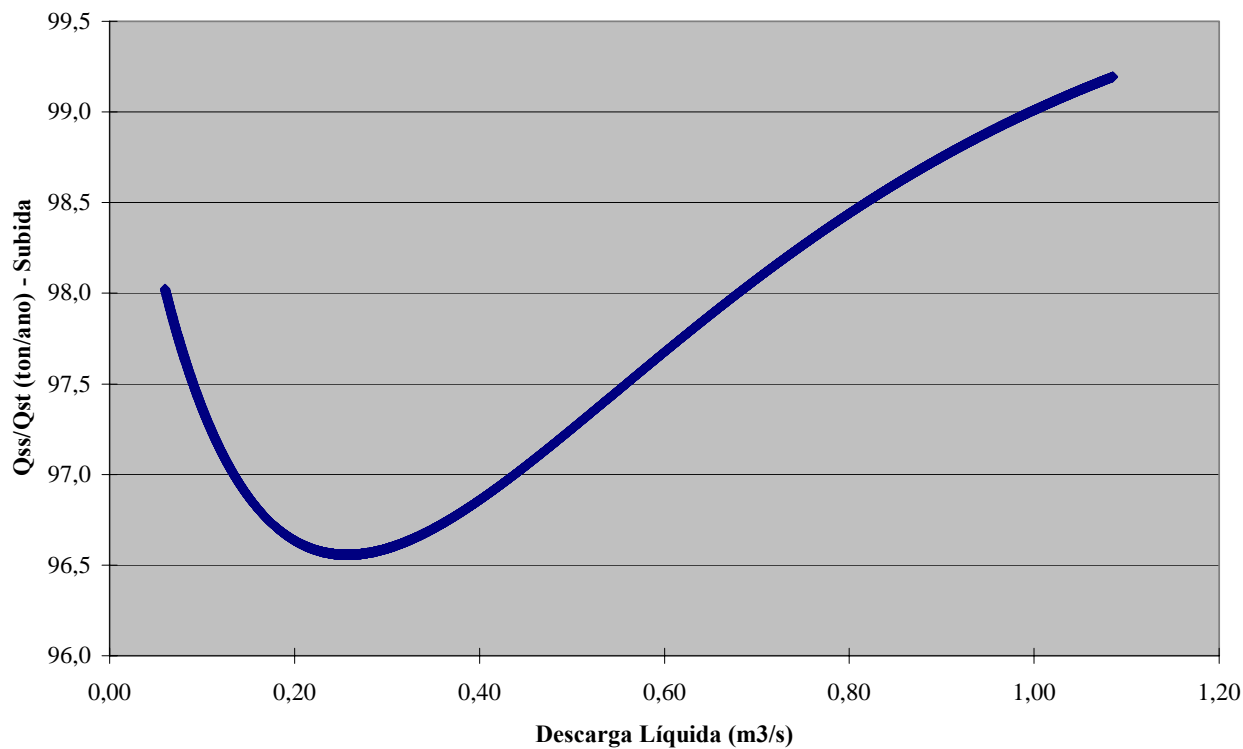


Figura 14 - Relação entre a descarga sólida de sedimento em suspensão com a descarga sólida total para subida da onda de cheia com Q_l variando de 0,06 a 1,085 m³/s.

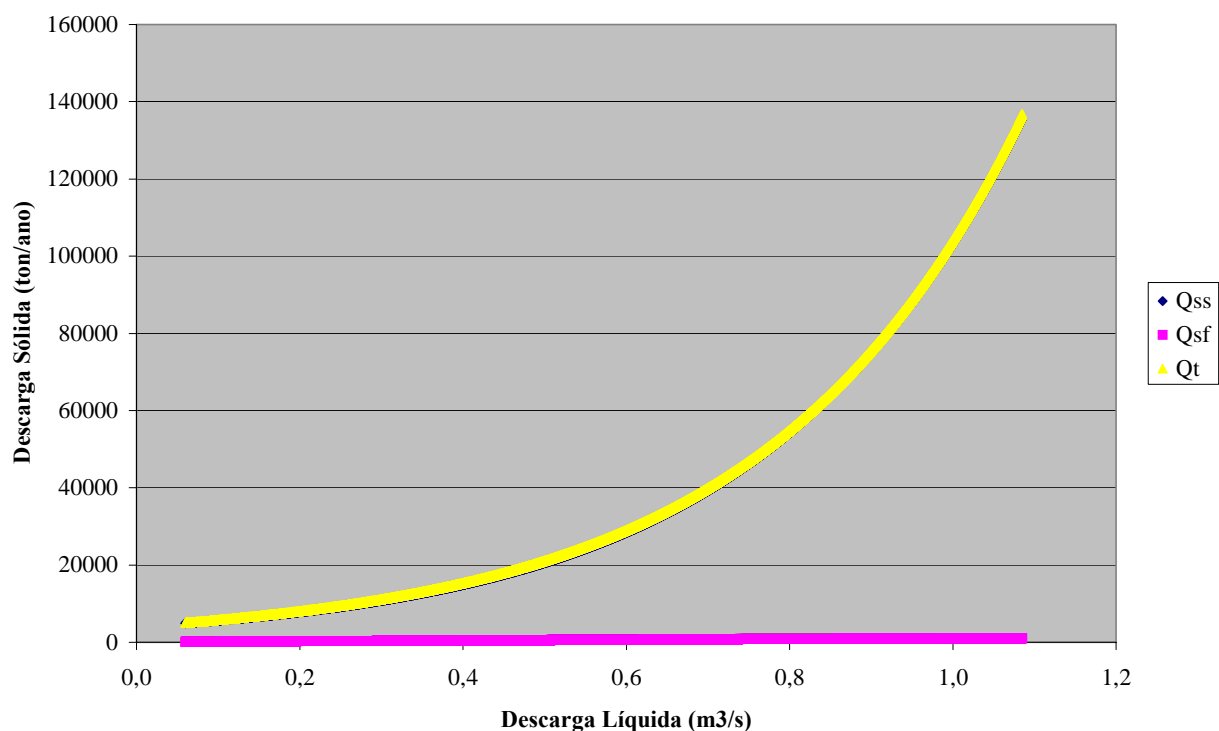


Figura 15 - Relação entre a descarga sólida de sedimento em suspensão, descarga sólida de sedimento de fundo e descarga sólida total para a subida da onda de cheia com Q_l variando de 0,06 a 1,085 m³/s.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que na subida da onda de cheia, descarga de sedimentos em suspensão, na secção estudada, representa 97,7% da descarga total de sedimentos enquanto que na descida da onda de cheia a descarga de sedimentos por arraste de fundo é desprezível em relação a descarga de sedimentos em suspensão, que representa 99,999% da descarga total de sedimentos.

BIBLIOGRAFIA

- ALFARO, J. F. **Medidas de águas em canais por medio del afoyador sin cuello.** 1974. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 1., Porto Alegre, 1974. p. 461-529. Anais.
- BELLINASSO, Tarcisio Barcellos. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** 2002. 341f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- BELLINASSO, Tarcisio Barcellos; PAIVA, João Batista Dias de. **Monitoramento hidrossedimentométrico e estimativa da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica sub urbana de encosta.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5., 2002, São Paulo/SP. Anais de eventos. São Paulo/SP: ABRH/IPT/EPUSP, 2002. p. 87-102.
- BRAKENSIEK, D. L.; OSBORN, H. B.; & RAWLS, W. J. 1979. **Field manual for research in agricultural hydrology.** U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 224, 547p.
- CARLESSO, Reimar. **Calha medidora de vazões.** In: LAVOURA ARROZEIRA. Porto Alegre: Jacques A. Wainberg, 1988. 41. v. 382. n°.
- CARVALHO, Newton de Oliveira; FILIZOLA Jr, Naziano Pantoja; SANTOS, Paulo Marcos Coutinho dos; *et alii.* **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: ANEEL, 2000. 154p. : il.; 23 cm.
- CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.
- EMMETT, William W. **Measurement of bed load in rivers.** In: EROSION AND SEDIMENT TRANSPORT MEASUREMENT SYMPOSIUM, 22-26 June 1981, IAHS - AISH Publication No. 133, 1981. p. 3-15.

- GRAF, Walter Hans. **Hydraulics of sediment transport**. Water Resources Publications. Highlands Ranch: LLC, Colorado, USA. 1984, vii, 513p.
- MURPHY, P. J. & AMIN, M. I. **Compartmented sediment trap**. In: JOURNAL OF THE HYDRAULICS DIVISION. 1979. Proceedings of the ASCE, 105 v., nº HY5, May. 1979. p. 489-500.
- PAIVA, João Batista Dias de. **Métodos de cálculo do transporte de sedimentos em rios**. In: PAIVA, João Batista Dias de. & PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de (Orgs). Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 12, p. 313-364.
- PAIVA, João Batista Dias de. **Avaliação dos modelos matemáticos de cálculo do transporte de sedimentos em rios**. 1988. 315p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- RICKLY HYDROLOGICAL COMPANY. In: Measuring the World's Water. United States : _____, 2001. Disponível on-line em: <<http://www.rickly.com>>. Acesso em: 20 jul. 2001.
- SIMONS, Daryl B. & SENTÜRK, Fuat. **Sediment transport technology**. Water Resources Publications: Fort Collins, Colorado, USA. 1977, iv, 807p.
- VILLELA, Swami Marcondes. & MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo : McGraw-Hill, 1975. 245p.
- WALKER, Wynn R. & SKOGERBOE, Gaylord V. **Surface irrigation: theory and practice**. New Jersey : Prentice-Hall, 1987. xiii, 386p.
- WASLENUK, Dennis G. **New diver-operated bedload sampler**. In: JOURNAL OF THE HYDRAULICS DIVISION. 1976. Proceedings of the ASCE, 102 v., nº HY6, June. 1976. p. 747-757.
- YUQIAN, Long. **Manual on operational methods for the measurement of sediment transport**. World Meteorological Organization, WMO N° 686, Operational hydrology report N° 29. Geneva, Switzerland. 1989. xii, 169p., p. 1-3“não-paginado”.