

# PRODUÇÃO DE SEDIMENTO EM BACIA URBANA

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva<sup>1</sup>; Marcel Felipe Tonetto Costas<sup>2</sup>

**Resumo** - Este trabalho apresenta resultados da produção de sedimentos da bacia hidrográfica Alto da Colina, pequena bacia hidrográfica em urbanização, a partir de medições com amostrador manual AMS-1 e automático ANA. São discutidos métodos de amostragem para essa avaliação e comparados os resultados com os obtidos com outras bacias da região. Os resultados mostraram bom ajuste da concentração de sedimento com a vazão. Resultados semelhantes, obtidos com amostrador automático, mostraram baixa correlação. As comparações da curva-chave obtida para a bacia em estudo com outras semelhantes mostraram a coerência dos resultados e a influência da urbanização no aumento da produção de sedimentos. A turbidez apresentou boa correlação com a concentração de sedimentos, concluindo que o melhor ajuste foi o exponencial.

**Abstract**- This work presents the sediment production results of the Alto da Colina Basin, a little basin in urbanization, through sediment sampler AMS-1 and automatic sampler. Sampling methods are discussed in this evaluation and compared the results with those obtained in other basins of the region. It was observed a good adjustment of the sediment concentration with the discharge. Similar results, obtained with the automatic sampler, have shown a low correlation. The concentration-discharge relation obtained to this basin and similar ones have shown the coherence of the results and the urbanization influence in sediment production. The turbidity presented a good correlation with the sediment concentration, concluding that the best adjustment was the exponential.

**Palavras-chave**- produção de sedimentos em bacias urbanas, representatividade da amostragem, carga de lavagem

## INTRODUÇÃO

A urbanização provoca um aumento na quantidade de poluentes nas bacias hidrográficas, destacando-se os sedimentos, óleos, fertilizantes, pesticidas, etc. O aumento da velocidade e volume da água pode causar muitos impactos, destacando-se a erosão das margens dos rios, aumento da turbidez, poluição e temperatura da água. Estes efeitos, além de prejudicar o corpo d'água receptor, interferem nas condições sanitárias das populações ribeirinhas.

A avaliação da produção de sedimentos em bacias urbanas apresenta grandes dificuldades. Existem muito poucos dados de produção de sedimentos em bacias urbanas, sendo que alguns estudos apontam, conforme Ramos [1], para um aumento de 5, 10 e até 50 vezes a produção de sedimentos da bacia hidrográfica original.

Conforme Matos et al [2], os parâmetros poluentes mais representativos na drenagem urbana parecem ser as partículas (sólidos em suspensão), os metais (sobretudo chumbo, zinco e ferro) e os hidrocarbonetos. Eles apresentam comparação entre valores de zona urbana e rural, que no caso de sólidos suspensos, os valores médios são de 26 mg/L na zona rural e 220 mg/L na zona urbana. No entanto, tais valores podem ser bastante variáveis, Gomes e Chaudhry [3] encontraram em duas pequenas bacias hidrográficas de São Carlos, SP, concentrações de sólidos totais variando de 171 mg/L a 3499 mg/L. De Luca et al [4] também observaram que a drenagem pluvial de uma bacia de 1,8 ha na área urbana

---

<sup>1</sup> Departamento de Hidráulica e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário, Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS. Telefone: (55)220-8483, Fax: (55)226-2166, e-mail: eloiza@ct.ufsm.br, eloiza@smail.ufsm.br

<sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria.

de Porto Alegre era mais rica em materiais minerais. A concentração de sólidos totais neste caso variou de 160 a 10225 mg/L, com média de 1522 mg/L. Resultados obtidos em bacias hidrográficas rurais em Santa Maria, conforme Branco et al [5], mostraram uma variação de 20 a 1200 mg/L para a concentração de sedimentos medida, enquanto Paiva et al [6] apresentam valores que chegam a atingir 11000 mg/L, para a mesma região.

Para avaliação da concentração de sedimentos em suspensão do escoamento superficial é necessária a coleta da água em eventos de cheia. Isto não é uma tarefa fácil no caso de pequenas bacias urbanas, uma vez que os eventos ocorrem em poucas horas e muitas vezes durante a noite, o que normalmente impossibilita qualquer avaliação. Com a finalidade de facilitar a obtenção destas informações, muitas vezes são utilizados amostradores automáticos de qualidade da água.

Este trabalho apresenta resultados da produção de sedimentos da bacia hidrográfica Alto da Colina, pequena bacia em urbanização. São apresentados resultados obtidos com amostrador automático de nível ascendente e com amostrador manual AMS-1. São discutidos métodos de amostragem para essa avaliação e comparados os resultados com os obtidos com outras bacias da região.

## **A BACIA HIDROGRÁFICA EM ESTUDO**

Na cidade de Santa Maria, como na maioria das cidades brasileiras, os problemas de drenagem urbana são bastante marcantes. Com a finalidade de quantificar os problemas locais de drenagem urbana na cidade, vem sendo monitorada uma pequena bacia hidrográfica em urbanização, desde 1999, no bairro de Camobi.

A bacia hidrográfica Alto da Colina é uma bacia pequena, tem uma área de 1,80 km<sup>2</sup> e perímetro de 4,9 km. Possui pouca declividade, 4,98 % e uma diferença de altitude de 20 m entre a nascente e a foz. O rio principal possui 1,85 km de comprimento e declividade de 0,007 m/m. A cobertura vegetal é composta de mata de eucaliptos (12,3%), área urbanizada (19,7%), pastagens (55,4%) e área de cultivo de soja, milho e feijão (12,6%). Possui no seu interior pequeno reservatório, pequenas propriedades e muitas estradas de terra. O solo possui permeabilidade de média a baixa. Está localizada nas coordenadas geográficas 53°43'37'' de latitude sul e 29°41'70'' de longitude oeste, às margens da rodovia RS-509. A figura 1 apresenta mapa da bacia.

## **MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO**

Estão em operação estações pluviográfica e fluviográfica, providas de registrador eletrônico com data-logger, e medição de vazão. A figura 1 apresenta a localização destas estações na bacia. A estação fluviográfica está instalada em trecho do rio revestido com alvenaria de pedra, apresentando uma seção transversal bem definida, que apresenta grandes facilidades no ajuste de vazões máximas. No entanto, devido às suas características urbanas, o acúmulo de lixo em períodos secos dificulta o ajuste de vazões mínimas. No período monitorado foi encontrada uma vazão máxima de 12,5 m<sup>3</sup>/s.

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão foram utilizadas duas formas de amostragem, amostrador automático e amostrador manual.

Foi utilizado o amostrador de nível ascendente automático ANA (Umezawa [7]), que corresponde ao US-U-59 citado pelo SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION [8]. Este amostrador coleta amostras durante a elevação do nível de água por ocasião de cheias. Foram instaladas 7 garrafas para coleta da água, a cada 14 cm de profundidade, iniciando na cota 0,53 m, que corresponde a uma vazão de 0,73 m<sup>3</sup>/s e terminando na cota 1,51 m, que corresponde a uma vazão de 7,35 m<sup>3</sup>/s. A figura 2 apresenta fotografia deste amostrador no campo. Uma vez que as precipitações

---

máximas da região ocorrem durante a noite, a utilização deste amostrador foi de grande utilidade, permitindo a coleta de amostras de água em horários que apresentam dificuldade de coletas manuais, apesar da amostra representar a concentração de sedimentos em uma faixa compreendida entre a superfície e um ponto localizado à aproximadamente 15 cm abaixo da superfície da água, durante a subida da onda de cheia.

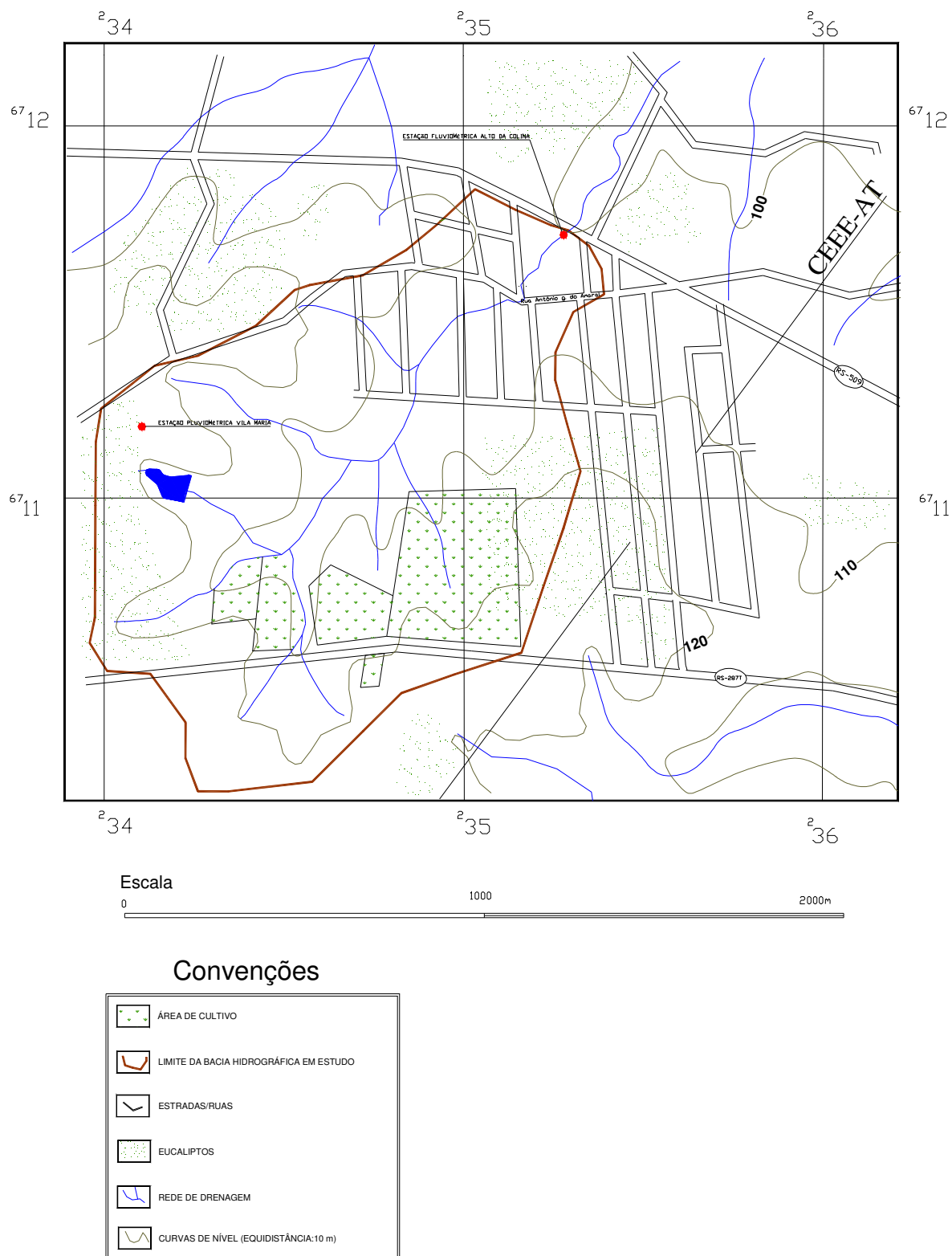


Figura 1. Mapa da Bacia Hidrográfica Alto da Colina.



Figura 2. Amostrador de sedimentos em suspensão de nível ascendente automático ANA.

Também foi utilizada a coleta de amostras através do amostrador manual, AMS-1. Este aparelho permite a retirada de amostras integradas na profundidade, em verticais representativas da seção. A coleta foi realizada em três verticais, centro e a um quarto das margens da seção transversal.

A concentração de sedimentos em suspensão foi realizada em laboratório, através do método da filtração, conforme recomendação do Task Committee [9]. Foram determinados sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos fixos e turbidez.

## RESULTADOS

### Resultados obtidos com amostrador de nível ascendente automático

Foram coletadas amostras de água, através do amostrador de nível ascendente automático ANA, em 13 eventos de chuva, no período de setembro de 2000 a abril de 2001. Concordando com observações da bibliografia [4], os sólidos orgânicos representaram somente 7% dos sólidos totais e esta relação manteve-se constante, como se pode observar na figura 3. Os valores observados de concentração de sedimentos (sólidos totais) apresentaram média de 2596 mg/l, desvio padrão de 1904 mg/l, valor máximo observado de 8455 mg/l e mínimo observado de 506 mg/l, nos eventos chuvosos. A figura 4 apresenta gráfico que relaciona a concentração de sedimentos com a vazão ( $m^3/s$ ). Pode-se observar que a correlação não foi satisfatória, impossibilitando a determinação da curva chave de sedimentos. Tendo em vista as dimensões da bacia e a diversidade de uso do solo, as contribuições apresentam grande dependência do período analisado. Paiva et al [6], utilizando esta metodologia para uma pequena bacia rural, observou que embora o conjunto de dados não se correlacionasse, quando foram utilizados dados de eventos isolados a correlação cota x concentração e cota x vazão ficou na faixa de 90%. No entanto, neste caso esta constatação não foi verificada.

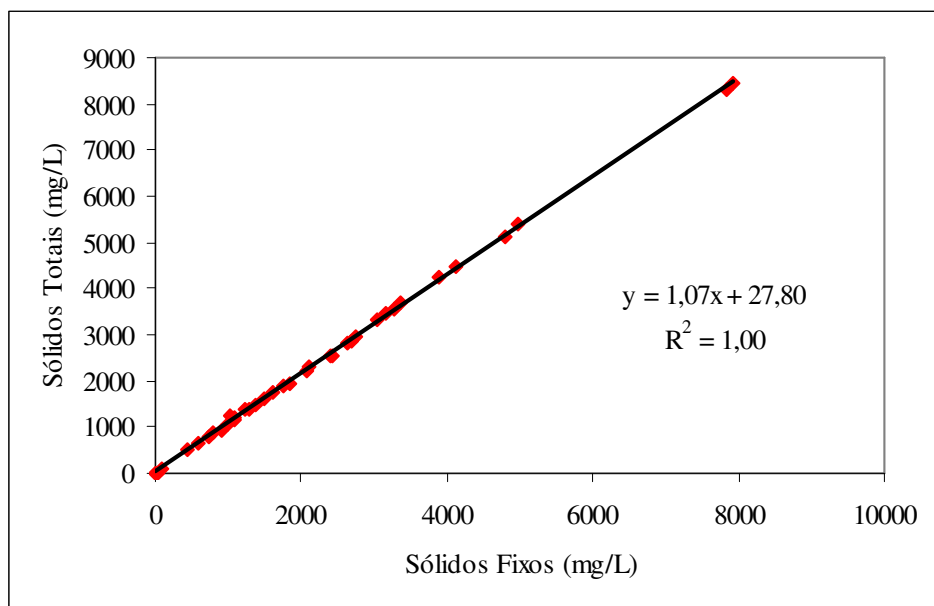


Figura 3. Relação entre a concentração de sólidos totais e sólidos fixos.

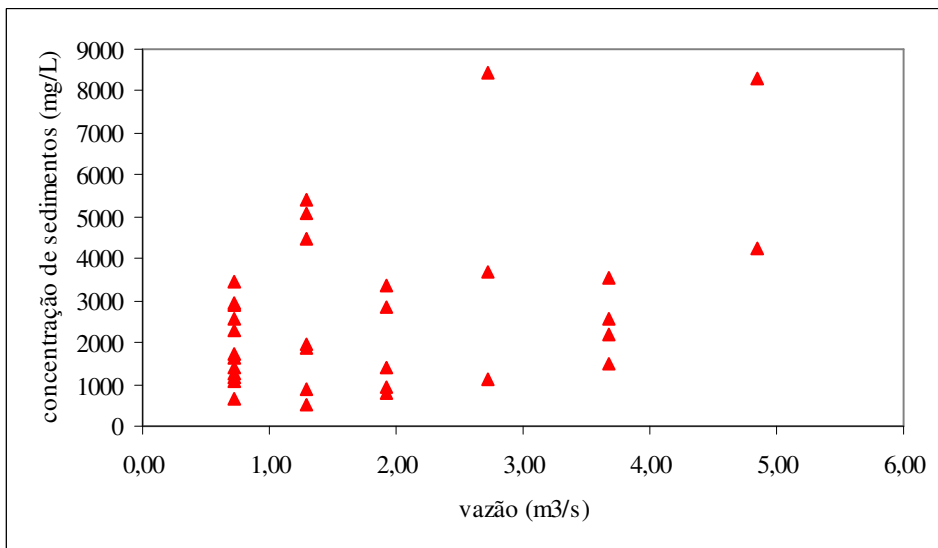


Figura 4. Relação entre concentração de sedimentos (mg/L) e vazão (m³/s).

As figuras 5 a 8 apresentam gráficos durante eventos de chuva, relacionando a vazão e a concentração de sedimentos no tempo. Pode-se constatar um comportamento semelhante, que também é o caso dos outros eventos não apresentados. A concentração de sedimentos no início da cheia é bastante elevada, apresentando um pico, que possivelmente corresponde à carga de lavagem das ruas, verificando-se a seguir uma redução do valor da concentração de sedimentos, comparativamente com o acréscimo da vazão. Estas constatações podem influenciar na dificuldade de construção de curva-chave de sedimentos, uma vez que a carga inicial depende das condições de chuva antecedente, intensidade da chuva e carga disponível para transporte, fatores estes que apresentam grande variação nos diversos eventos.

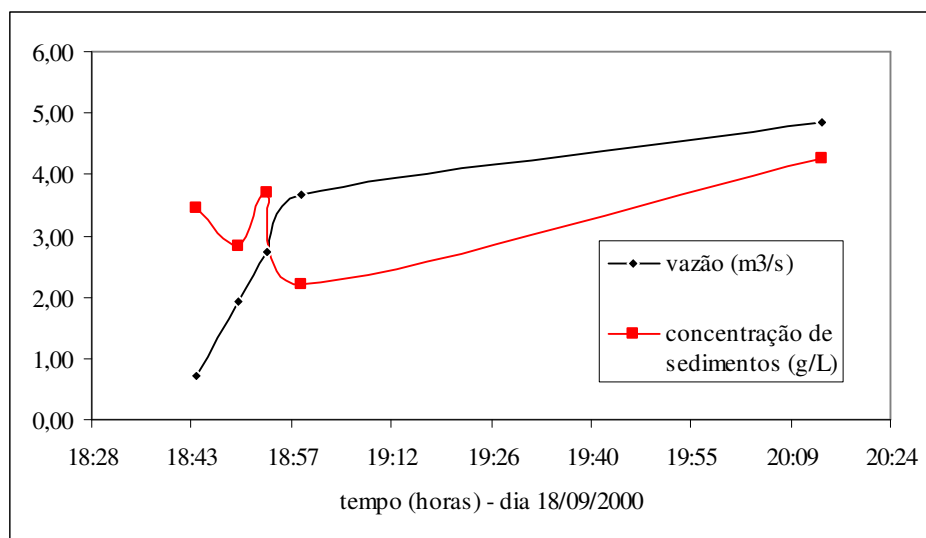


Figura 5. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m³/s), no evento do dia 18/09/2000.

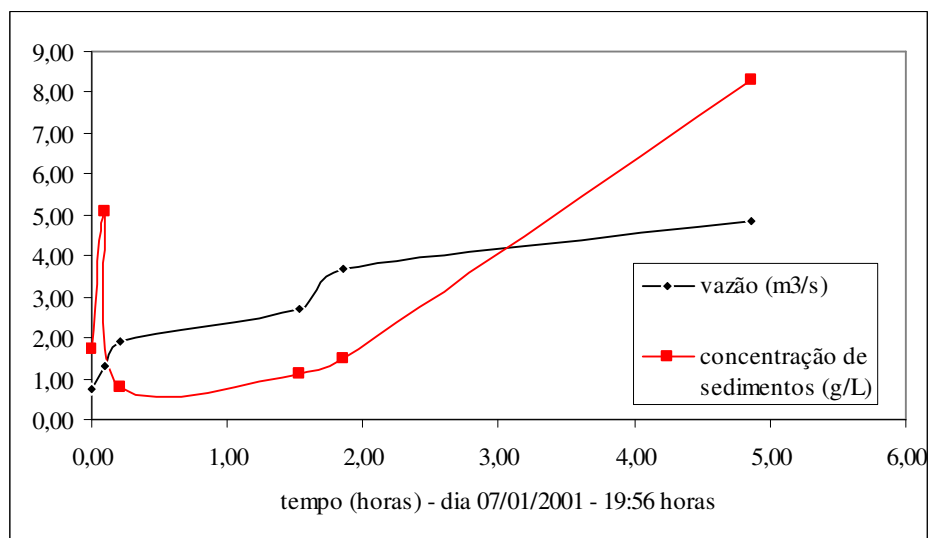


Figura 6. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m³/s), no evento do dia 7/01/2001.

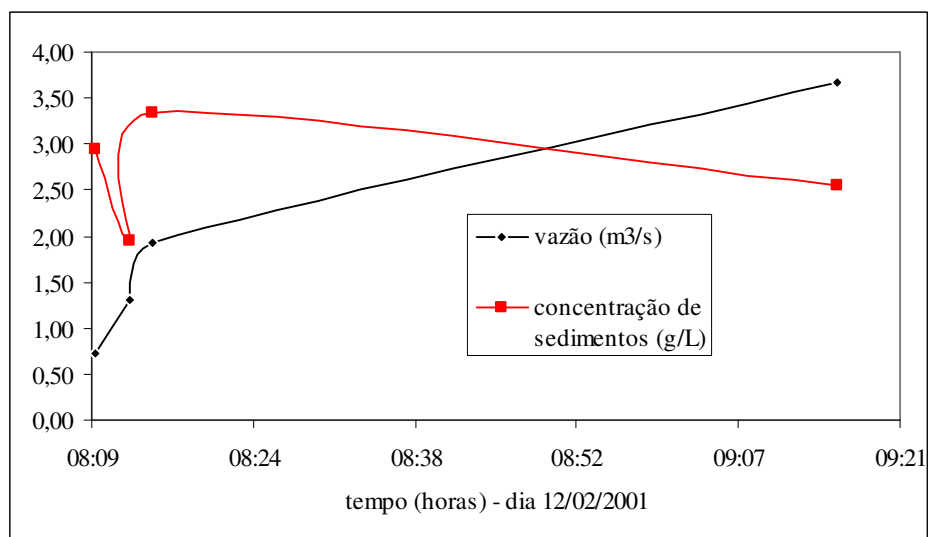


Figura 7. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m³/s), no evento do dia 12/02/2001.

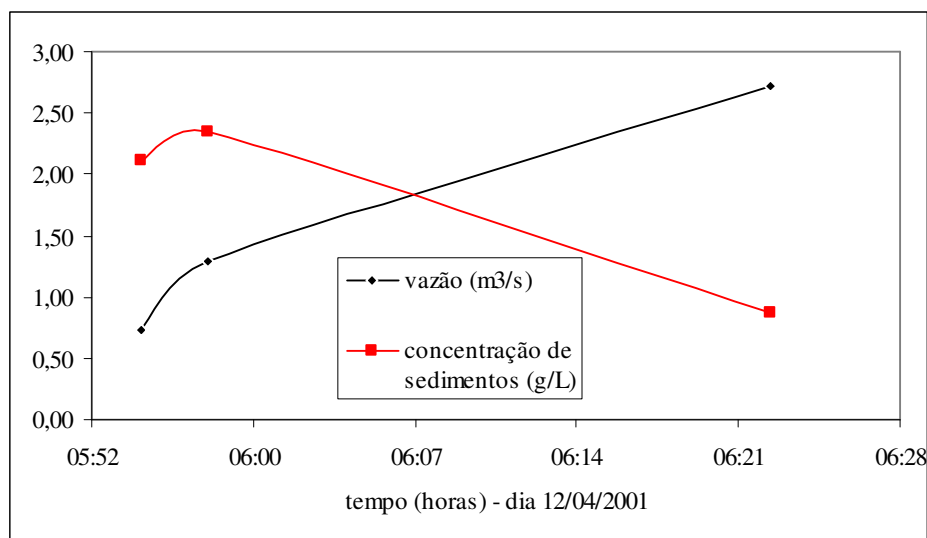


Figura 8. Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m³/s), no evento do dia 12/04/2001.

A utilização de amostrador automático de nível ascendente apresentou algumas dificuldades operacionais na seção em estudo. Tais dificuldades estão relacionadas à utilização em bacia urbana, onde são lançadas grandes quantidades de detritos, que interferem no enchimento das garrafas de amostragem. Desta forma, ocorreram eventos em que alguma garrafa de amostragem intermediária não conseguiu coletar água devido a detritos retidos pelo próprio aparelho.

#### Resultados obtidos com amostragem manual

Os resultados de concentração de sedimentos na seção transversal, obtidos com amostrador AMS-1, em períodos de vazões sem escoamento superficial, mostraram que a concentração no centro é muito superior do que à concentração nas verticais próximas às margens. No entanto, com o crescimento das vazões, a concentração apresentou valores aproximadamente homogêneos nas verticais analisadas. Foi difícil comparar os resultados do amostrador automático com o amostrador manual devido à dificuldade de coleta simultânea. Desta forma, os resultados são comparados em conjunto.

As figuras 9, 10 e 11 apresentam gráficos da concentração de sedimentos em função da vazão para eventos de cheia, obtida com amostragem manual e integrada na seção transversal. Pode-se observar boa concordância entre vazão e concentração nas figuras 9 e 10. No gráfico da figura 11 observa-se um pico de concentração no início evento, efeito este observado com o amostrador automático. No início do evento chuvoso ocorre um pico de concentração devido à carga de lavagem das ruas, a partir do qual a concentração segue mantendo correlação direta com a vazão. Foi constatado que o valor do pico de concentração é variável, provavelmente com o estado de umidade antecedente, e ocorre em um período de tempo bastante curto. No caso do gráfico da figura 11, o intervalo de tempo foi de 3 minutos e a concentração de sedimentos duplicou. Embora este valor seja importante não deve ter grande representatividade na avaliação da produção de sedimentos.

A figura 12 apresenta a relação entre a curva-chave de sedimentos, obtida em eventos de cheia com o amostrador manual AMS-1. Observa-se uma boa correlação entre estes valores, apesar de se ter incluído os picos da carga de lavagem. A figura 13 apresenta os pontos coletados de concentração e vazão com amostrador automático em conjunto com a curva de sedimentos ajustada com o amostrador manual. Pode-se observar que os dados do amostrador automático não apresentaram boa correlação com a vazão e seus valores são bastante superiores aos ajustados com o

amostrador manual AMS-1. Nesta estação fluviométrica a concentração de sedimentos apresentou pequena variação nas verticais. No entanto, o amostrador manual integra na vertical, enquanto o amostrador automático coleta água no nível máximo. Desta forma, as respostas são diferentes. Além disto, sua localização é próxima às margens, onde pode haver acúmulo de detritos e material em suspensão.

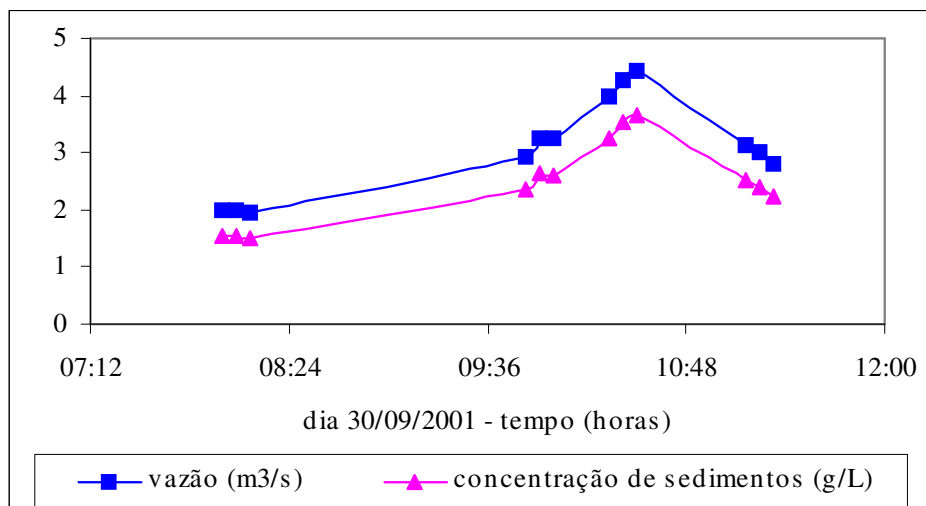


Figura 9. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m³/s) para o evento do dia 30/09/2001.

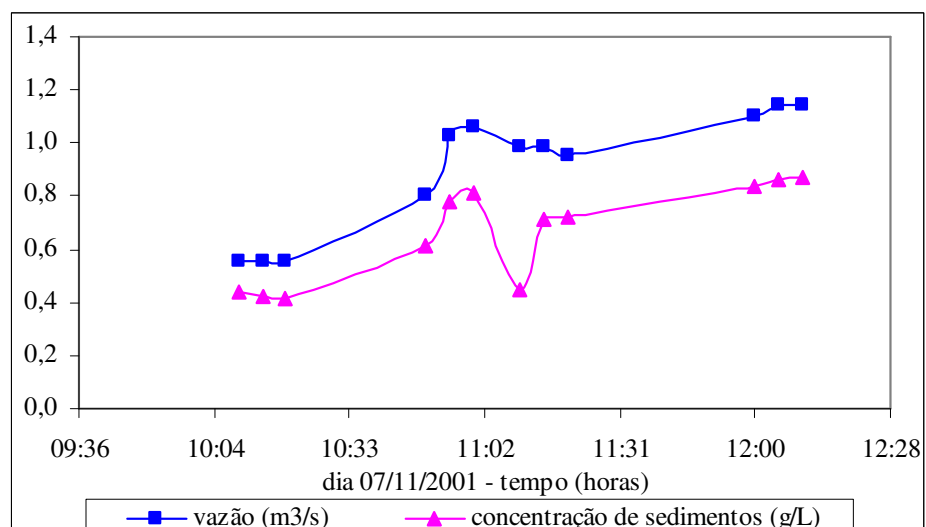


Figura 10. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m³/s) para o evento do dia 07/11/2001.

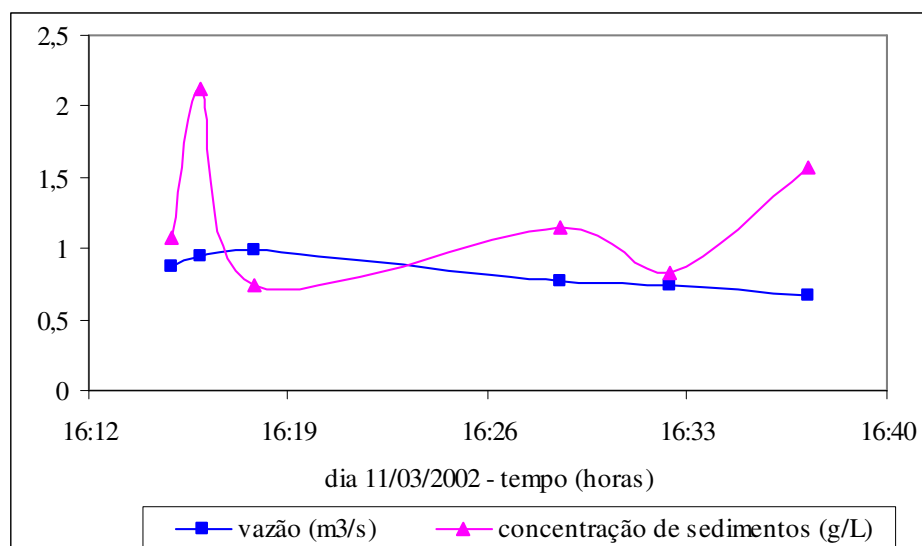


Figura 11. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m³/s) para o evento do dia 11/03/2002.

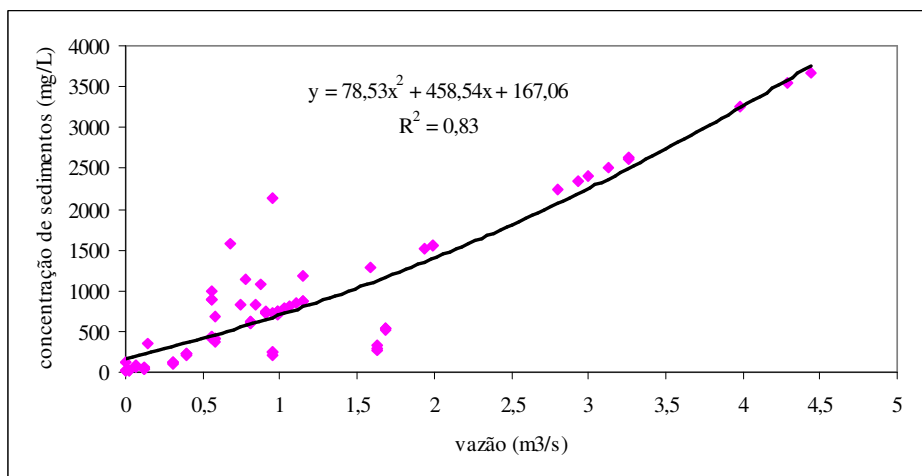


Figura 12. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão.

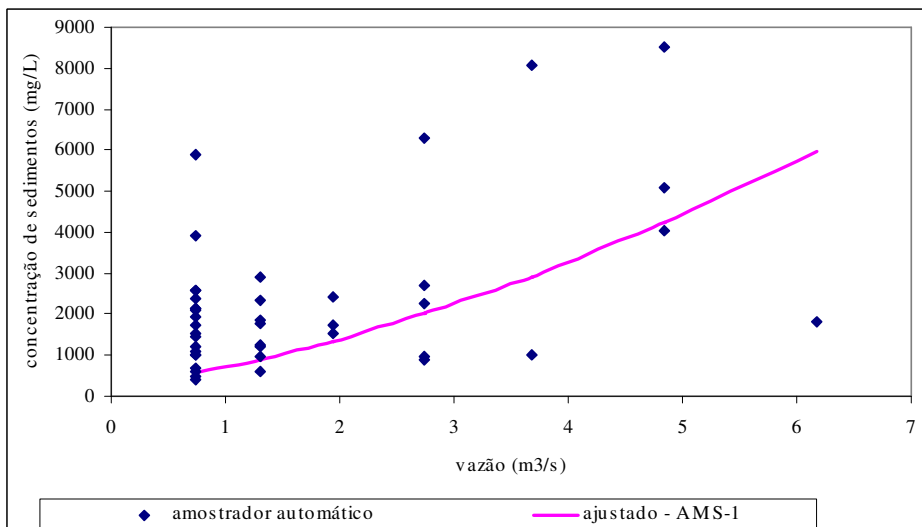


Figura 13. Relação entre concentração de sedimentos e vazão com amostrador automático e manual.

### Comparação entre curvas-chave de sedimentos em outras bacias da região

A figura 14 apresenta comparação entre a curva-chave de sedimento obtida na bacia Alto da Colina, e as curvas-chave obtidas em pequena bacia hidrográfica em urbanização de encosta, bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro [10] e a curva-chave obtida em bacia hidrográfica rural de encosta, bacia Menino Deus I [5], ambas na mesma região. Bellinaso e Paiva [10] apresentaram duas curvas-chave, uma para subida e outra para a descida da onda de cheia, obtida com amostrador manual AMS-1. A bacia Sítio do Tio Pedro tem características físicas semelhantes à bacia Alto da Colina, área de 0,53 km<sup>2</sup>, porém apresenta grande declividade, 26,8%, valor bastante superior ao da bacia apresentada neste trabalho. Pode-se constatar uma declividade menor na curva de ajuste do Alto da Colina, que pode ser explicado pela menor declividade. Também se verifica uma significativa modificação das curvas de subida e descida da cheia, que pode ser explicado pela adição da carga de lavagem que deve ocorrer no início do evento. Este efeito não foi comentado por Bellinaso e Paiva [10], provavelmente pela dificuldade de observação, uma vez que as respostas desta bacia são extremamente rápidas. A bacia hidrográfica Menino Deus I possui área bastante superior, 18 km<sup>2</sup>, declividade média de 22,6%, com vegetação predominante de mata nativa e plantada. Neste caso, observa-se valores de concentração de sedimentos bastante inferiores às duas bacias em urbanização e semelhante ao comportamento da curva de descida da bacia Sítio do Tio Pedro. Estes resultados indicam a influência da urbanização na produção de sedimentos de bacias hidrográficas.

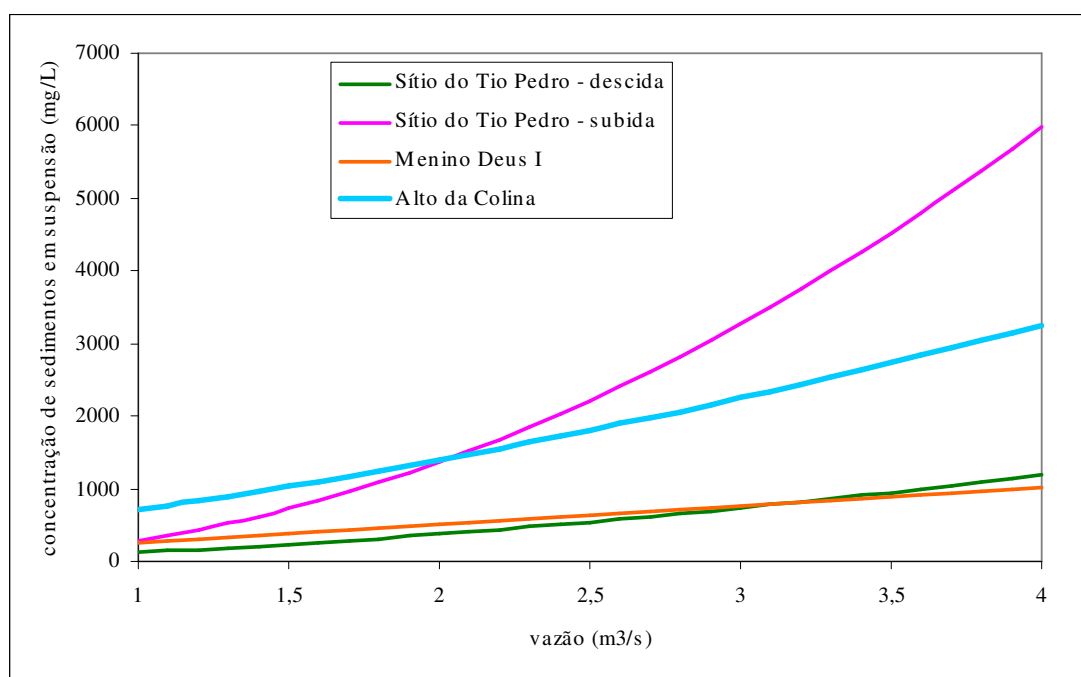


Figura 14. Comparação entre curvas-chave de sedimentos de pequenas bacias.

### Relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão

Com respeito a turbidez, embora os resultados tenham apresentado boa correlação com a concentração de sedimentos, o ajuste é exponencial. Desta forma, para altas concentrações, que ocorrem durante as cheias, os erros de estimativa da concentração de sedimentos é crescente. Estas respostas também sofrem modificação com o tipo de partículas em suspensão, como é o caso de bacias urbanas, devido à carga de lavagem. Conforme Santos et al [11], as partículas finas possuem turbidez muito maior que as partículas grossas, desta forma a medida da turbidez é mais

sensível à concentração de materiais finos e pouco sensíveis a areia. Em bacias rurais, dependendo da faixa de concentração de sedimentos, estas correlações podem ser adequadas, como o observado por Corso [12].

A figura 15 apresenta a relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos. Tais relações são extremamente importantes quando se utiliza sonda de turbidez para avaliar a produção de sedimentos. Os resultados observados apresentaram boa correlação. No entanto, como a lei de ajuste é exponencial, em altas concentrações o erro envolvido neste tipo de análise é bastante elevado. Desta forma, apesar da facilidade de avaliação da concentração de sedimentos de forma indireta, é preciso ter cautela e um adequado volume de dados de campo.

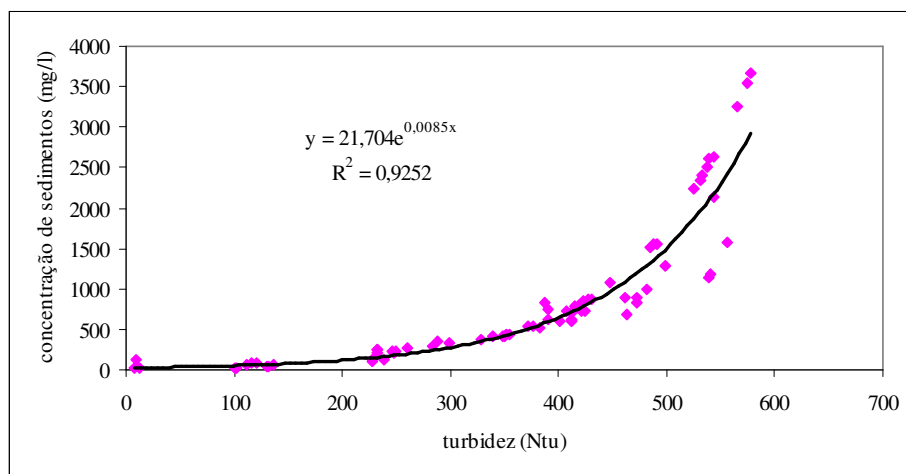


Figura 15. Relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos.

## CONCLUSÕES

Os dados de concentração de sedimentos coletados em eventos de cheia na Bacia Hidrográfica Alto do Colina permitiram concluir que:

- a concentração de sedimentos obtida com o amostrador de nível ascendente automático apresentou resultados mais elevados, comparados com os obtidos com amostrador manual AMS-1, por meio de amostras integradas na seção transversal;
- a concentração de sedimentos obtida com amostrador manual em eventos de cheia apresentou boa correlação com a vazão, permitindo a construção de curva-chave de vazão;
- no início dos eventos foram observados picos de concentração resultantes da carga de lavagem;
- a comparação da curva-chave de sedimentos desta bacia, que apresenta pequena declividade, com outra semelhante em área e cobertura, de grande declividade, mostrou resultados semelhantes, porém com declividade da curva-chave aumentada com o aumento da declividade;
- a comparação da curva-chave de sedimentos desta bacia, com outra de maior área e cobertura vegetal de mata nativa, mostrou a influência da urbanização no aumento da produção de sedimentos;
- a turbidez apresentou boa correlação com a concentração de sedimentos, com ajuste exponencial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e FAPERGS, pelo auxílio financeiro e bolsas recebidas e à FINEP pelo auxílio concedido através do projeto de Redes Cooperativas de Pesquisa (REHIDRO/RECOPE). Ao técnico Alcides Sartori e

aos bolsistas de iniciação científica Fabrício Almeida dos Santos e Francisco Rossarolla Forgiarini, pelo auxílio na coleta de dados de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RAMOS,C.L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI,C.E.M.; PORTO,R.L.; BARROS,M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, Cap.2, p.241-275.
2. MATOS,J.S.; DAVID,L.M.; PAVÃO,L. Qualidade de escoamentos pluviais em zonas urbanas e impacto em meios receptores. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, 1998, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1998, v.2, p.334-347.
3. GOMES,L.A.; CHAUDHRY,F.H. Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 1981, Fortaleza.
4. DE LUCA,S.J.; MILANO,L.B.; IDE,C.N. Rain and urban stormwater quality. Wat. Sci. Tech. Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.
5. BRANCO,N.; PAIVA,J.B.D.; PAIVA,E.M.C.D. Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim – Avaliação Preliminar. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 17, SIMPOSIO DE RECURSOS HIDRICOS DEL CONOSUR, 2, 1998, Santa Fé, Argentina. Anais. Santa Fé, 1998, v.3, p.444-451.
6. PAIVA,E.M.C.D.; PAIVA,J.B.D.; PARANHOS,R.M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. IV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001, v.1, p.35-51.
7. UMEZAWA,P.K. Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas. Porto Alegre – RS. 217p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-graduação em Hidrologia Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979.
8. SUBCOMMITTEE ON SEDIMENTATION. Inter-Agency Committee on Water Resources. Determination of fluvial sediment discharge. Minneapolis: Saint Anthony Falls Hydraulic Lab. 1963. Report nº 6.
9. TASK COMMITTEE ON PREPARATION OF SEDIMENTATION MANUAL. Sediment measurement techniques: F. :Laboratory procedures. Journal of the Hydraulics Division, New York, v.95, n.5, p.1515-1543, 1969.
10. BELLINASSO, T.B.; PAIVA, J.B.D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi urbana de encosta. . In: REUNIÃO FINAL DA REHIDRO, 2002, Vitória. Rede Cooperativa de Recursos Hídricos. São Carlos, SP: FINEP, 2002.
11. SANTOS, I et al. Hidrometria Aplicada. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001, 372p.
12. CORSO,J. Estimativa da produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo, RS, a partir de medições de turbidez da água. Santa Maria – RS. 70p. (Dissertação de Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1989.