



## INTERVALO DE TEMPO IDEAL ENTRE AMOSTRAGENS PARA A ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Rafael Ramon<sup>1</sup>; Jean Paolo Gomes Minella<sup>2</sup>; Leandro Dalbianco<sup>3</sup>; Gustavo Henrique Merten<sup>4</sup>; Fábio José Andres Schneider<sup>5</sup>; Cláudia Alessandra Peixoto de Barros<sup>6</sup>; Elizeu Jonas Didone<sup>6</sup>

**RESUMO** --- A utilização de técnicas de monitoramento dos fluxos de água e sedimentos pode ser utilizada para quantificar os impactos ambientais gerados na bacia vertente e que são deslocados para o canal fluvial. O objetivo deste trabalho foi demonstrar o impacto dos intervalos de medida na quantificação das descargas especialmente durante os eventos e verificar qual o melhor intervalo entre medidas para a estimativa da produção de sedimentos. O estudo foi desenvolvido em duas bacias hidrográficas localizadas no RS, com áreas de drenagem de 800 km<sup>2</sup> e 2000 km<sup>2</sup>. A técnica de monitoramento foi a turbidimetria, e para a análise e simulações, foram definidos os intervalos: 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 dias, 7 dias, 14 dias e 21 dias; os quais foram aplicados a série completa de dados de 3 anos. A bacia de menor tamanho necessita amostragens mais frequentes devido a menor duração dos grandes eventos em torno de um dia. A outra bacia apresentou intervalo de aquisição de dados maior, uma vez que a duração de eventos é maior, cerca de dois dias. Essa diferença entre as duas bacias hidrográficas comprova que conforme diminui a área de contribuição, maior deve ser o intervalo entre amostragens.

**ABSTRACT** --- The use of techniques for monitoring the flow of water and sediments can be used to quantify the environmental impacts in the watershed and are moved to the river channel. The objective of this study was to demonstrate the impact of the intervals of measurement quantifying the discharges especially during events and find what the best range of measures for the estimation of sediment yield. The study was conducted in two watersheds located in RS, with drainage areas of 800 km<sup>2</sup> and 2000 km<sup>2</sup>. The monitoring technique is the turbidity, and the analysis and simulations were defined intervals: 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 hours, 2 days, 7 days, 14 days and 21 days; which were applied to the complete dataset of three years. The basin smaller needs more frequent sampling due to shorter duration of major events around a day. The other watershed showed greater range acquisition data, since the duration of events is greater than about two days. This difference between the two basins proves that decreases as the contribution area, the greater should be the interval between samplings.

<sup>1</sup> Estudante de graduação do curso de Agronomia, UFSM; 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: rafaramon11@gmail.com; eltonschaefer23@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Solos, UFSM; 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: jminella@gmail.com.

<sup>3</sup> Técnico em Agropecuária, IFF - Campus Jaguari; 97110-767 Santa Maria, RS. E-mail: agro.dalbianco@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS; 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: merten@iph.ufrgs.br.

<sup>5</sup> Estudante de graduação do curso de Agronomia, UFFS; 97900-000 Cerro Largo, RS. E-mail: fjas.schneider@gmail.com.

<sup>6</sup> Doutorando(a) em Ciência do Solo, UFSM; 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: dinhaufsm@gmail.com; didoneagroufsm@gmail.com.

**Palavras-chave:** técnicas de monitoramento, descarga sólida em suspensão, eventos pluviométricos.

## INTRODUÇÃO

A quantificação dos fluxos de água e sedimentos nos permite inferir sobre o efeito do uso e manejo do solo na bacia vertente. Entretanto a relação entre os fatores interferentes (clima, relevo, solo e uso) com essa determinação dos fluxos, ainda representam um desafio para a pesquisa e avaliar quantitativamente estes fatores é uma tarefa que exige trabalho e muito custo (Minella & Merten, 2011). Nesse sentido, podemos utilizar técnicas de monitoramento para quantificar os fluxos de água e sedimento, que pode ser realizado pelo uso de equipamentos automatizados, coletas manuais, ou ainda a junção das duas técnicas. A escolha por qual metodologia seguir é variável de local para local, devido, entre outros, as características do local, disponibilidade de recursos humanos, etc. Ainda, as técnicas tradicionais de monitoramento, ou seja, aquelas que envolvem grandes recursos humanos, da descarga de sedimentos possuem um custo elevado e consome muito tempo, devido a necessidade de deslocamento, custo de equipamentos e análises laboratoriais.

Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de monitoramento adequadas e eficientes para cada condição, pois os impactos da perda de água e solo é uma problema ambiental que preocupa muitos países, principalmente países em desenvolvimento (WMO, 2003). Nesse sentido, no sul do Brasil a erosão observada nos sistemas de produção agrícola é uma preocupação social e ambiental que aumenta constantemente, devido a não adoção de práticas de conservação do solo que vão tornando as áreas mais susceptíveis a erosão. Como exemplo, os mecanismos físicos de controle de erosão foram totalmente negligenciados, acreditando-se que a palhada em cobertura e o incremento da matéria orgânica do solo fossem capazes de conter todo o escoamento superficial. Devido a esta percepção por parte de agricultores e técnicos responsáveis, hoje encontramos encostas cada vez mais longas e uma menor proteção dos mananciais, com ligação direta entre lavouras, redes de drenagem, estradas e vilas. Este escoamento em encostas longas e convergentes intensifica o potencial de erosão, fazendo com que as zonas ripárias sejam insuficientes para conter o sedimento erodido nas encostas (Vestraeten, 2006)

Uma técnica que tem colaborado para aumentar a discretização temporal da concentração de sedimentos em suspensão é a turbidimetria (Merten *et al.*, 2014). Com a turbidez é possível automatizar a estimativa da CSS com baixo custo. Importante salientar que a turbidez não elimina a necessidade do monitoramento tradicional, mas adiciona um conjunto complementar de dados, permitindo discretizar minuciosamente as variações hidrossedimentológicas de determinado ponto de monitoramento.

A frequência de amostragem é uma característica das técnicas de monitoramento que define a qualidade da informação final (Horowitz *et al.*, 2014). Segundo Chen *et al.*(2012), uma baixa resolução de amostragens, pode subestimar significativamente a descarga de sedimentos e a capacidade de transporte é subestimada quando usa-se dados de baixa frequência, sendo esses intervalos dependentes do tamanho da bacia e das características do escoamento superficial. Cooper *et al.*(2014), afirma que a alta resolução dos dados de partículas em suspensão, possibilita um maior entendimento dos processos que ocorrem na bacia e um direcionamento adequado de medidas de mitigação da poluição oriunda dos sedimentos.

Existem resultados concretos de que grande parte do fluxo de sedimentos e poluentes associados ocorrem durante eventos de grande magnitude (Horowitz, 2013). Portanto, a obtenção de dados durante os eventos de grande magnitude são fundamentais para quantificar adequadamente a concentração de sedimentos em suspensão (CSS), a produção de sedimentos e a descarga de solutos (Horowitz *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2012). Segundo Horowitz (2013), para bacias maiores que 900 km<sup>2</sup>, 12 a 15 amostragens convencionais da CSS para o estabelecimento da curva-chave de sedimentos são suficientes para estimar a PS a partir de dados contínuos de vazão (Q). Porém, conforme vai diminuindo o tamanho da bacia, os eventos de grande magnitude diminuem sua duração, sendo necessário então, aumentar a frequência de amostragem para que um número maior de eventos possa ser contabilizado.

A utilização das técnicas automáticas auxilia na correta estimativa da descarga sólida, entretanto pouco se conhece sobre a influência dos intervalos de aquisição dos dados para o cálculo direto da PS a partir da turbidez. Como os equipamentos automáticos permitem a obtenção de dados sub-horários (linígrafo e turbidímetro), a programação da frequência de aquisição pode ter um impacto na estimativa das descargas. Deste modo, para otimizar o uso do equipamento e obter as informações necessárias é importante verificar qual é o intervalo entre medidas ideal para cada bacia. O objetivo deste trabalho foi demonstrar o impacto dos intervalos de medida na quantificação das descargas especialmente durante os eventos e verificar qual o melhor intervalo entre medidas para a estimativa da produção de sedimentos.

## **MÉTODOS E MATERIAIS**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado nas estações de monitoramento de duas bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul: bacia hidrográfica do Rio Conceição (Estação Conceição, código 75200000) e bacia hidrográfica do Rio Guaporé (Estação Linha Colombo, código 86560000) (Figura 1). A

primeira com a atividade agrícola intensiva de produção de grãos e a segunda com características fisiográficas que determinam grande fragilidade ambiental à exploração agrícola. Desta forma, abaixo segue a descrição de cada bacia hidrográficas referentes a este estudo.

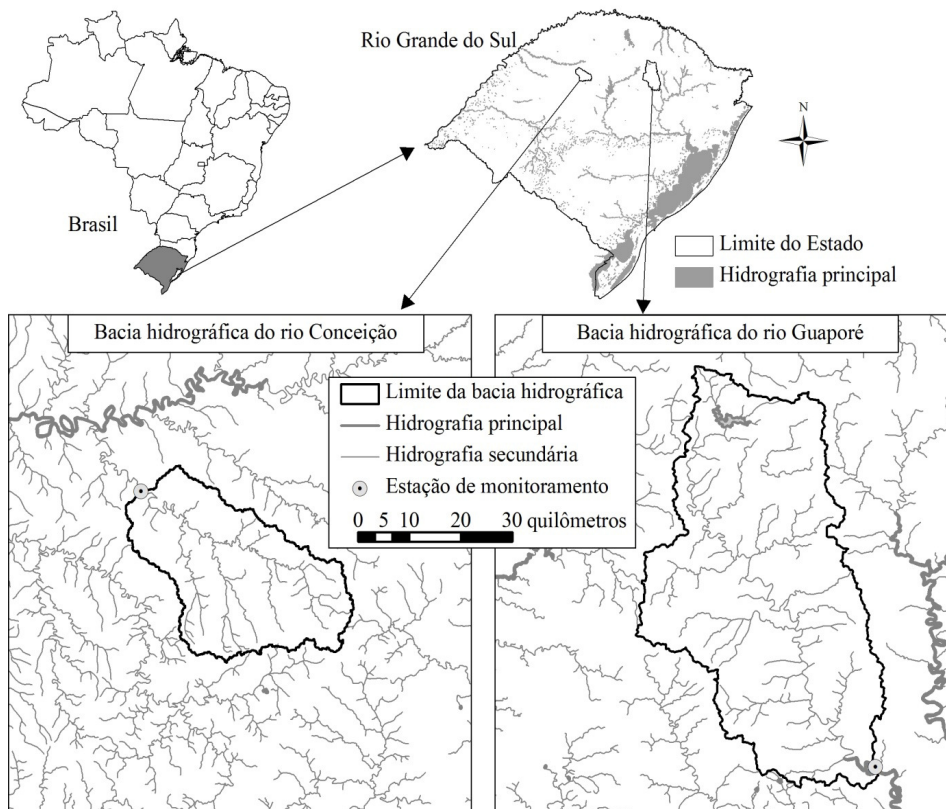


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação das áreas de estudo.

### Bacia hidrográfica do Rio Conceição

A bacia hidrográfica do Rio Conceição é uma bacia de cabeceira pertencente a bacia hidrográfica do alto Uruguai. A área de contribuição da bacia corresponde a aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, a qual é caracterizada por um relevo suave a ondulado característico do planalto do Rio Grande do Sul, onde nos topos e meia encostas a declividade é de 6 a 9% e nas áreas próximas a rede de drenagens varia de 10 a 14%.

As condições de solo e clima favorecem a agricultura na região. Os solos são oriundos do processo de intemperismo das rochas basálticas formando três principais classes de solo, Argissolos, Nitossolos e Latossolos (Streck *et al.*(2008)). O clima da região classificado segundo Köppen é cfa (clima subtropical, com verão quente), onde a precipitação anual da região fica em torno dos 1750 a 2000 mm e a temperatura média de 17°C. As atividades agrícolas predominantes na bacia hidrográfica é a produção de grãos e em menor importância a pecuária leiteira. A

urbanização na bacia hidrográfica do Rio Conceição não é muito significativa, sendo composta apenas por quatro municípios: Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Ijuí e Cruz Alta.

A CSS durante os eventos pluviométricos alcança valores de até 3000 mg L<sup>-1</sup> e concentração média de 400 mg L<sup>-1</sup>, que associado a valores de Q elevados (média das máximas é de 210 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) resulta em uma elevada PS. O valor médio de CSS para o rio Conceição é 23 mg L<sup>-1</sup> em dias sem eventos pluviométricos. O sedimento transportado é predominantemente partículas de pequeno diâmetro como silte e argila, oriundos de solos formados por rochas basálticas bastante intemperizados, nos quais há elevada percentagem de argila, a qual possui elevada capacidade de transporte de nutrientes e poluentes associados as partículas.

### **Bacia hidrográfica do Rio Guaporé**

Localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul a bacia do Rio Guaporé é afluente da sistema fluvial Taquari-Antas afluente da lago Guaíba e possui uma área de contribuição aproximada de 2000 km<sup>2</sup>. A região apresenta diversidade de uso e manejo do solos, devido a ocorrência de um maior número de propriedades rurais de menor tamanho e por haver características geográficas diferenciadas. O relevo varia de ondulado à montante da bacia, a acidentado nas encostas e a jusante, condicionando à grande variabilidade de tipos de solo na bacia, sendo que as principais classes de solo, de acordo com Streck *et al.*(2008), são: Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Luvisolo Crômico, Neossolo Regolítico e Neossolo Bruno. O clima dessa região é classificado conforme Köppen como sendo subtropical superúmido, mesotérmico, com verões frescos e geadas severas demasiadamente frequentes, sem estação seca (Cfb). A precipitação média do ano varia entre 1400 a 2000 mm e a temperatura média anual em torno dos 18,4°C.

A área agrícola é predominante em relação a urbana, apresentando uma grande variabilidade de usos e manejos devido as características da paisagem. Nas áreas à montante onde o relevo se apresenta mais suave e os solos mais profundos é adotado o sistema de plantio direto, onde são cultivados principalmente soja, milho e trigo para a produção de grãos e forragens. Nas áreas de encosta com relevo mais acidentado e presença de solos rasos, a principal atividade agrícola é o tabaco (*Nicotiana tabacum*) e a pecuária leiteira. Nestas áreas mais íngremes há um intenso revolvimento do solo para o cultivo do tabaco e pastagens, tornando as áreas significativamente frágeis e susceptíveis a erosão hídrica. As atividades secundárias destas áreas são a produção de grãos e pastagens, bovinocultura de leite, produção de aves e suínos, as quais geram uma quantidade significativa de poluentes, que quando não manejados adequadamente acabam chegando aos corpos hídricos.

A área urbana não é muito significativa, porém há um elevado número de pequenos municípios na bacia hidrográfica: Guaporé, Marau, Soledade, Anta Gorda, Ilópolis, Arvorezinha, Itapuca, União da Serra, Nova Alvorada, Montauri, Vila Maria, Camargo, Casca, Gentil, Santo Antônio do Palma, Serafina Correa e Mato Castelhano.

A erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Guaporé é significativa, devido as características de relevo, tipo de solo, uso e manejo do solo. Nas áreas mais planas há ocorrência de erosão em entressulcos e em sulcos, devido à baixa densidade de cobertura do solo nos períodos de implantação e colheita das culturas, camadas compactadas próximas à superfície e a não utilização de práticas conservacionistas. Assim como, há também a formação de voçorocas em áreas de convergência e estradas onde não é adotado práticas de conservação do solo.

Este escoamento gerado nas cabeceiras favorece a produção e transporte de elevadas quantidades de sedimentos. Por ser uma região onde o relevo é mais íngreme, o escoamento possui energia suficiente para transportar partículas desde as de menor diâmetro, como argila e silte, até partículas mais grosseiras. A CSS média medida no exutório nos períodos sem eventos é de aproximadamente  $16,8 \text{ mg L}^{-1}$ , porém nos três anos de monitoramento já foi medido CSS máximas de até  $3000 \text{ mg L}^{-1}$  associada a vazões máximas de até  $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

### **Monitoramento hidrossedimentométrico**

Realizou-se o monitoramento hidrossedimentométrico de cada bacia hidrográfica durante os anos de 2011, 2012 e 2013. A base principal de monitoramento foi a utilização de equipamentos automáticos capazes de registrar medidas em pequenos intervalos de tempo que foram definidos em 10 minutos. A seção de monitoramento é a mesma utilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Os equipamentos de medição automática foram instalados no início de 2011 e a aquisição de dados iniciou em março do corrente ano. Em cada seção de monitoramento foi instalado um conjunto de sensores da marca Solar IMC<sup>®</sup>, os quais fornecem medidas instantâneas indiretas da Q, CSS e precipitação. Os sensores instalados são: linígrafo de pressão, pluviógrafo e turbidímetro, os quais realizam as medições em intervalos de 10min e armazenam as medidas em um datalogger com capacidade para armazenar dados por 44 dias sob este intervalo entre medidas.

Os sensores de turbidez são do tipo *backscattering* os quais fornecem um sinal em mV (mili volts) oriundo da medição da relação da luz infravermelha dispersada e a luz transmitida. Os turbidímetros apresentam intervalo de medida de 0-4.665 milivolts (mV), e utilizam a tecnologia do sinal nefelométrico (90°). A relação entre o sinal emitido pelo turbidímetro e a turbidez (NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez) foi definida através da calibração periódica com solução

padrão (Polímer Bead Calibration Solutions). A partir dos dados de turbidez foi estimada a concentração de sedimentos (CSS), a qual é uma medida indireta que está intimamente ligada a presença de partículas em suspensão.

O monitoramento da Q foi realizado com um linígrafo de pressão, através do qual é obtido o nível, sendo este valor corrigido com a cota da régua linimétrica da ANA e o valor de cota transformado em Q com a utilização da curva-chave cota-vazão presentes para as seções escolhidas.

### **Calibração dos sensores automáticos**

Para a utilização dos sensores automáticos como instrumento para medição das variáveis hidrossedimentológicas é indispensável a calibração dos mesmos. Portanto, também foram realizadas campanhas de monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) com calendário fixo (mensal) e de acompanhamento de eventos, os quais foram essenciais para a calibração do turbidímetro, e estimativa contínua da CSS.

Para a calibração da turbidez em relação a CSS, foram utilizadas as amostras coletadas durante os eventos pluviométricos monitorados, as quais foram encaminhadas para o Laboratório de Hidrossedimentologia da UFSM, para ser realizada a determinação da CSS, utilizando o método da evaporação e filtração (Shreve & Downs, 2005). Os dados de CSS medidos são comparados com as medições automáticas de turbidez e é estabelecido uma relação matemática entre as duas variáveis.

A monitoração da Q foi realizada adequadamente pelo linígrafo, porém as medições automáticas foram conferidas periodicamente com as medições de cota obtidas pela ANA e medidas durante campanhas de coletas de amostras. A precipitação (P) foi obtida através da rede de postos pluviométricos da ANA, a qual cobre a variabilidade espacial da precipitação na região com intervalos diários. Os dados de Q e CSS foram adquiridos em intervalos de dez minutos de 2011 a dezembro de 2013 contemplando 36 meses com diferenças significativas de magnitude de vazão e concentração de sedimentos. As falhas de dados automáticos, foram preenchidas com dados diários de Q obtidos pela ANA e a CSS estabelecida através da curva-chave aplicada a vazão.

### **Processamento dos dados**

Para este trabalho foram utilizadas as séries completas de dados de CSS e Q do período de 2011 a 2013 para as bacias hidrográficas do Rio Conceição e do Rio Guaporé. Estas séries de dados foram organizadas com as medidas de Q e CSS em intervalos de 10min, conforme dados obtidos pelos sensores automáticos. Nas falhas de dados, foram utilizadas as medidas diárias e fracionadas em intervalos de 10min, para compor as series de dados de cada bacia com o mesmo número de dados.



A partir da série de dados foi calculada a descarga sólida em suspensão (DSS), a qual é resultado da multiplicação da CSS e Q. Integrando a DSS no tempo, obtemos a produção de sedimentos (PS) de cada bacia (equação 1).

$$PS = \sum_{i=1}^n k(C_{ss} * Q) \div A \quad (1)$$

Onde: PS é a produção de sedimentos em ton.km<sup>-2</sup>; K é fator de correção de unidades, C<sub>ss</sub> (g.l<sup>-1</sup>) representa a concentração de sedimentos em suspensão, Q (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) representa a vazão, n representa o numero de medições instantâneas de C<sub>ss</sub> e Q num determinado tempo e A (km<sup>2</sup>) representa a área de contribuição de cada bacia.

Os dados medidos no menor intervalo (10min) foram utilizados como base para os todos os cálculos posteriores. Considerou-se que os dados obtidos sob este intervalo entre medidas, representam o real fluxo de água e sedimentos na bacia hidrográfica. Portanto, a partir desta base de dados foram decorridas as análises e simulações de aquisição de dados em intervalos maiores que 10min.

Para análise e simulações, foram definidos os seguintes intervalos: 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 dias, 7 dias, 14 dias e 21 dias; os quais foram aplicados a série completa de dados de 3 anos. A partir da série de dados com os diferentes intervalos entre medidas, foram geradas as curvas de massa utilizando um gráfico em que no eixo “x”, consta o tempo e no eixo “y” a PS, representando o impacto de cada medição na PS. Baseado neste gráfico, foram definidos um evento para cada bacia hidrográfica, os quais representam um incremento significativo na PS de cada bacia, a fim de realizar simulações de defasagem no instante de cada medição.

Foram realizadas duas simulações, as quais diferiam pela data da primeira medida realizada em cada intervalo na série completa de dados. Na primeira simulação, a primeira aquisição de dados ocorreu às 00h10min do dia 01 de janeiro de 2011 para as duas bacias em todos os diferentes intervalos entre medidas. Na segunda simulação, foi realizado uma defasagem de 4 horas no início da primeira medição, sendo assim, às 04h10min do dia 01 de janeiro de 2011 foi realizado a primeira medida para cada intervalo de tempo. Consequentemente, essa defasagem foi aplicada a toda a série de dados. O efeito de cada simulação foi representado em gráfico de dispersão, onde no eixo “x” plotou-se o tempo e no eixo “y” as variáveis de DSS (kg s<sup>-1</sup>) sob diferentes intervalos entre medidas. O resultado final de PS para os três anos, para cada intervalo de tempo, sob diferentes simulações foi plotado em um gráfico de barras para visualizar o efeito do intervalo entre medidas na estimativa da produção de sedimentos total.

## **RESULTADOS E DISCUSÃO**

### **Análise da produção de sedimentos**

O somatório da produção de sedimentos (PS) (2011-2013) das bacias do Rio Conceição e Guaporé está ilustrado na figura 2. A figura apresenta a alteração na PS total de sedimentos quando utilizasse diferentes intervalos entre medidas. Uma vez que existem poucas informações quantitativas a respeito do impacto da erosão e produção de sedimentos nos recursos hídricos (Didoné *et al.*, 2014), havendo a necessidade de aprimorar estudos de quantificação da produção de sedimentos.

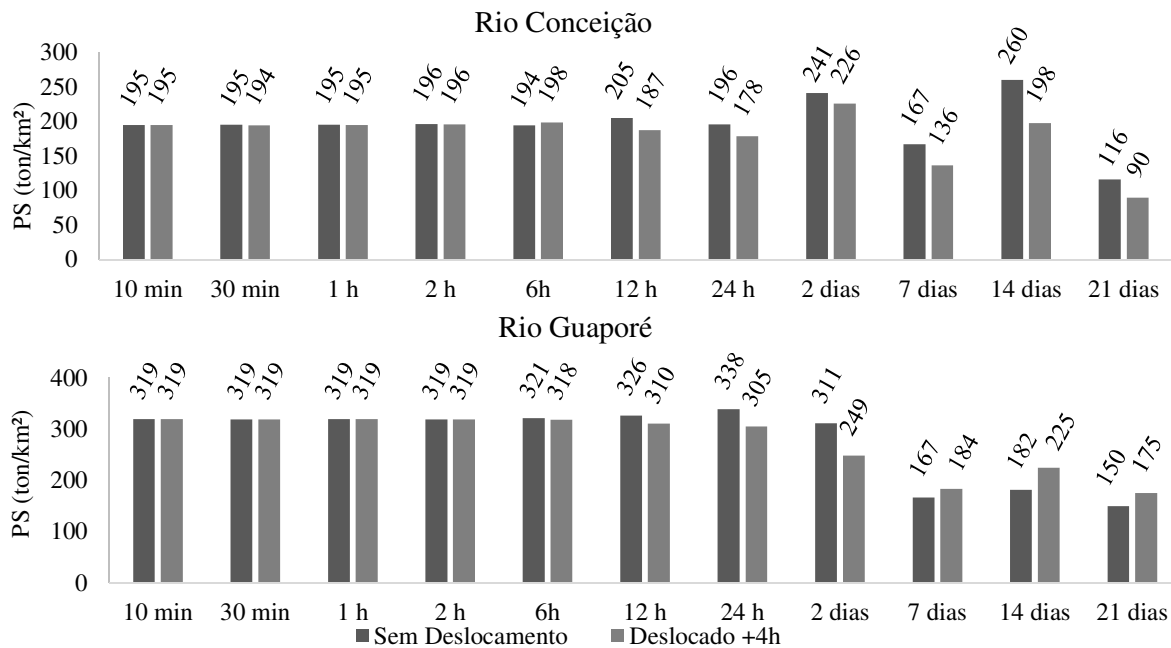


Figura 2. Produção de sedimentos total para os anos de 2011, 2012 e 2013 com diferentes intervalos entre medidas para as bacias hidrográficas do Rio Conceição e do Rio Guaporé.

Nota-se claramente que para as bacias em questão os intervalos entre medidas de até 2h não afeta a PS, ou seja, intervalos de medida entre 2 h são adequados para uma boa representação da produção de sedimentos na bacia.

A medida que aumenta o intervalo entre medidas, há uma maior variação na PS em ambas as bacias. Entretanto, as variações não apresentaram o mesmo comportamento. Após o intervalo ótimo houve um acréscimo na estimativa e depois uma redução. Este caso é claramente percebido na bacia do Rio Conceição, no qual ocorre uma superestimativa da PS quando é realizado medições em intervalos de 2 dias ou mais. Esse problema ocorre devido a duração de um evento pluviométrico nas bacias hidrográficas em estudo, ocorrer geralmente em um intervalo menor que dois dias, fazendo com que aumente a possibilidade de haver apenas uma medida durante o evento, e esta ocorrer justamente no pico de descarga.

### Fluxo de sedimentos nas bacias durante evento pluviométrico.

Essa influência da duração do evento e as diferenças entre intervalos de medidas motivou a análise de um gráfico que apresenta os valores de PS acumulado no tempo para os diferentes intervalos de medidas (Figura 3 e 4).

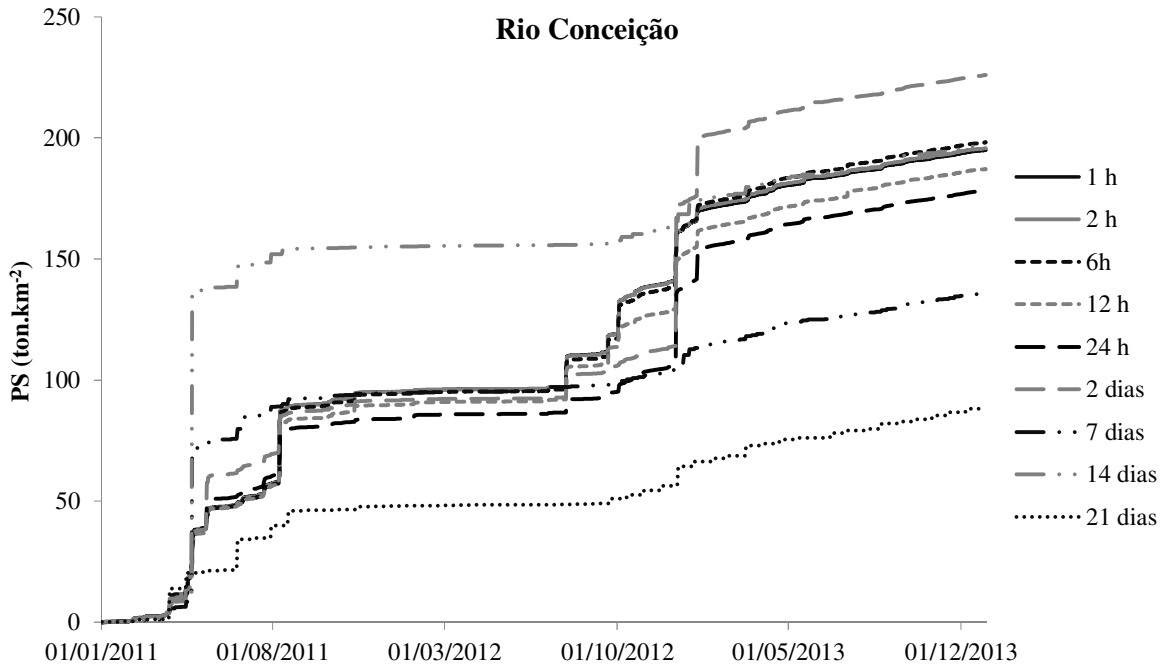


Figura 3. Fluxo de massa na bacia do rio Conceição de 2011 a 2013.

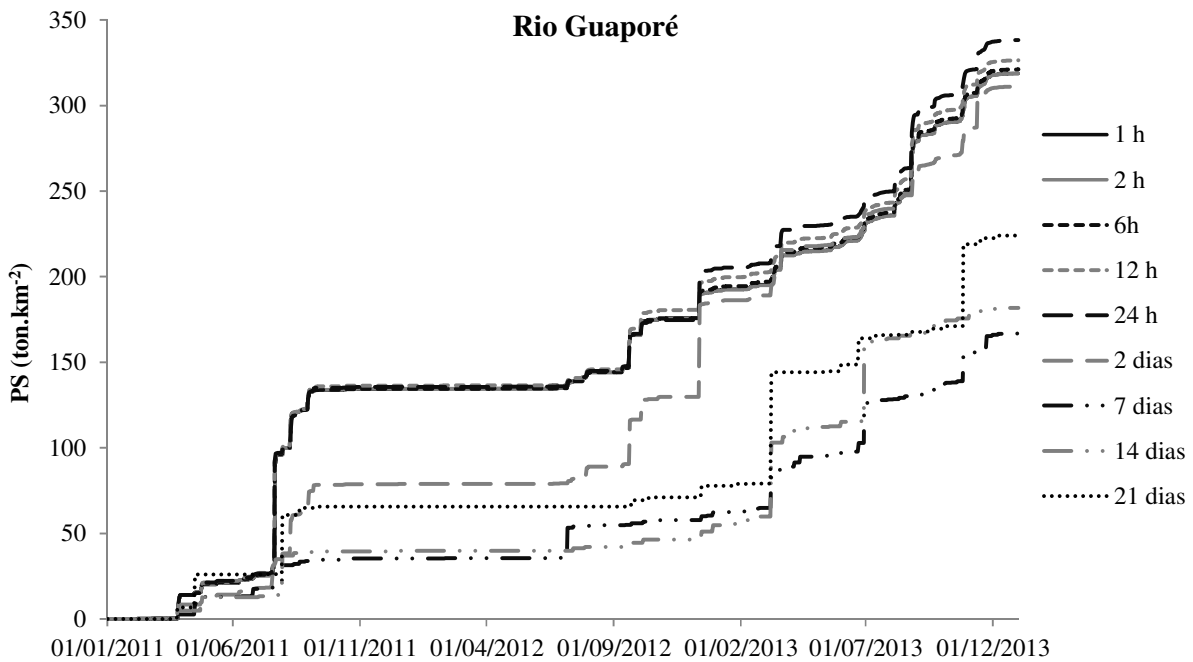


Figura 4. Fluxo de massa na bacia do Rio Guaporé de 2011 a 2013.

Percebe-se nas figuras 3 e 4, que o comportamento do acréscimo da PS ocorre distintamente, dependendo dos intervalos usados e o padrão se modifica dependendo da duração dos eventos e o número de pontos que o intervalo de medida cobre o evento. Para a bacia do Rio Conceição, percebe-se que o intervalo entre medidas de 14 dias ultrapassa os outros intervalos significativamente em um evento ocorrido na metade do ano de 2011. Se este intervalo de medidas fosse adotado para a estimativa anual apenas, para o ano de 2011 nesta bacia teria ocorrido uma superestimativa considerável, porém, como os dados foram analisados em um total de 3 anos, o impacto desta medição foi atenuado. O mesmo ocorre para o intervalo entre medidas de 2 dias, que em ambas as bacias, e em eventos que ocorreram no mesmo período (12 a 15 de dezembro de 2012), sofrem um incremento significativo na PS pelo fato de a medição ocorrer justamente no pico do evento (Figura 9 e 13).

Estes dois eventos pluviométricos foram separados e analisados detalhadamente neste trabalho, os quais foram selecionados pois representam grande parte da produção de sedimentos do ano de 2012 e ocorrem no mesmo período, eliminando o efeito de clima e uso do solo, que no momento foi semelhante nas duas bacias. Além disso, pode-se afirmar que a PS é fortemente controlada pelos eventos de grande magnitude. O evento que iniciou no dia 12 de dezembro de 2012, com 84 mm de chuva em quatro dias, representou 24 % da PS de sedimentos total do ano de 2012 para a bacia do Rio Guaporé (Figura 5). Para a bacia do Rio Conceição o evento ocorrido no mesmo período, a precipitação total durante os quatro dias de evento foi de 126 mm e representou 27 % da PS total de 2012 (Figura 6). A época em que ocorreram estes eventos coincide com a implantação recente das culturas de verão, momento que coincide com revolvimento de solo e pouca cobertura de solo.

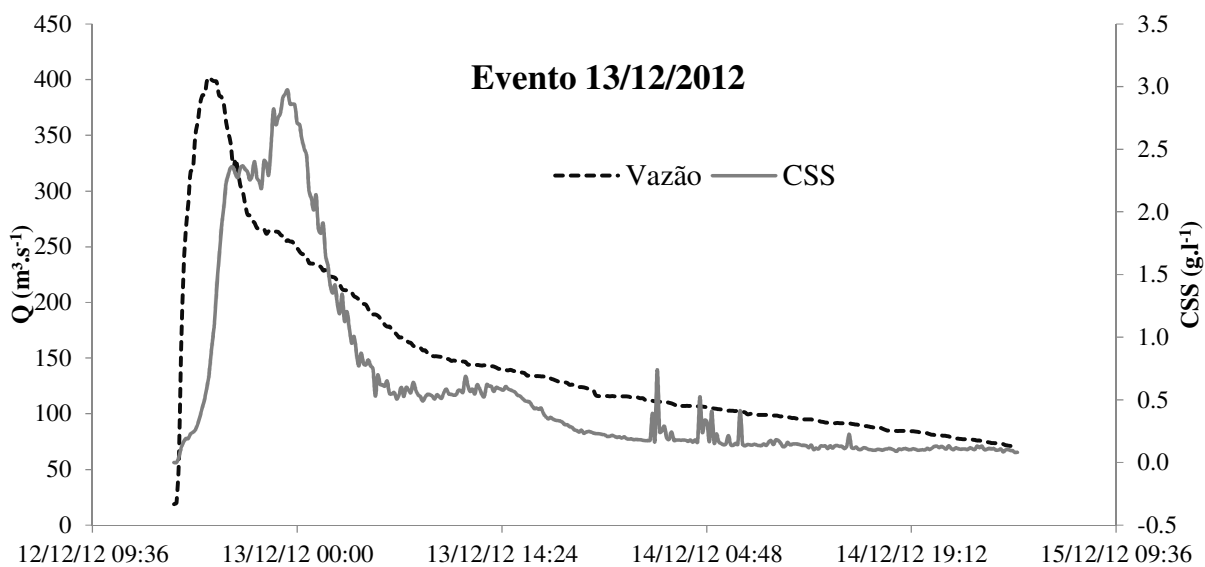


Figura 5. Vazão e CSS durante evento pluviométrico na bacia do Rio Guaporé.

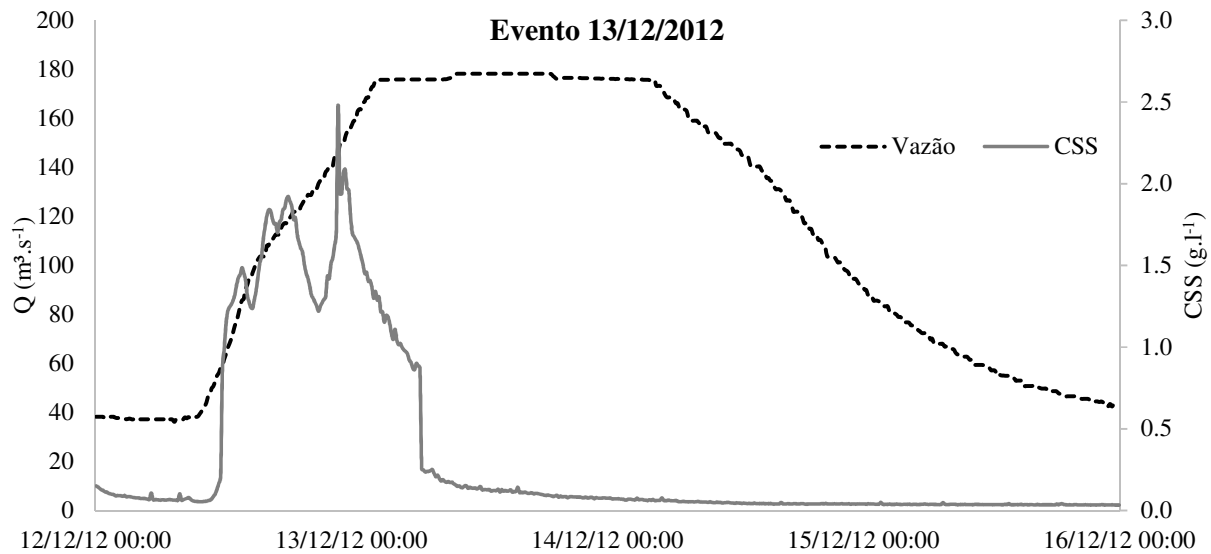


Figura 6. Vazão e CSS durante evento pluviométrico na bacia do Rio Conceição.

### Simulações de amostragem durante os eventos.

Buscando encontrar o delta t ideal para amostragem em cada bacia hidrográfica e o impacto dos diferentes intervalos de medições dentro de um evento pluviométrico de grande magnitude, foram simuladas medições pontuais para verificar como seria representado o processo com intervalos maiores entre medidas dentro de um evento.

Na Figura 7 foram consideradas medições com intervalos menores que um dia para a bacia do Rio Guaporé. Verifica-se que intervalos de medida de até uma hora foi capaz de representar todo o evento, na subida, descida e pico do gráfico de fluxo de sedimentos. Já em um intervalo de duas horas, houve uma atenuação na representação do primeiro pico de fluxo de sedimentos, mas mesmo assim foi capaz de representar o evento. Nos intervalos de seis e doze horas, não foi contabilizado o pico de fluxo, que é o momento de maior importância na quantificação da PS.

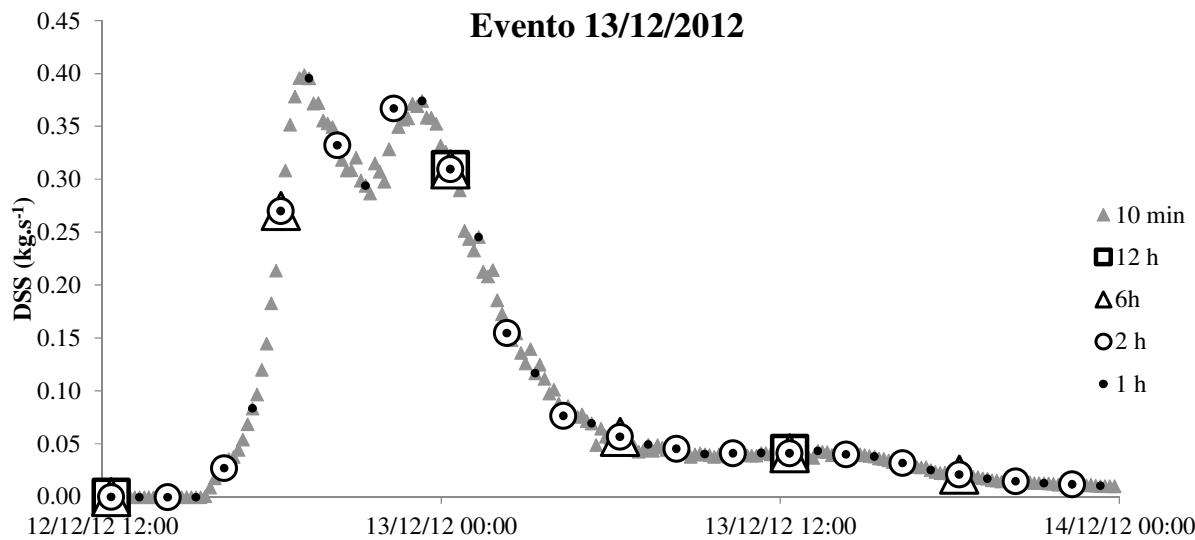


Figura 7. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas menores que um dia para a bacia do Rio Guaporé.

Gerando uma defasagem de 4h no início das medições (Figura 7), tivemos um resultado diferente para os maiores intervalos, de seis e doze horas. No menor intervalo houve uma simplificação na representação do evento, porém o evento foi considerado. Para o intervalo maior, de doze horas, o evento foi totalmente desconsiderado, pois os maiores fluxos ocorreram justamente em um intervalo em que não foi realizado amostragem. Este caso, implica em uma subestimação da PS.

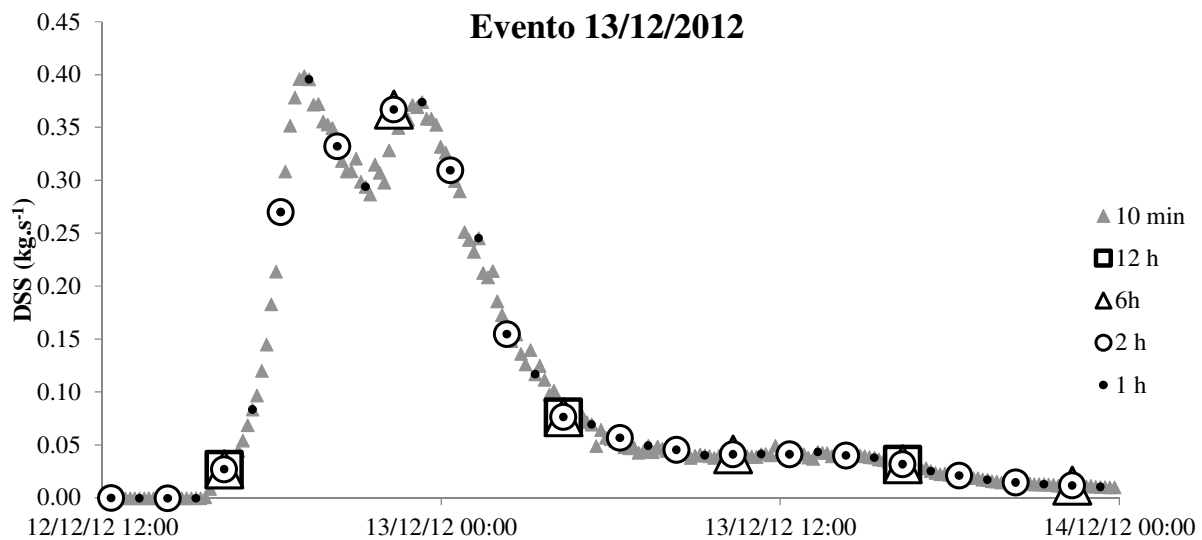


Figura 8. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas menores que um dia para a bacia do Rio Guaporé, deslocado +4h.

Também foram simuladas amostragens em um intervalo entre medidas maior que um dia, verificando a possibilidade de diminuir custos de amostragem reduzindo a quantidade de medições. Este trabalho mostra que intervalos maiores entre medidas pode resultar em uma estimativa de PS com erros significativos, pois como é possível ver na figura 9 e 10, no intervalo de dois dias por exemplo, é possível ter uma superestimativa ou mesmo uma subestimativa da PS devido a medição poder ocorrer exatamente no pico ou mesmo antes e depois da ocorrência do evento.

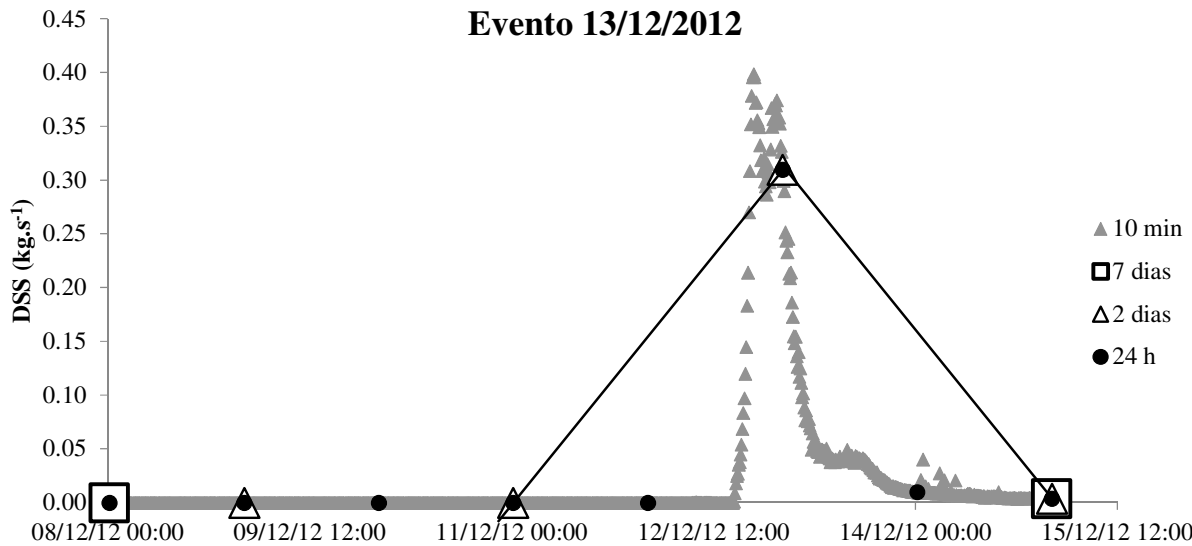


Figura 9. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas maior que um dia para a bacia do Rio Guaporé.

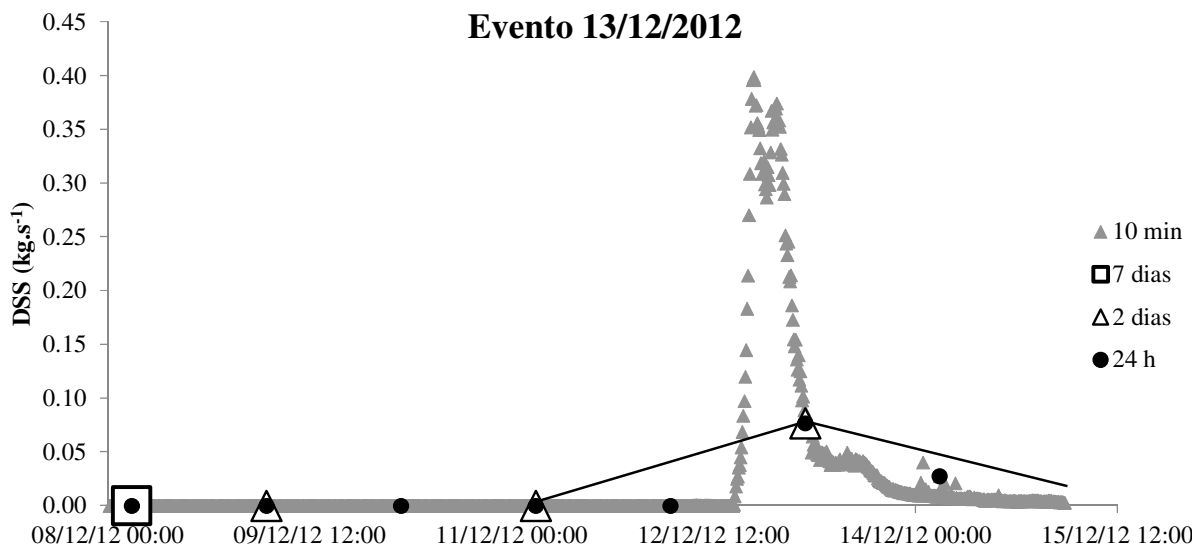


Figura 10. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas maior que um dia para a bacia do Rio Guaporé, deslocado +4h.

A análise do evento ocorrido em dezembro de 2012 na bacia do Rio Conceição mostra que intervalos entre medidas de até 2h causa uma atenuação nas variações do fluxo de sedimentos,

porém é capaz de representar adequadamente os processos que ocorrem dentro de um evento pluviométrico. Intervalos maiores que 12h não descrevem as oscilações na descarga, além de perder um dos dois picos de descarga de sedimentos (Figura 11).

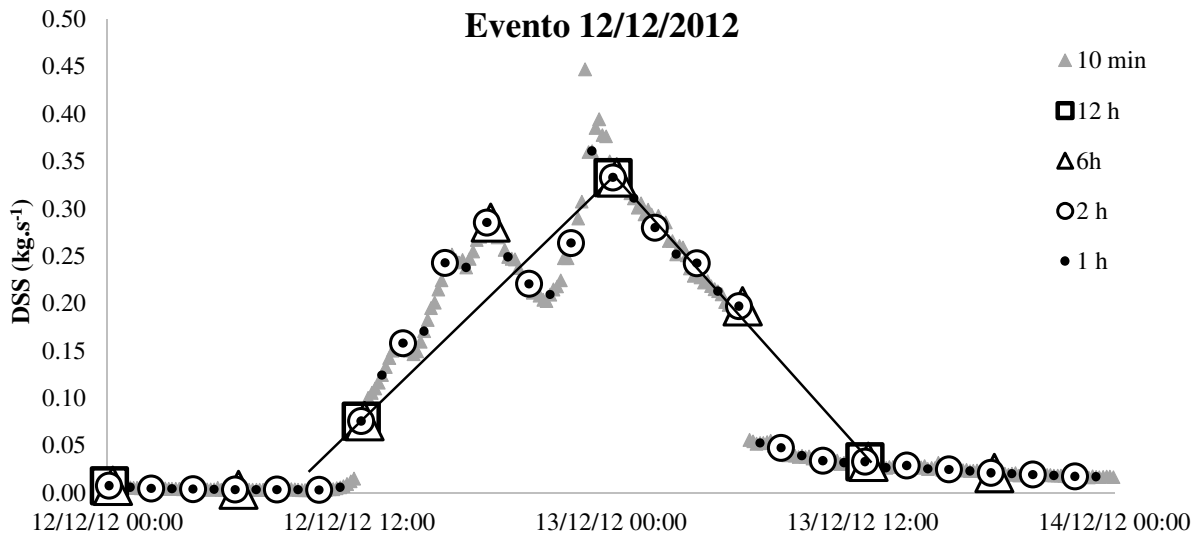


Figura 11. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas menores que um dia.

A defasagem do início das medições não alterou a qualidade de representação dos intervalos entre medidas menores que 2h, porém em intervalos maiores, os dois picos de descarga não foram contabilizados (Figura12).

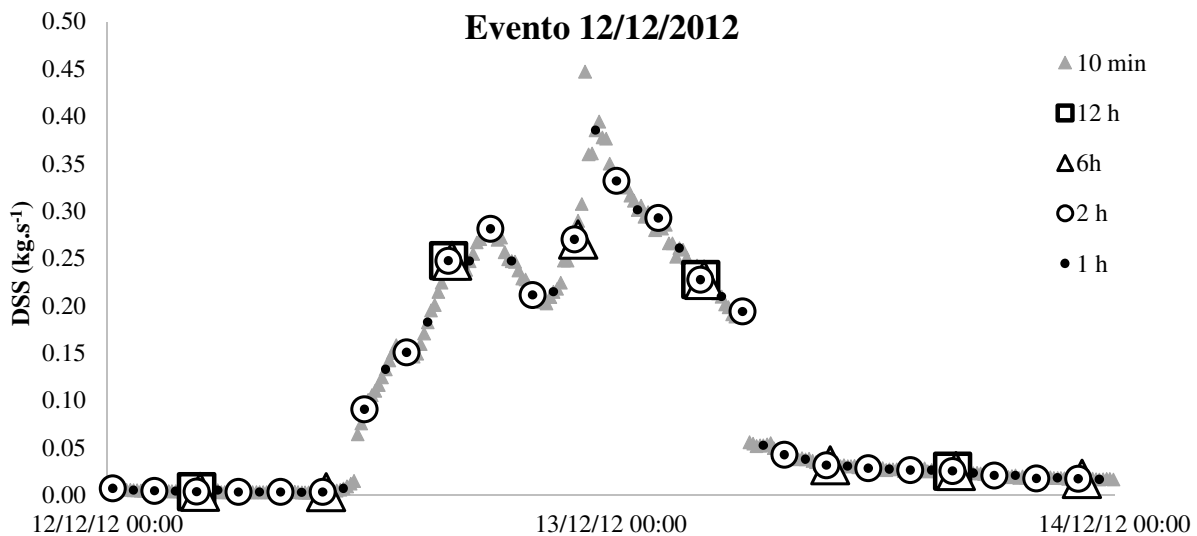


Figura 12. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas menores que um dia deslocado +4h.

Em intervalos maiores que um dia, o problema é ainda mais grave, pois o evento todo é representado por apenas uma medição com intervalo de 1 e 2 dias (Figura 13), podendo



superestimar a PS caso a medição ocorra exatamente no pico do evento ou subestimar caso as medições ocorram fora do pico de descarga (Figura 14).

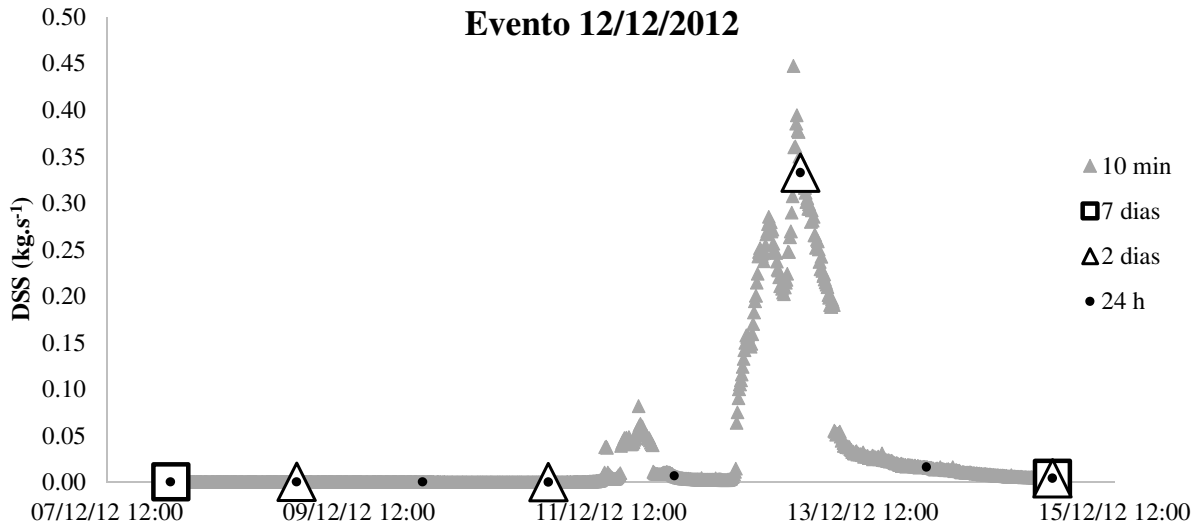


Figura 13. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas maior que um dia.

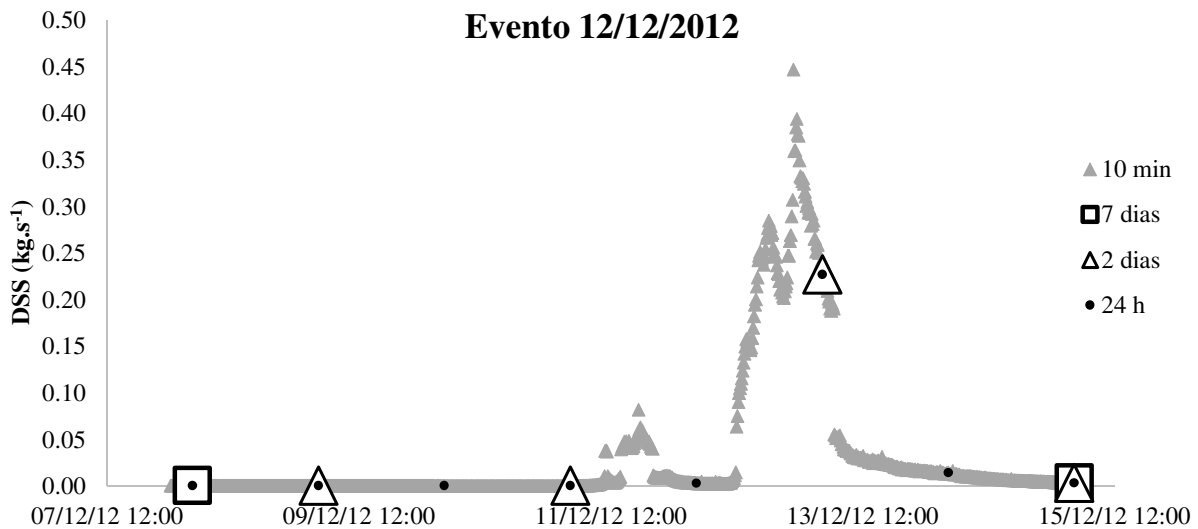


Figura 14. Medidas de descarga sólida em suspensão com intervalo entre medidas maior que um dia deslocado +4h.

## Conclusões

A frequência de amostragem afeta diretamente a estimativa da PS quando utilizamos equipamentos automáticos (linígrafo e turbidímetro), sendo importante avaliar o melhor intervalo de medida para evitar sub ou superestimativas.

Para a bacia hidrográfica do Rio Guaporé, um intervalo entre medidas maior que duas horas, gera um pequeno erro na estimativa da PS total em intervalos maiores que 12h os erros são maiores.

O intervalo entre medidas de 2 dias gera o maior erro, pois para a maior parte dos grandes eventos o tempo de concentração é ao redor de 2 dias, fazendo com que a amostragem neste intervalo possibilite um grande erro para mais ou para menos.

Da mesma forma, a PS no Rio Conceição sofre variações em intervalos entre medidas maior que 2h, porém grandes erros ocorrem em intervalos entre medidas menores, como o de 12h entre medições, comparando-se com a bacia do Rio Guaporé que passa a ter maiores erros em intervalos de medida igual a 24h. Essa diferença entre as duas bacias hidrográficas comprova que conforme diminui a área de contribuição, maior deve ser o intervalo entre amostragens.

## **Agradecimentos**

Aos órgãos públicos de fomento FAPERGS- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Governo do Estado do Rio Grande do Sul.

## **BIBLIOGRAFIA**

Chen, L.; Schumer, R.; Knust, A.; Forsee, W. (2012). *Impact of Temporal Resolution of Flow-Duration Curve on Sediment Load Estimation*. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 48(1): 145–155.

Cooper, R.J.; Krueger, T.; Hiscock, K.M.; Rawlins, B.G. (2014). *High-temporal resolution fluvial sediment source fingerprinting with uncertainty: a Bayesian approach*. Earth Surf. Process. Landforms. doi: 10.1002/esp.3621.

Defersha M.B.; Melesse A.M. (2012). *Field-scale investigation of the effect of land use on sediment yield and runoff using runoff plot data and models in the Mara River basin, Kenya*. Catena 89:54–64.

Didoné, E.J.; Minella, J.P.G.; Reichert, J.M.; Merten, G.H.; Dalbianco, L.; Barros, C.A.P.; Ramon, R. (2014). *Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil*. Journal of Soil and Sediments 14, 1287-1297

Horowitz, A.J. (2003). *An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations*. Hydrol. Process. 17: 3389-3409

Horowitz, A.J. (2013). *A Review of Selected Inorganic Surface Water Quality-Monitoring Practices: Are We Really Measuring What We Think, and If So, Are We Doing It Right?*. Environ. Sci. Technol., 2013, 47 (6), pp 2471–2486.

Horowitz, A.J., Clarke, R.T. and Merten, G.H. (2014). *The effects of sample scheduling and sample numbers on estimates of the annual fluxes of suspended sediment in fluvial systems*. Hydrol. Process.. doi: 10.1002/hyp.10172.

Merten, GH; Horowitz, AJ; Clarke, RT; Minella, JPG; Pickbrenner, K; Pinto, M. C. (2006). Considerações sobre a utilização da curva chave de sedimentos para determinação de fluxo de sedimentos. In: Merten, GH et al., (Ed). *Sedimentos: o desafio da multidisciplinaridade*. Porto Alegre: ABRH, 2006. p.83-94.

Merten, G.H.; Capel, P.D. and Minella, J.P.G. (2014). *Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors*. Journal of Soils and Sediments v.14, n 7, p. 1235-1241.

Minella, J. P. G; Merten G. H. (2011). *Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão*. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.3, p.424-432.

Shreve, E.E. & Downs, D.D. (2005). *Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U. S. geological survey kentucky water science center sediment laboratory*. U.S. Geological Survey Open-File Report, 28 p.

Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. (2008). *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. 222 p.

Verstraeten, G.; Poesen, J.; Gillijns, K.; Govers, G. (2006). *The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure?*. Hydrol. Process., 20: 4259–4267.

WMO (2003). *Manual on sediment management and measurement*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.