



ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO COM O USO DE CURVA-CHAVE

Luciana Shigihara Lima¹; Guilherme Kruger Bartels²; Viviane Santos Silva Terra³; Gilberto Loguercio Collares⁴

RESUMO --- Através do uso intensivo do solo e dos recursos hídricos observa-se o crescente interesse na quantificação do transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas relacionados à erosão, sendo este um processo que afeta diretamente a sociedade. Através desse processo, geram-se diversos problemas, como o assoreamento dos rios e a diminuição da capacidade de reservatórios, além de propiciar a intensificação do transporte de poluentes. A partir disso, alguns modelos hidrossedimentológicos vêm sendo cada vez mais utilizados na medição e estimativa da produção de sedimentos. A curva-chave é a relação entre a cota e a vazão que escoou numa seção transversal de um curso d'água, servindo de parâmetro para estimar a produção de sedimentos a partir da relação de vazão com a concentração de sedimentos. O estudo e aplicação deste método são de vital importância para estimar ao longo do tempo a produção de sedimentos em uma determinada área de estudo. Este trabalho teve como objetivo a criação da curva-chave e estimar a relação com a produção de sedimentos em uma determinada bacia hidrográfica. No caso, procura-se realizar o acompanhamento constante através de medições nas mais diversas cotas, a fim de representar o comportamento da bacia o mais próximo da realidade.

ABSTRACT --- Through the intensive use of land and water resources there is growing interest in quantifying the transport and deposition of sediments in basins related to erosion, which is a process that directly affects society. Through this process, they generate many problems such as siltation of rivers and the diminished capacity of reservoirs, besides providing the intensification of pollutant transport. From this, some hydrosedimentological models are being increasingly used to measure and estimate the sediment yield. The key curve is the relationship between elevation and flow seeping a cross section of a watercourse, used as benchmark for estimating sediment yield from the flow relation with sediment concentration. The study and application of this method are of vital importance to estimate over time the sediment yield on a given area of study. This study aimed to the creation of the key curve and estimates the relationship with the sediment yield on a given river basin. In this case, should be accomplished the constant monitoring by measurements in several dimensions in order to represent the behavior of the basin closer to reality.

Palavras-chave: curva-chave, produção de sedimentos e concentração de sedimentos em suspensão

¹ Graduanda, Engenharia Hídrica – UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: lushilima@gmail.com

² Mestrando, PPG em Recursos Hídricos - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: guilhermebartels@gmail.com

³ Pós-Doc, PPG em Recursos Hídricos - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: vssterra@yahoo.com.br

⁴ Professor Titular, Engenharia Hídrica - UFPel. Rua Gomes Carneiro, nº 1. Pelotas (RS). email: gilbertocollares@gmail.com

INTRODUÇÃO

A intensa utilização dos solos com a agricultura e o uso dos recursos hídricos para os mais variados fins, tem mostrado a crescente importância da quantificação, no tempo e no espaço, da produção, transporte e deposição de sedimentos gerados nas bacias hidrográficas. As atividades de produção agrícola são potencialmente causadoras de erosão, que além de produzir sedimento prejudicial, pode causar danos principalmente nos rios e reservatórios.

A erosão é um processo que afeta diretamente o ambiente e, por conseguinte a sociedade como um todo, pois causa o assoreamento dos rios, reduz a capacidade dos reservatórios, intensifica o transporte de poluentes e diminui o potencial da produção agrícola, devido ao desprendimento e arraste das partículas. Para Carvalho (2008) a formulação de um projeto para o controle de sedimentos inclui vários modelos numéricos, sendo um deles voltado para o controle de erosão das áreas de origem do sedimento.

Nos últimos anos, alguns modelos têm sido utilizados em estudos de avaliação do uso do solo e sua influência nos processos de escoamento (superficial e subterrâneo), desprendimento, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Os modelos hidrossedimentológicos vêm sendo cada vez mais utilizados na medição e estimativa da produção de sedimentos em grande escala, contribuindo significativamente para a gestão dos recursos hídricos (Silva; Santos, 2008).

A curva-chave é o termo usado na hidrologia para designar a relação entre a cota (nível d'água) e a vazão que escoam numa seção transversal de um curso d'água. Tal curva é utilizada para estimar a produção de sedimentos a partir da relação entre a vazão e a concentração de sedimentos. Nesse caso, a concentração de sedimentos instantânea é correlacionada com a vazão instantânea para a construção de uma curva-chave, sendo esta gerada a partir do monitoramento de eventos de diferentes magnitudes (Minella, 2007).

Segundo Sequinatto (2007) a obtenção da curva-chave de sedimentos deve ser realizada com cuidado, tentando reduzir ao máximo as incertezas proporcionadas à sua utilização, já que essa utilização geralmente subestima os valores de descarga de sedimentos. Para que a qualidade dos resultados seja adequada é necessária uma maior frequência de amostragens, isso ocorre quando se utiliza um maior número de amostras em um menor intervalo de tempo, aumentando assim a probabilidade de coincidir o momento da coleta com os eventos de cheia, os quais são responsáveis pela maior parte da produção de sedimentos.

Por isso, o referido trabalho tem como objetivo avaliar a produção de sedimentos em uma bacia experimental, através da utilização da curva-chave de sedimentação.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Arroio do Ouro abrange parte dos municípios de Pelotas e Morro Redondo, no Rio Grande do Sul. Considerada um afluente do Arroio Cadeia, que por sua vez é um afluente do Arroio Pelotas. O Arroio Pelotas possui sua nascente no município de Canguçu e sua desembocadura no Canal São Gonçalo, Pelotas- RS.

A seção de monitoramento da bacia encontra-se nas coordenadas 31°34'17" de latitude sul e 52°33'44" de longitude oeste, estando inserida na região geomorfológica do Escudo Sul-Rio-Riograndense (Figura 2).

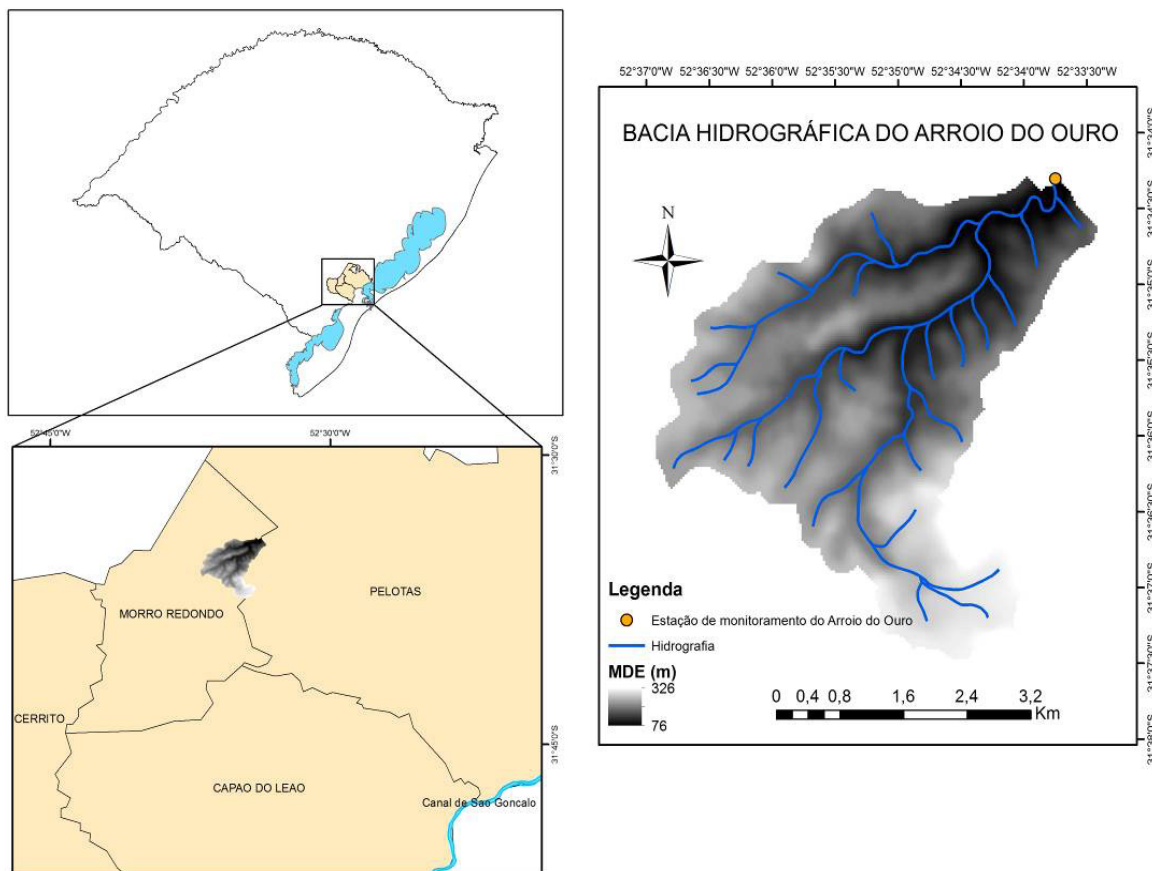


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Arroio do Ouro.

As principais características físicas da bacia do Arroio do Ouro são: área (16,96 km²); perímetro (21,95 km); comprimento e largura média (6,0 km e 2,72 km, respectivamente), fator de forma (0,45), coeficiente de compacidade (1,49), índice de conformação (0,47) e densidade de drenagem (1,87 km). A região se caracteriza por intensa atividade agrícola, incluindo o cultivo de pêsego, milho e tabaco, além das atividades voltadas para pecuária leiteira e avicultura em propriedades familiares.

Determinação das descargas líquidas e sólidas

O monitoramento de vazão realizado neste estudo foi de março de 2013 a setembro de 2014 totalizando 40 medições em 26 eventos de precipitação. Para a medição de vazão líquida foi utilizado o método convencional com molinete hidrométrico que consiste em medir tanto a velocidade quanto a área da seção transversal do rio (Santos et al., 2001). A velocidade foi medida com o auxílio do molinete hidrométrico OTT C31 (Figura 2), onde o número de rotações é convertido em velocidade, através de equações fornecidas pelo fabricante. Para a obtenção da área da seção, inicialmente foi medido a largura do arroio, seguido da divisão deste em verticais de 50 ou 100 cm de largura, em função da largura total da seção, nas quais foram medidas velocidades em diferentes profundidades, baseando-se no método simplificado (Santos et al., 2001).



Figura 2 – Molinete OTT C31.

Os dados coletados foram plotados no programa Hidromolinetes (Back, 2005), sendo assim possível a obtenção das vazões. O método utilizado para o cálculo da vazão foi o método da seção média (Santos, 2001). Os dados pareados de vazão e cota foram empregados para desenvolver uma curva-chave de acordo com a equação abaixo:

$$Q = k \times (h - h_0)^n \quad (1)$$

onde:

Q= vazão ($m^3 s^{-1}$);

h= cota medida na régua linimétrica (cm);

h_0 = cota da régua linimétrica com vazão igual a zero (cm)

k e n = parâmetros de ajuste da equação

Com o auxílio do programa Microsoft Excel e da ferramenta Solver foram realizadas as correções necessárias determinando os fatores de correção k, n e h_0 , posteriormente foi realizada a edição de gráficos que facilitaram a visualização com os dados obtidos. Para determinar a eficiência do ajuste da curva-chave foi utilizado o coeficiente de Nash–Sutcliffe (Nash & Sutcliffe, 1970), denominado simplesmente de NS. Este coeficiente pode variar de $-\infty$ a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor é o modelo para representar a massa de dados observados.

O monitoramento da concentração de sedimento em suspensão (CSS) realizado neste trabalho compreendeu o período de janeiro a setembro de 2014 totalizando 30 medições. Foram utilizados amostradores do tipo USDH-48 e USDH-59 para a obtenção de uma série temporal de dados de concentração de sedimentos, que possibilita determinar o fluxo de sedimentos. As amostragens foram realizadas conforme a variação na altura da lâmina de água, sendo o número e a frequência de amostragem definidos de acordo com as condições de cada evento. Os amostradores utilizados são compostos por uma estrutura metálica em forma hidrodinâmica, para condicionar uma garrafa de vidro para acondicionamento da amostra, presa por uma mola e possuindo um bico na parte frontal (Figura 3).



Figura 3 - Amostrador de sedimentos em suspensão do tipo USDH-59.

A obtenção de amostras foi realizada com a movimentação vertical do amostrador, sempre em velocidade constante, entre a superfície e um ponto a 11 centímetros acima do leito, evitando assim o toque do amostrador no fundo do canal. Com isso a velocidade de entrada da amostra foi igual ou parecida com a velocidade instantânea da corrente, garantindo qualidade amostral. As amostras foram coletadas nas mesmas verticais de medição da velocidade, descartando as verticais próximas às margens do rio. Ao final da medição, as amostras de cada vertical foram agrupadas em uma amostra composta.

A determinação da CSS foi obtida pelo método da evaporação realizado no laboratório de Solos e Hidrossedimentologia do Curso de Engenharia Hídrica. As amostras providas do campo eram colocadas em Becker de vidro, previamente pesadas, obtendo o peso total da amostra. Depois de 48 horas submetidas a repouso, foi retirada uma alíquota de 50 ml de cada Becker para descontar os sólidos dissolvidos da amostra. Imediatamente, as amostras foram levadas a estufa a 105°C e quando secas, até obtenção de massa constante, determinado o peso do sedimento para posterior determinação da CSS.

RESULTADOS E DISCUSÃO

Utilizando-se da ferramenta Solver do programa Microsoft Excel com os pares de vazão x nível na régua linimétrica foi gerado a curva-chave (Figura 4) para a seção de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Arroio do Ouro. Para realizar um melhor ajuste dos dados a curva-chave foi dividida em duas partes, com cotas menores de 78 cm e maiores (Figura 4). Essa divisão e obtenção de duas equações (para cotas menores e maiores) servem para obter uma melhor representatividade do comportamento da curva. Os coeficientes de Nash-Sutcliffe apresentaram valores iguais a 1 para cotas menores que 78cm, e de 0,993 para cotas maiores. Para o primeiro caso pode-se observar que a equação expressa, de maneira perfeita, o comportamento entre os valores de cota x vazão. Quanto aos dados de altas vazões, observamos que a equação expressa bem o comportamento, no entanto, devido a possíveis bruscas variações de cotas, pode ocasionar perda de qualidade no ajuste.

Os processos de erosão e assoreamento dos rios provocam mudanças constantes no leito, principalmente em leitos com origem de material arenoso, como o caso da seção em estudo. Como essas modificações são constantes no tempo, devem-se realizar medições e calibrações na curva-chave continuamente, de modo a que haja uma melhor representatividade dessa relação. Conforme também observado por Sefione (2002), geralmente há uma carência de medições em cotas mais altas e, nessa condição, maiores são as possibilidades das medições serem menos precisas.

Almeida et al (2013) também afirmam que deve-se considerar que a curva-chave de uma certa seção altera-se no tempo, dependendo do material do leito, já que a curva representa a relação entre cota/vazão e as características hidráulicas e geométricas do rio. É importante a realização de medições eventos extremos (níveis muito baixos e altos), a fim de confirmar e corrigir as extrapolações da curva-chave (Santos et al, 2001).

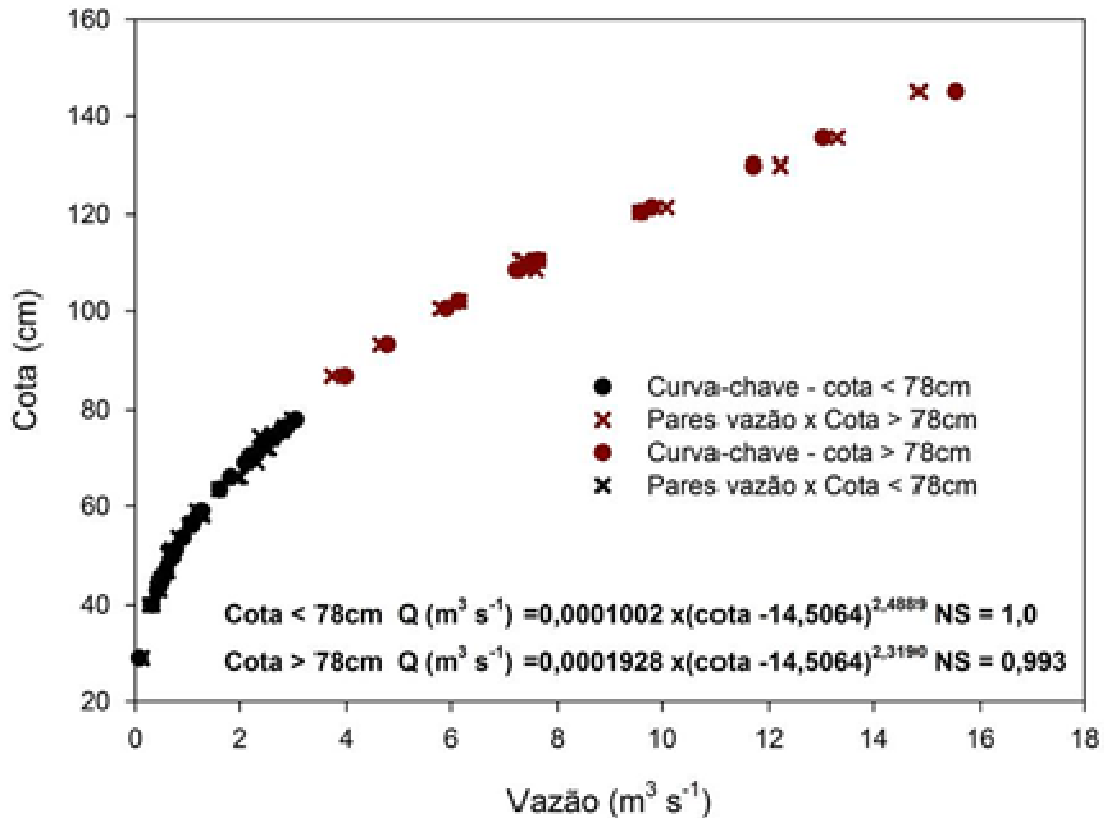


Figura 4 – Curva-chave de vazão da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

De acordo com a metodologia proposta, os dados de CSS foram confrontados com as respectivas medições de vazão gerando a curva-chave de sedimento em suspensão (Figura 5). Para uma melhor discretização do fluxo de sedimento em suspensão buscou-se realizar medições durante a ascensão e recessão do hidrograma, permitindo um maior detalhamento do comportamento da bacia durante uma onda de cheia. A curva-chave apresentou os resultados esperados, apresentando um crescimento polinomial conforme o aumento das vazões, com coeficiente de determinação de 0,9214.

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos na obtenção da curva-chave observa-se a necessidade de cuidados quanto a eficiência de seu uso, principalmente em regiões que apresentam sazonalidade, gerando curvas distintas no período de chuvas e de estiagem (Carvalho, 2008).

Um dos fatores que pode alterar a eficiência de uma curva-chave é a quantidade de material disponível. De acordo com Nordin Jr., (1985) a descarga de sedimento está mais relacionada com a disponibilidade de material para ser transportado do que a capacidade do fluxo em transportá-lo.

A utilização da curva-chave em bacias urbanas torna-se mais difícil, principalmente devido aos diferentes tipos de fonte disponíveis para serem transportados, gerando elevadas concentrações de sedimento no início do evento, em seguida ocorrer uma redução no transporte de sedimento (Poletto, 2012).

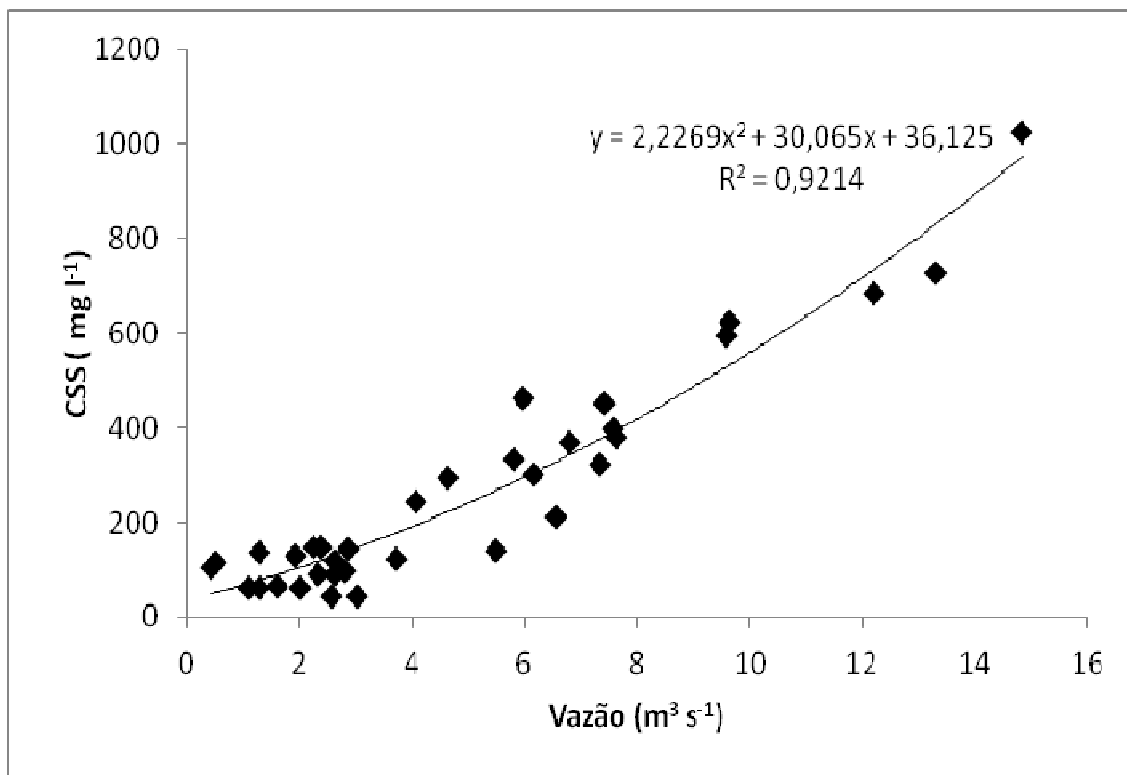


Figura 5 – Curva-chave de sedimento em suspensão da bacia hidrográfica do Arroio do Ouro.

Até o presente momento a maior vazão medida foi de 14,84 m³/s, com o andamento dos estudos espera-se realizar medições em cotas maiores a fim de apresentar uma melhor estimativa da concentração, e aumentar a sua correlação. Minella & Merten (2011) ressaltam a importância de uma alta frequência de amostragem na qualidade dos resultados obtidos.

CONCLUSÕES

O ajuste da curva-chave de vazão mostrou-se representar de maneira adequada o deflúvio medido na bacia, sendo necessárias permanentes medições de vazão para manter o ajuste da curva o mais fiel possível da realidade. A curva-chave de sedimento em suspensão apresentou um bom coeficiente de determinação, no entanto deve ser utilizada com cautela, visto as limitações de seu uso. Cabe salientar a importância da amostragem de sedimento com uma alta frequência, principalmente em bacias de pequeno porte.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento para a Finep pelo financiamento e CNPq e CAPES pelas bolsas concedidas.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, I.K.; ANACHE, J.A.A.; SANTOS, B.B.; SOBRINHO, T.A. (2013). *Estimativas de vazões e traçado de curvas-chave*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX., Bento Gonçalves, p. 1-8.

BACK, A.J. (2005). *HIDROMOLINETES Versão 1.5*.

CARVALHO, N.O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: Interciência, 2ªed., pp. 599.

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.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; REICHERT, J.M.; SANTOS, D.R. (2007). *Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, pp.1637 – 1646.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, I.V. (1970). *River Flow Forecasting Throligh Conceptual Models*. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.10, n.3, p.282-290.

NORDIN Jr., C.F. (1985). *“The sediment load of rivers.”* In: Rodda, J.C. (organizador) Facets of Hydrology Volume II. Editora John Wiley & Sons Ltd, EUA.

POLETO, C. (2012). *Fluxos de sedimentos em suspensão e metais em uma bacia urbana de cabeceira*. REGA, v. 9, n. 1, p. 39-47.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC.

SEFIONE, A. D. (2002). *Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave*. 2002. 240 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SEQUINATO, L.A. (2007). *Insustentabilidade do uso do solo com fumicultura em terras declivosas*. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. (2008). *Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.12, pp. 520 – 526.