

AVALIAÇÃO DE CURVAS-CHAVES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE-SC

Vanderleia Schmitz¹ & Nadia Bernardi Bonumá² & Cesar Augusto Pompêo³*

Resumo – Os processos erosivos em bacias hidrográficas vêm aumentando devido à ação antrópica, provocando a degradação do solo e da água. Uma das formas de compreender esses processos é mediante a curva-chave de sedimentos. O objetivo deste artigo é analisar a adequação de medições de concentração de sedimentos na elaboração da curva-chave de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio do Peixe. Com emprego de 12 anos de dados de vazão, concentração de sedimentos em suspensão e descarga sólida em suspensão (2005 a 2016), foram realizadas cinco análises de elaboração de curva-chave de sedimentos. As primeiras quatro geraram curvas-chaves para um período de dados (2005 a 2016) e a quinta análise gerou curvas-chaves para dois períodos de dados (2005 a 2011 e 2011 a 2016). Os resultados demonstram ser a equação potencial a forma adequada para as curvas-chaves de sedimentos, mesmo utilizando os pares de valores concentração de sedimentos e vazão e descarga sólida e vazão. Conclui-se que para esta série de dados é adequado elaborar curva-chave de sedimentos utilizando concentração de sedimentos em suspensão e vazão, quando considerado dois períodos de dados.

Palavras-Chave – curva-chave de sedimentos, concentração de sedimentos em suspensão, rio do Peixe.

EVALUATION OF SUSPENSION SEDIMENT RATING CURVES FOR THE HYDROGRAPHIC BASIN OF RIVER PEIXE-SC

Abstract – Erosive processes in river basins have been increasing due to anthropogenic action, causing degradation of soil and water. One way to understand these processes is through the sediment rating curve. The objective of this paper is to analyze the adequacy of sediment concentration measurements in the elaboration of the sediment rating curve for the Peixe river basin. Using 12 years of flow data, sediment concentration in suspension and solid discharge in suspension (2005 to 2016), five analyzes were carried out to elaborate a sediment rating curve. The first four generated rating curves for a data period (2005 to 2016) and the fifth analysis generated rating curves for two data periods (2005 to 2011 and 2011 to 2016). The results demonstrate that the potential equation is the appropriate form for the rating curves of sediments, even using the pairs of sediment concentration values and flow and solid discharge and flow. It is concluded that for this data series it is appropriate to elaborate a sediment rating curve using suspended sediment concentration and flow when considering two data periods.

Keywords – sediments rating curve, sediment concentration in suspension, river peixe.

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/ UFSC. vanhidrologia5@gmail.com.

²Prof^oDr^a do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/ UFSC: nadia.bonuma@ufsc.br.

³Prof^oDr^o do Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental/ UFSC: cesar.pompeo@ufsc.br.

* Autor Correspondente.

INTRODUÇÃO

Os processos erosivos em uma bacia hidrográfica são naturais, porém com a intensificação do uso do solo nas áreas rural e urbana estão se acelerando, provocando a degradação do solo e dos recursos hídricos (Almeida Filho, 2008). Estudos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas, aliados ao monitoramento ambiental contínuo dos rios, permitem verificar alterações da qualidade e quantidade de água disponível na bacia. Uma das formas de compreender os processos hidrossedimentológicos é com a utilização da curva-chave de sedimentos.

A curva-chave de sedimentos é uma correlação que pode ser elaborada utilizando a concentração ou descarga sólida em função da vazão, segundo Carvalho (2008). Os estudos hidrossedimentológicos estão convencionados para utilizar curva-chave de sedimentos com o emprego da descarga sólida, pois, segundo Carvalho (2008), a dispersão dos valores medidos é menor frente à análise via concentração de sedimentos. A área de estudo escolhida é a bacia hidrográfica do rio do Peixe, localizada no estado de Santa Catarina e deságua no reservatório da UHE Itá. Este artigo analisa a adequação do uso de medições de concentração de sedimentos na elaboração da curva-chave de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio do Peixe.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia estudada está localizada na bacia hidrográfica do rio do Peixe, situada na região hidrográfica RH3 - Vale do Rio do Peixe, no Meio-Oeste catarinense. O rio do Peixe nasce no município de Calmon a uma altitude de 1.250m, sendo formada por 3.803 corpos d'água, entre rios e córregos, totalizando uma área de drenagem de 5.238 km². A bacia hidrográfica estudada corresponde a uma área de drenagem de 4.780 km², referente a estação hidrossedimentométrica Ouro, localizada nas coordenadas geográficas: latitude S 27°20'22" e longitude W 51°36'41". A figura 1 apresenta a localização e a delimitação da bacia hidrográfica estudada.

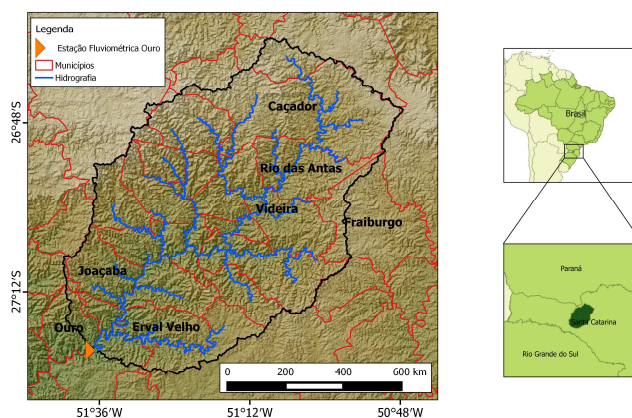


Figura 1 – Localização e delimitação da bacia hidrográfica do rio do Peixe

Monitoramento hidrossedimentológico

Na estação hidrossedimentométrica Ouro é realizado monitoramento de precipitação (horário), nível da água (horário) e campanhas de medição de vazão e coleta de sedimentos em suspensão. Na figura 2 é apresentado o comportamento dos dados anuais de precipitação total diária, vazão média diária e concentração de sedimentos em suspensão medida médio e máximo, na estação Ouro, no período de 2001 a 2016. Para o estudo hidrossedimentológico foram selecionados 12 anos de dados medidos e calculados (vazão, concentração de sedimentos em suspensão e descarga sólida em suspensão), referente ao período de 2005 a 2016.

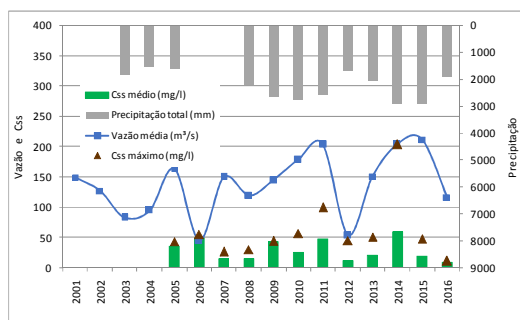


Figura 2 – Variação anual (2001 a 2016) da precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão na estação Ouro

Análises das curvas-chaves de sedimentos

No estudo foram realizadas cinco análises de elaboração de curva-chave de sedimentos. Em algumas análises a medição de 27/02/2014 foi excluída, pois na observação gráfica dos dados de concentração de sedimentos em suspensão e vazão e descarga sólida em suspensão e vazão é possível notar que a medição se afasta da tendência das demais, conforme figuras 3 e 4.

A primeira análise utilizou todas as medições de concentração de sedimentos em suspensão e a vazão. Foram aplicadas regressões, que resultaram baixos coeficientes de correlação, descartando esta análise na seqüência do estudo. A segunda análise utilizou as medições de concentração de sedimentos em suspensão e a vazão, com exceção da medição de 27/02/2014. Foram aplicadas regressões potencial e polinomial, que resultaram coeficientes de correlação de 0,242 e 0,520, respectivamente (figuras 5 e 6). A terceira análise utilizou todos os dados de descarga sólida em suspensão e a vazão. As regressões potencial e polinomial apresentaram coeficientes de correlação de 0,710 e 0,768, respectivamente (figuras 7 e 8). A quarta análise utilizou os dados de descarga sólida em suspensão e vazão, com exceção da medição de 27/02/2014. Foram aplicadas regressões potencial e polinomial, resultando coeficientes de correlação de 0,710 e 0,959, respectivamente (figuras 9 e 10).

A quinta análise foi realizada com os valores acumulados de descarga sólida em suspensão e vazão, excluindo a medição de 27/02/2014. No gráfico da figura 11 é possível observar duas tendências na série de dados, indicando dois períodos na relação *descarga sólida em suspensão e vazão*. Na análise dos dados medidos e dos registros diários de vazão e precipitação adotaram-se os seguintes períodos para a elaboração das curvas: 26/04/2005 a 31/08/2011 e 01/09/2011 a 31/12/2016. A seguir foram analisados os dados, com exceção da medição de 27/02/2014, de *descarga sólida em suspensão e vazão e concentração de sedimentos em suspensão e vazão*. Foi utilizada a regressão potencial, como indicado por Asselman (2000), nas duas séries de

pares de dados e seus respectivos intervalos de tempo. Para a relação *descarga sólida em suspensão e vazão* foram geradas duas curvas, para o período 26/04/2005 a 31/08/2011 e para o período 01/09/2011 a 31/12/2016, que apresentaram coeficientes de correlação de 0,795 e 0,765, respectivamente. E para a relação *concentração de sedimentos em suspensão e vazão* foram geradas duas curvas, uma para o período 26/04/2005 a 31/08/2011 e outra para o período 01/09/2011 a 31/12/2016, cujos valores de coeficientes de correlação foram 0,241 e 0,379, respectivamente. Nos gráficos das figuras 12 e 13 estão apresentadas as curvas referente a análise 5.

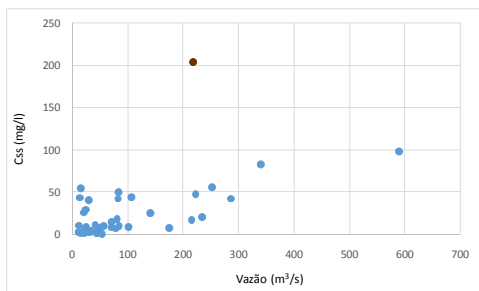


Figura 3 – Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e vazão

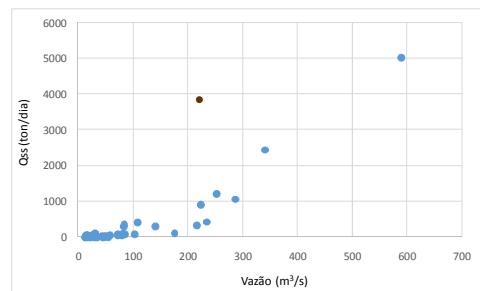


Figura 4 – Relação entre descarga sólida em suspensão e vazão

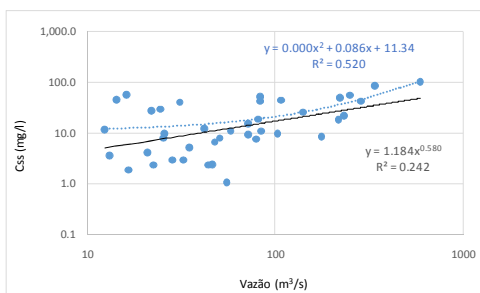


Figura 5 – Representação gráfica da C_{ss} x Vazão do intervalo de medições – Análise 2

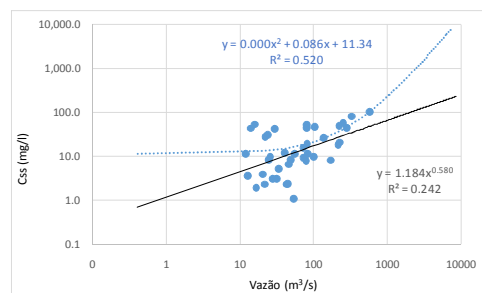


Figura 6 – Representação gráfica da C_{ss} x Vazão do intervalo dos registros diários de vazão – Análise 2

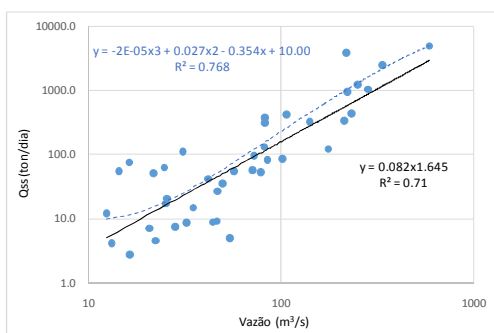


Figura 7 – Representação gráfica da Q_{ss} x Vazão do intervalo de medições – Análise 3

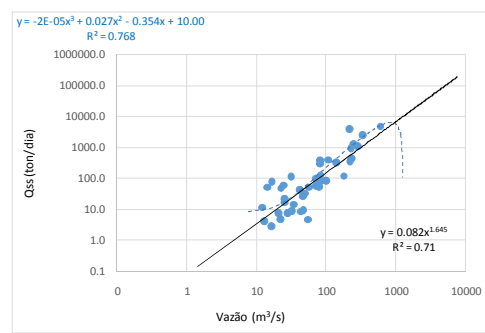


Figura 8 – Representação gráfica da Q_{ss} x Vazão do intervalo dos registros diários de vazão – Análise 3

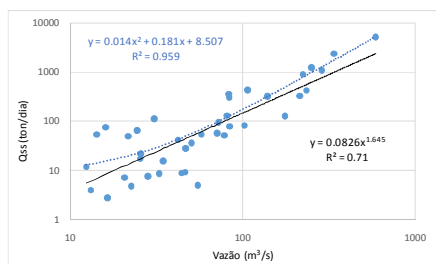


Figura 9 – Representação gráfica da Qss x Vazão do intervalo de medições – Análise 4

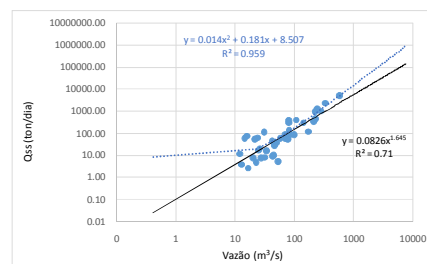


Figura 10 – Representação gráfica da Qss x Vazão do intervalo dos registros diários de vazão – Análise 4

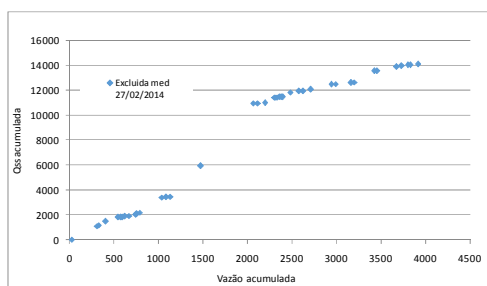


Figura 11 – Gráfico de dados acumulados correspondentes as medições de 2005 a 2016

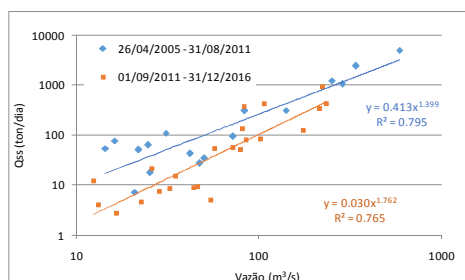


Figura 12 – Representação gráfica da Qss x Vazão – Análise 5

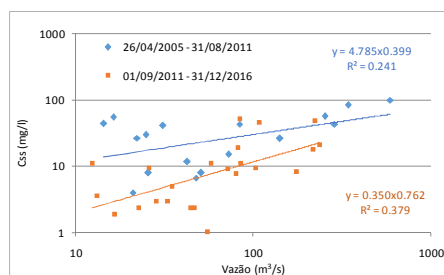


Figura 13 – Representação gráfica da Css x Vazão – Análise 5

A análise 2 resultou na “Equação A – potencial” para a relação “concentração de sedimentos em suspensão e vazão”: A equação A foi aplicada na série de vazão medida gerando a série de concentração de sedimentos em suspensão. Na etapa seguinte a série foi convertida em série de descarga sólida em suspensão, através da equação $Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss}$, onde: Q_{ss} – descarga sólida em suspensão, Q – vazão e C_{ss} - concentração de sedimentos em suspensão.

A análise 3 resultou na “Equação C – potencial” para a relação “descarga sólida em suspensão e vazão”: A equação C foi aplicada na série de vazão medida gerando a série de descarga sólida em suspensão.

A análise 4 resultou na “Equação E – potencial” para a relação “descarga sólida em suspensão e vazão”: A equação E foi aplicada na série de vazão medida gerando a série de descarga sólida em suspensão.

A análise 5 resultou nas equações G1 – potencial e G2 – potencial para a relação “descarga sólida em suspensão e vazão”: A equações G1 e G2 foram aplicadas na série de vazão medida gerando a série de descarga sólida em suspensão. E também resultou nas equações H1 – potencial e H2 – potencial para a relação “concentração de sedimentos em suspensão e vazão”: As equações H1

e H2 foram aplicadas na série de vazão medida gerando a série de concentração de sedimentos em suspensão. Na etapa seguinte esta série foi convertida em série de descarga sólida em suspensão, através da equação $Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss}$, onde: Q_{ss} – descarga sólida em suspensão, Q – vazão e C_{ss} - concentração de sedimentos em suspensão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada série descarga sólida em suspensão, geradas pelas equações A, C, E, G1 e G2 e H1 e H2, foram calculados os valores mínimo, médio e máximo (Tabela 1). A série de descarga sólida em suspensão gerada pela equação A subestima os valores médio e máximo de descarga sólida em suspensão medidos. As séries de descarga sólida em suspensão geradas pelas equações C e E apresentam valores de média e máximo semelhantes e também subestimam os valores médio e máximo de descarga sólida em suspensão medidos, porém são mais próximos dos valores medidos, quando comparados com os valores da equação A. As séries de descarga sólida em suspensão geradas pelas equações G e H apresentam valores de média e máximo semelhantes e também subestimam os valores médio e máximo de descarga sólida em suspensão medidos, e apresentam valores médio e máximo semelhantes ao valores das equações C e E.

Tabela 1. Resumo das análises para o intervalo de dados medidos

Parâmetros	Qss medido (ton/dia)	Qss medido estimado (ton/dia)						
		A	C	E	G1	G2	H1	H2
		$R^2 = 0.242$ $C_{ss}: y = 1.184x^{0.580}$	$R^2 = 0.71$ $Q_{ss}: y = 0.082x^{1.645}$	$R^2 = 0.71$ $Q_{ss}: y = 0.0826x^{1.645}$	$R^2 = 0.795$ $Q_{ss}: y = 0.413x^{1.399}$	$R^2 = 0.765$ $Q_{ss}: y = 0.030x^{1.762}$	$R^2 = 0.241$ $C_{ss}: y = 4.785x^{0.399}$	$R^2 = 0.379$ $C_{ss}: y = 0.350x^{0.762}$
Média	439.19	89.75	258.07	259.96	258.15		258.87	
Mínimo	2.73	2.47	5.17	5.21	2.54		2.56	
Máximo	5032.88	865.78	2961.47	2983.14	3105.04		3108.23	

Com a análise dos parâmetros de descarga sólida em suspensão apresentados na tabela 1 foi elaborado o gráfico da Figura 14. Foram escolhidas as séries estimadas pelas equações E e H para comparação gráfica, por apresentarem os maiores valores de descarga sólida em suspensão, médio e máximo. No gráfico da Figura 14 é possível observar que a série de descarga sólida em suspensão estimada pela equação H se aproxima mais dos maiores valores medidos de descarga sólida em suspensão. E na Figura 15 é apresentada a relação dos pares de valores da descarga sólida em suspensão e vazão medidos e as curvas-chaves A, E e H. As curvas-chaves das equações A e E apresentam sobreposição até a vazão de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ e após este valor as curvas se afastam. E a curva-chave da equação A passa a subestimar os valores de descarga sólida em suspensão, quando comparada com a curva-chave da equação E. As curvas-chaves das equações A e H foram elaboradas utilizando os pares de valores “concentração de sedimentos em suspensão e vazão”. A equação A apresenta coeficiente de correlação igual a 0,242 e a equação H, de 0,241 (H1) e 0,379 (H2). A curva-chave da equação E foi elaborada utilizando o par de valores “descarga sólida em suspensão e vazão”. A equação E apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,71. Os parâmetros, descarga sólida em suspensão média e máximo, da Tabela 1 e a representação gráfica dos valores estimados de descarga sólida em suspensão, na Figura 14, indicam que a curva-chave H é a que melhor estima os maiores valores de descarga sólida em suspensão medidos.

Na tabela 2 é apresentado resumo dos parâmetros da série diária de descarga sólida em suspensão estimada pelas equações A, E e H (H1 e H2). A equação A subestima os valores médio e máximo da série diária de descarga sólida em suspensão quando comparada com os valores das séries geradas pelas equações E e H. As séries geradas pelas equações E e H apresentam valores médio e máximo mais próximos quando comparados com os valores da série gerada pela equação A. As equações A e H foram elaboradas a partir dos pares de valores “concentração de sedimentos em suspensão e vazão”, com R^2 entre 0,241 e 0,379, resultando em descarga sólida em suspensão específica de 43,27 e 50,81 ton/km².ano, classificados como valores baixos. A equação E foi elaborada a partir dos pares de valores “descarga sólida em suspensão e vazão”, com coeficiente de correlação igual a 0,710, resultando em descarga sólida em suspensão específica de 54,43 ton/km².ano, classificado como valor baixo.

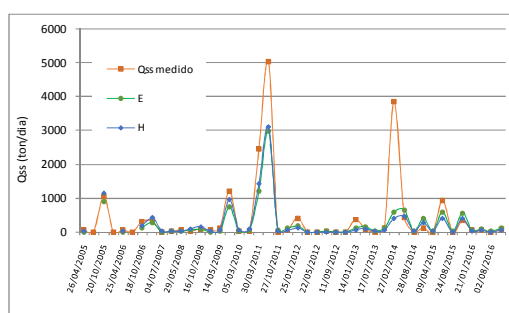


Figura 14 – Plotagem no tempo dos Qss medidos e estimados pelas equações E e H

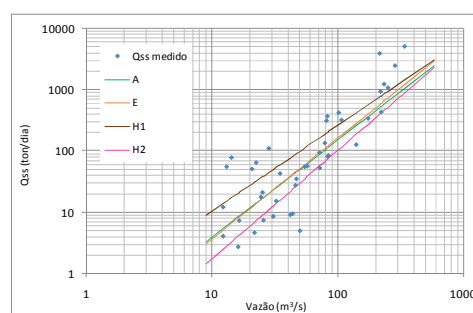


Figura 15 – Plotagem dos pares de valores de Qss x Vazão e as curvas-chaves A, E, H1 e H2

Tabela 2. Resumo dos parâmetros da série diária para as equações A, E e H

Parâmetros (Série diária: 2005 a 2016):	A	E	H1 e H2
		$R^2 = 0.242$	$R^2 = 0.71$
Qss mínimo (ton/dia)	0.19	0.16	0.12
Qss máximo (ton/dia)	102428.17	146013.24	148709.53
Qss médio (ton/dia)	566.68	712.77	665.39
Qss esp (ton/km ² .ano)	43.27	54.43	50.81
Classificação do Qss esp	baixo	baixo	baixo

No gráfico da figura 16 são apresentadas as séries de descarga sólida em suspensão média anual, estimadas pelas equações A, E e H. É possível observar no gráfico que a série estimada pela equação A subestima os valores quando comparado com os valores das séries estimadas pelas equações E e H. As séries estimadas pelas equações E e H apresentam valores semelhantes, porém os valores da série estimada pela equação E são superiores aos valores da equação H a partir da valor de 700 ton/dia.

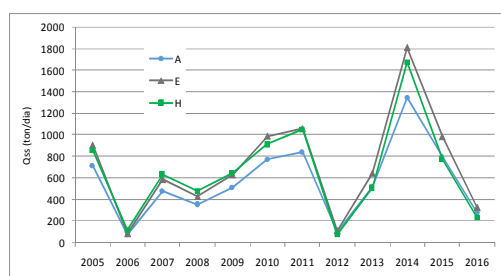


Figura 16 – Séries de descarga sólida em suspensão média anual estimadas pelas equações A, E e H

CONCLUSÕES

As análises visuais demonstram que a equação sob forma de potência apresenta a regressão mais adequada para a elaboração da curva-chave de sedimentos em suspensão, mesmo utilizando os pares de valores *concentração de sedimentos em suspensão* e *vazão* e *descarga sólida em suspensão* e *vazão*.

Na elaboração da curva-chave de sedimentos para um período de tempo (2005 a 2016) é indicado utilizar o par de valores *descarga sólida em suspensão* e *vazão*, não sendo relevante o resultado com a exclusão da medição de 27/02/2014.

Na elaboração da curva-chave de sedimentos para dois períodos de tempo (2005 a 2011 e 2011 a 2016) mostra-se adequado utilizar os pares de valores de *descarga sólida em suspensão* e *vazão* e *concentração de sedimentos em suspensão* e *vazão*.

Na aplicação das curvas-chaves das equações A, E e H na série diária de descarga sólida de sedimentos em suspensão verifica-se que a descarga sólida em suspensão específica são 43,27, 54,43 e 50,81 ton/km².ano, respectivamente, todas classificadas com baixa produção de sedimentos em suspensão.

Conclui-se que para esta série de dados é adequado elaborar curva-chave de sedimentos utilizando o par de valores *concentração de sedimentos em suspensão* e *vazão*, quando considerado dois períodos de tempo.

AGRADECIMENTOS

À Engie pela disponibilização dos dados e à mestra Ana Clara Lazzari Franco pela elaboração da figura de localização da bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

ASSELMAN, N. E. M. (2000). *Fitting and interpretation of sediment rating curves*. *Journal of Hydrology*, v. 234, n. 3, p. 228-248.

ALMEIDA FILHO, G. S. (2008). *Processos Erosivos Urbanos*. In *Ambiente e Sedimentos*. Org. por Poletto, C., ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, p. 39 – 63.

CARVALHO, N.O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. Ed. INTERCIÊNCIA, Rio de Janeiro, 599 p.

CARVALHO, N. O.; HORA, M. A. G. M. (2014). *Hidrossedimentologia*. In *Sedimentologia Fluvial: Estudos e Técnicas*. Volume 1. Org. por Poletto, C., ABRH, Porto Alegre – RS, p. 9 – 61.

VEIGA, A. M., SOARES, A. K., COELHO FILHO, J. A. P., SOUZA, D. N., & OLIVEIRA, W. N. D. (2015). Determinação da produção de sedimento através da curva-chave sedimentométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia-GO. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, Nov. 2015.