

APLICABILIDADE DE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS: ANÁLISE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

VIVIANE RODRIGUES DORNELES¹; MAÍRA MARTINS MOURA²; MARIA CÂNDIDA MOITINHO NUNES³; SAMUEL BESKOW⁴.

¹Universidade Federal de Pelotas – vivianerdorneles@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – mairamoura@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas - nunes.candida@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – samuelbeskow@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos está estreitamente associado ao uso e manejo do solo e é monitorado para o conhecimento da sua dinâmica numa bacia hidrográfica, uma vez que afeta a qualidade da água e diminui a capacidade de reservatórios, abreviando seu tempo de desempenho (GHAFARI et al., 2017).

No Brasil, existe uma rede de postos fluviométricos administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA), dos quais alguns, ainda poucos para o adequado conhecimento dos processos hidrossedimentológicos de algumas regiões, possuem informações que permitem calcular a descarga sólida em suspensão.

Considerando a necessidade de quantificar o transporte de sedimentos em diferentes bacias hidrográficas, de maneira mais acessível, ferramentas alternativas, tal como modelos empíricos de curva-chave de sedimentos, têm sido aplicados para representar adequadamente a relação entre a vazão e concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}). Em outras palavras, a curva-chave de sedimentos é utilizada devido à ausência de monitoramento do transporte de sedimentos de forma contínua, especialmente os em suspensão (SADEGHI et al., 2008).

Desta forma, projetistas e hidrólogos utilizam-na com frequência para converter hidrogramas em séries de descarga sólida. Porém, apesar de seu uso geral, vários problemas são reconhecidos em relação à precisão da curva ajustada, bem como o significado físico de seus coeficientes (ASSELMAN, 2000; SADEGHI et al., 2008), contudo, ainda existe uma carência de estudos que avaliem a representatividade de tais curvas.

Em vista disso, o objetivo do trabalho é avaliar a viabilidade de utilização de curvas-chave de sedimentos com base na análise de séries históricas disponibilizadas para o Estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Realizou-se um levantamento dos dados das estações sedimentométricas dirigidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), considerando o Estado do Rio Grande do Sul (RS), com auxílio do Inventário das Estações Fluviométricas (ANA, 2009).

Junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), fornecido pela ANA (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>), identificou-se e eliminou-se as estações sedimentométricas que, apesar de estarem cadastradas no sistema, não continham registros de dados de C_{ss} . Esses dados são oriundos de campanhas hidrológicas de medição de vazão x amostragem de sedimentos em suspensão (ANA, 2009).

Após, as estações com disponibilidade de dados foram selecionadas e os dados organizados a fim de verificar a periodicidade, quantificar as estações que permanecem em funcionamento e as que encerraram as medições/amostragens e obter os coeficientes da curva-chave de sedimentos.

A curva-chave de sedimentos em suspensão, para cada estação de monitoramento, foi ajustada analiticamente à uma função de potência (Equação 1), conforme recomendado por ASSELMAN (2000) e ZHANG et al. (2012).

$$C_{ss} = a Q^b \quad (1)$$

Sendo C_{ss} a concentração de sedimentos em suspensão ($mg.L^{-1}$); Q a vazão ($m^3.s^{-1}$); a e b coeficientes de ajuste que foram estimados de acordo com o método dos mínimos quadrados.

Na sequência, foi empregada a estatística erro relativo percentual médio (ERP) a fim de avaliar o desempenho de cada curva-chave analisada. O ERP foi estabelecido para confrontar os valores de C_{ss} estimados pela curva-chave com aqueles observados nas campanhas hidrológicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificou-se que, no total, 87 estações sedimentométricas estavam registradas no portal Hidroweb/ANA, quando do desenvolvimento deste trabalho, para o Rio Grande do Sul (RS). Porém, verificou-se que destas, 63 efetivamente apresentam dados disponíveis para análise.

A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2008) recomenda uma densidade mínima de 1 estação sedimentométrica a cada $12.500km^2$, julgando-se para o Rio Grande do Sul uma média para regiões costeiras, montanhosas, interior plana e ondulada. Considerando o levantamento feito, para o estado do RS, o número de estações disponibilizadas pela ANA está em conformidade com a densidade mínima sugerida. Contudo, isso não significa que este valor seja suficiente para projetos de engenharia e gestão de recursos hídricos na região.

A maioria das estações com dados disponíveis estão em devido funcionamento (42), ou seja, com registros de dados atuais, o que é interessante do ponto de vista da continuidade na atualização das curvas-chave. As demais estações (21) encerraram as campanhas hidrológicas ou apresentam como último registro uma data antiga.

Das 63 estações, 48% possuem série de dados que cobrem um período entre 30 a 40 anos. Dessas, apenas duas não estão mais em funcionamento, as demais seguem com o monitoramento contínuo. Esta situação é de extrema importância em função de que, quanto maior a extensão da série de dados, presumivelmente, maior seja a abrangência das vazões (períodos secos e de chuva), aumentando a confiabilidade das curvas-chave (ZHANG et al., 2012).

Para os resultados das curvas-chave de sedimentos, foi possível estimar os valores dos coeficientes a e b em 59 das estações analisadas (Tabela 1). As demais (85620000 - Pulqueria, 85625000 - São Sepé, 87035000 - São Jerônimo Jusante e 88220000 - Picada da Areia) não foi obtida a curva-chave, pois estas apresentam poucas medições disponíveis (em torno de quatro medições).

Tabela 1 – Coeficientes a e b da curva-chave estimados para estações analisadas e o Erro Relativo Percentual médio (ERP) correspondente

Código	a	b	ERP (%)	Código	a	b	ERP (%)
70200000	0,40	0,73	146,2	76380000	60,86	0,10	72,6
70700000	4,94	0,096	154,2	77150000	31,09	-0,019	41,3
72300000	13,24	-0,047	121,2	76440000	6,29	0,51	658,5
72430000	1,39	0,73	95,6	76560000	7,48	0,26	108,7
72630000	3,16	0,54	196,3	76750000	9,88	0,28	138,1
73010000	0,63	0,47	128,4	77500000	6,64	0,30	80,8

Código	a	b	ERP (%)	Código	a	b	ERP (%)
73480000	4,89	0,18	96,1	79400000	44,64	0,16	205,6
74100000	0,009	1,008	133,9	85400000	16,91	0,01	181,8
74270000	15,80	0,26	323,9	85580000	102,58	-0,13	35,0
74370000	28,76	0,069	459,5	85600000	19,11	0,16	74,2
74470000	15,70	0,30	805,2	85623000	11,49	0,62	375,4
74600000	0,00046	2,60	77,6	85730000	52,39	-0,209	43,32
74610000	0,38	1,09	49,9	85735000	0,04	1,73	171,0
74700000	6,42	0,43	122,2	85740000	10,10	0,02	140,2
74750000	2,69	1,01	84,0	85900000	2,12	0,38	73,5
74800000	0,0083	0,99	60,2	86100000	1,00	0,46	170,1
74900000	4,02	0,70	117,5	86410000	12,11	0,09	580,3
75155000	1,003	0,97	115,2	86470000	6,73	0,086	71,5
75185000	4,14	1,01	285,0	86500000	3,51	0,53	124,8
75186000	10,57	0,54	133,7	86510000	6,45	0,24	197,5
75205000	8,62	0,44	157,7	86560000	2,39	0,69	174,2
75295000	2,59	0,58	157,6	87270000	1,16	0,91	295,4
75320000	17,65	0,16	151,0	87380000	4,56	0,38	92,9
75450000	3,81	0,46	217,9	87590000	0,37	0,81	150,7
75500000	9,63	0,14	110,3	87905000	7,92	0,36	131,9
75700000	5,11	0,37	132,9	88176000	29,04	0,25	122,5
76100000	0,53	0,83	73,5	88177000	15,02	0,37	55,4
76120000	53,09	-0,097	44,35	88181000	29,87	0,12	155,0
76310000	27,05	0,13	225,4	88680000	141,89	-0,22	41,53
76800000	12,52	0,14	91,1				

Observa-se na Tabela 1 que os resultados encontrados de ERP variaram de 35,0 a 805,2%, em que, 39 estações apresentaram um ERP acima de 100%, quatro estações (72430000, 73480000, 76800000 e 87380000) apresentaram um ERP em torno de 90%, duas (74750000 e 77500000) a 80% e seis (74600000, 76100000, 76380000, 85600000, 85900000 e 86470000) a 70%.

As estações que apresentaram menor ERP foram a estação Porto Lucena (74800000) com 60%, Sanga Funda Montante (88177000) com 55,4%, Cascata Burica Nova (74610000) com 49,9%, Ponte Toropi (76120000) com 44,35%, Passo Linha do Rio (85730000) com 43,32%, Passo do Ricardo (88680000) com 41,53%, Uruguaiana (77150000) com 41,3% e Passo do Verde (85580000) 35%.

Ao aplicar dezessete modelos para obtenção da curva-chave de sedimentos para uma bacia no Japão, SADEGHI et al. (2008) apresentaram valores de ERP similares (19,19 – 430,7%) aos encontrados nesse trabalho. Os autores reconheceram, juntamente a outros critérios estatísticos de eficiência, que a função de potência foi o melhor modelo para descrever essa relação para a bacia, com desempenho global de ERP de 152,45%.

Ao analisar os dados, em várias das estações, verificou-se que o mesmo valor de vazão medido, em diferentes datas, por exemplo, apresentou valores muito discrepantes de C_{ss} , não apresentando boa coerência. Esta característica tem impacto no valor do ERP obtido entre os valores observados de C_{ss} e aqueles estimados pela curva-chave (ASSELMAN, 2000).

Neste aspecto, algumas justificativas podem ser empregadas a fim de fundamentar essa desigualdade nos valores medidos. As curvas-chave podem não

apresentar bom ajuste em função da não utilização da mesma seção de monitoramento no curso d'água, da mudança de equipamentos e técnicos para as medições e das mudanças nas vazões em períodos distintos de monitoramento (CARVALHO, 2008). No caso desta última, sugere-se separar as vazões desses períodos, ou dividi-las em trechos (períodos de anos, períodos secos e úmidos, trimestres, meses ou estações do ano) e a partir disso curvas-chave podem ser traçadas isoladamente (ZHANG et al., 2012).

SADEGHI et al. (2008) afirmam ainda que onde curvas-chave de sedimentos não se caracterizam adequadamente, a interação de fatores espaciais e temporais é um dos principais problemas enfrentados. Ainda segundo os autores, propriedades hidráulicas do curso, oscilações no uso do solo ou seu efeito nos processos de erosão, distribuição temporal da intensidade da chuva e fatores pedológicos são importantes e devem melhorar a previsão desses modelos, mas mascaram a simplicidade da aplicação da curva-chave de sedimentos.

4. CONCLUSÕES

Para o Estado do Rio Grande do Sul, grande parte das estações sedimentométricas monitoradas pela ANA apresentam séries de dados atuais, com últimos registros para o ano de 2017 e 2018, e séries de dados extensas, chegando a até 40 anos de extensão. As curvas-chave de sedimentos, para algumas das estações, apresentaram valores de ERP superiores a 100%. Contudo, para a maioria, a metodologia da curva-chave de sedimentos mostrou-se um modelo viável para estimativa da C_{SS} , uma vez que, os valores de ERP encontrados foram próximos aos considerados em outros estudos científicos. Porém, sugere-se, para trabalhos futuros, a consideração de diferentes modelos para representar a curva-chave de sedimentos, e da mesma forma, a análise de metodologias de divisão das séries em períodos, para traçado das curvas. Também, propõem-se a aplicação de outros testes estatísticos de eficiência, a fim de melhor avaliar a correlação dos dados observados de C_{SS} e aqueles obtidos pela curva-chave.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. **Inventário das Estações Fluviométricas: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica**. (2009). Ministério do Meio Ambiente. 2ª Edição. Brasília – DF.
- ASSELMAN, N. E. M. Fitting and interpretation of sediment rating curves. **Journal of Hydrology**, v.234, p.228-248, 2000.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência, 2008.
- GHAFAARI, H.; GORJI, M.; ARABKHEDRI, M.; ROSHANI, G. A.; HEIDARI, A.; AKHAVAN, S. Identification and prioritization of critical erosion areas based on onsite and offsite effects. **Catena**, v.156, p.1-9, 2017.
- SADEGHI, S. H. R.; MIZUYAMA, T.; MIYATA, S.; GOMI, T.; KOSUGI, K.; FUKUSHIMA, T.; ONDA, Y. Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. **Geoderma**, v.144, n.1, p. 198-211, 2008.
- ZHANG, W.; WEI, X.; JINHAI, Z.; YULIANG, Z.; ZHANG, Y. Estimating suspended sediment loads in the Pearl River Delta region using sediment rating curves. **Continental Shelf Research**, v.38, p.35-46, 2012.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Methods of observation. In: Guide to Hydrological Practices: hydrology from measurement to hydrological information. 6. ed. Geneva, Switzerland, 2008. v. 1, cap. 2, p. 24-27. (WMO - n. 168).