



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

EFEITO HISTERESE ENTRE VAZÃO E CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA NO PLANALTO RIOGRANDENSE

Anaí Sangiovo Ottonelli⁽¹⁾; Jean Paolo Gomes Minella⁽²⁾; José Miguel Reichert⁽²⁾; Cláudia Alessandra Peixoto de Barros⁽³⁾;

⁽¹⁾ Estudante de Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, Santa Maria, CEP: 97105-900; anayottonelli@gmail.com; ⁽²⁾ Professor; Departamento de Solos; Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, Santa Maria, CEP: 97105-900; ⁽³⁾ Mestranda em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, Santa Maria, CEP: 97105-900.

Resumo – O presente trabalho aborda uma análise da dinâmica hidrossedimentológica em uma pequena bacia rural, por meio da variabilidade da vazão (Q) e da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) ao longo do tempo, bem como a relação entre elas (histerese). O padrão complexo do hidrograma e do sedimentograma causado pela histerese tem sido um desafio para a modelagem hidrossedimentológica na escala de bacia, sendo que o entendimento dos fatores controladores poderá contribuir para a aplicação coerente dos modelos matemáticos. O objetivo desse trabalho é analisar o efeito histerese numa pequena bacia hidrográfica rural, por meio da identificação do sentido do laço, determinação do índice de histerese e dos seus possíveis fatores de controle. O estudo foi realizado numa bacia experimental, na região centro-norte do RS, com área de drenagem de 1,19 Km². A bacia experimental é equipada com uma estação de monitoramento automática de descarga sólida, descarga líquida e precipitação. Os comportamentos da Q e da CSS foram analisados a partir do sentido e formato do laço de histerese, e do índice de histerese (IH). Foram analisados 10 eventos hidrológicos no ano de 2010 com diferentes magnitudes. Através deste estudo pode-se verificar que não houve relação da intensidade pluviométrica com o IH, devido, provavelmente, aos poucos eventos analisados, e pela fonte principal de sedimentos ter sido representada pelos sedimentos que se encontraram próximos da calha fluvial. Outros fatores de controle, como os relacionados com as características fisiográficas da bacia, podem estar influenciando no efeito da histerese.

Palavras-Chave: hidrograma, sedimentograma, uso e manejo do solo, precipitação.

INTRODUÇÃO

O entendimento da dinâmica dos processos erosivos e da produção de sedimentos é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos e estabelecimento de práticas de manejo e conservação dos solos. Estudos desses processos em bacias hidrográficas têm contribuído para a gestão dos recursos naturais, pois integra os diferentes ambientes da paisagem, e por isso é mais representativo da complexidade natural dos processos.

Entretanto, a incorporação da maior complexidade gera também desafios para o entendimento e descrição dos processos hidrossedimentológicos.

O uso de modelos matemáticos contribui significativamente tanto para o estudo dos processos como para a gestão dos solos e da água. Porém, os modelos precisam ser calibrados e validados com dados medidos a campo. Modelos mais complexos como o WEPP (Water Erosin Prediction Project) e LISEM (Limburg Soil Model Erosion) são difíceis de serem validados, primeiro em função da complexidade do processo e, segundo pela insuficiente quantidade de dados disponíveis.

Uma das dificuldades encontradas na modelagem é a reprodução da relação entre a vazão (Q) e da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) que contribui para explicar a dinâmica dos processos na bacia hidrográfica. Essa relação é complexa, pois os picos de Q e CSS não são coincidentes, tampouco as taxas de ascensão e decréscimo, ou seja, o aparecimento de um atraso na evolução de um fenômeno físico em relação a outro, o qual é denominado de histerese (Klar, 1984). Segundo Williams (1989) o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica pode ser analisado a partir do sentido e formato do laço de histerese que sofre influência direta das características do hidrograma e sedimentograma.

O fenômeno da histerese poderá ser influenciado pelas características geomorfológicas da bacia hidrográfica, variabilidade temporal e espacial das fontes de sedimento, intensidade e quantidade da chuva, bem como pelos diferentes usos e manejo do solo. Desta forma o avanço dos trabalhos de monitoramento e modelagem para o entendimento do fenômeno histerese contribuirá para a compreensão do comportamento hidrossedimentológico em bacias hidrográficas.

O objetivo desse trabalho foi analisar o efeito histerese numa pequena bacia hidrográfica rural, por meio da identificação do sentido do laço, determinação do índice de histerese e dos seus possíveis fatores de controle.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica experimental do Arroio Lajeado Ferreira, localizada no

município de Arvorezinha, região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul. A bacia possui uma rede de drenagem de 1,19 Km². A precipitação é bem distribuída durante ao longo do ano, sendo que a média anual varia de 1250 a 2000 mm. O relevo da bacia é caracterizado como ondulado na porção superior e fortemente ondulado na porção intermediária. A bacia é representativa do sistema produtivo do tabaco no sul do país, com intenso processo erosivo (Merten & Minella, 2005). Por isso o uso e manejo do solo são fatores determinantes da variabilidade da produção de sedimentos.

O monitoramento hidrossedimentométrico teve como base dados pluviométricos, fluviométricos e sedimentológicos obtidos por meio de sensores automáticos instalados no exutório da bacia hidrográfica. A estação de monitoramento é composta por calha *Parshall*, linígrafo de pressão, turbidímetro, pluviômetros e pluviógrafo.

Por meio do monitoramento hidrossedimentométrico, foram separados 10 eventos ao longo do ano de 2010. Estes eventos contemplaram diferentes épocas do ano, volumes precipitados e uso do solo, os quais podem interferir no comportamento hidrossedimentológico da bacia, por serem alguns dos fatores controladores.

A relação entre Q e CSS foi graficada para a avaliação da ocorrência do efeito histerese (picos de vazão e produção de sedimentos não coincidentes no tempo) durante os eventos hidrológicos. Os padrões de laço de histerese (horário, anti-horário e formato de oito são os mais frequentes) e as características da declividade dos ramos crescentes e decrescentes do hidrograma e sedimentograma foram avaliados por meios dos gráficos.

A análise do sentido e laço da histerese foi realizada segundo metodologia de Lawler et al. (2006), com a identificação da CSS ramo crescente (CSS RC) e CSS ramo decrescente (CSS RD). Quando a CSS RC é maior que a CSS RD, o laço da curva da histerese é no sentido horário, e ocorre quando a fonte de sedimento se encontra depositados próximo a calha fluvial. Quando o laço apresenta sentido anti-horário, CSS RC é menor que a CSS RD e, desse modo, ocorre um pico de CSS depois do pico da vazão. A curva anti-horária é analisada como a chegada de sedimentos de fontes mais distantes. Quando a curva apresenta tanto o comportamento horário como o anti-horário tem-se um laço com formato em oito. Conforme Williams (1989) isso ocorre quando a CSS e a Q começam a aumentar aproximadamente juntas.

O índice de histerese (IH) foi obtido pela análise dos hidrogramas (Q *versus* tempo), sedimentogramas (CSS *versus* tempo) e pela construção do gráfico Q *versus* CSS. A histerese foi quantificada por meio da vazão máxima (Q_{máx}) e mínima (Q_{mín}) do evento e o valor central (Q_{cent.}) entre a vazão máxima e a mínima do ramo ascendente, conforme equação 1:

$$Q_{cent} = 0,5(Q_{máx} - Q_{mín}) + Q_{mín} \quad (1)$$

Os valores dos ramos CSS crescentes e decrescentes foram obtidos por interpolação entre os pontos conhecidos do gráfico Q *versus* CSS. O sentido do laço

determinou qual a fórmula do cálculo do IH foi utilizada. Desta forma, se a curva apresentou sentido horário do laço, o IH foi positivo e foi determinado pela equação 2:

$$IH = (CSS RC / CSS RD) - 1 \quad (2)$$

Se a curva apresentou sentido anti-horário do laço, o IH foi negativo e foi determinado pela equação 3:

$$IH = (-1 / (CSS RC / CSS RD)) + 1 \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns parâmetros que caracterizam as condições hidrológicas e sedimentológicas dos eventos monitorados são apresentados na Tabela 1. O formato do laço predominante foi no sentido horário (em 7 dos 10 eventos selecionados). Segundo Seeger et al. (2004) este tipo de curva ocorre quando os sedimentos são mobilizados, transportados e depositados rapidamente. Isso sugere que a fonte principal de sedimento esteve localizada perto da calha fluvial. Contudo, 3 eventos apresentaram formato de oito, que representa uma menor capacidade de transporte de sedimento que ocorreu na fase de recessão do sedimentograma. O evento com laço em formato de oito é representando pelo evento do dia 23/2/2010, enquanto que o evento do dia 02/9/2010 representa o laço horário (Figura 1). Os principais fatores controladores do sentido do laço da histerese estão relacionados, possivelmente, com as características geomorfológicas da bacia, como a alta declividade, proximidades das fontes de sedimentos com a rede de drenagem e o uso e manejo do solo.

Os valores calculados do IH tiveram grande variabilidade, ou seja, variaram de 0,1 a 12,2 (Tabela 1). Espera-se que o valor de IH para eventos com maior volume e/ou intensidade de chuva seja menor, pois os eventos com maior pluviosidade fornecem quantidade maior sedimentos. Verifica-se, também, que o IH tende a reduzir durante uma sequência de eventos, devido ao aumento do conteúdo de água no solo, determinando que novas fontes de sedimentos sejam incorporadas por toda a bacia.

Os eventos 3, 4, 5 e 6 ocorreram nos meses de fevereiro até junho, quando o solo encontrava-se em pousio-plantio de aveia. Nesses períodos ocorreram chuvas de grandes intensidades, porém o IH não apresentou a relação esperada, isto é, o IH deveria ter sido menor. No entanto, o evento 4 apresentou uma relação coerente, ou seja, o mês que apresentou maior intensidade de chuva apresentou, também, um dos menores índices de histerese (IH=0,229).

Nos eventos 7, 8 e 9, que aconteceram nos meses de julho, agosto e setembro, respectivamente, o solo encontrava-se na fase de preparo para o plantio do fumo. Nesses casos, ocorreram chuvas de baixa intensidade e baixos valores do IH, não coerente com a relação esperada. Uma vez, que no período do evento 9 ocorram chuvas com maior erosividade, o que potencializa o processo erosivo tornando o IH possivelmente maior para esse período. Os eventos 1 e 10 aconteceram em janeiro e novembro, respectivamente, quando a cultura do fumo estava em pleno desenvolvimento. Os índices para esses

dois eventos foram considerados médios para esse conjunto de dados, possivelmente devido à cobertura do solo pelo fumo. O evento 2 ocorreu no mês de fevereiro, no período de colheita do fumo, com intensidade de chuva de 12,4 mm/h e IH baixo, devido provavelmente a umidade antecedente do solo.

Mesmo que parte ou a maioria dos fatores de controle sobre a histerese seja conhecida, muitas vezes, os resultados não são os esperados. Segundo Williams (1989) a relação Q e CSS é complexa, pois são vários os fatores que podem interferir, como o tempo, intensidade e distribuição da chuva, forma do hidrograma, diferentes tipos de uso do solo que podem facilitar ou dificultar a ocorrência dos processos erosivos, declividade da bacia hidrográfica, temperatura antecedente, condições de umidade e descarga que influem na quantidade de sedimento a ser fornecida por erosão das vertentes e do canal, pelas distâncias percorridas pelos sedimentos, pelo armazenamento/mobilização dos sedimentos disponíveis e pela taxa de sedimentação.

Assim, neste estudo, não foi observada relação clara do IH com a precipitação, possivelmente por terem sido poucos os eventos analisados. A avaliação de um número maior de eventos poderá melhorar essas relações importantes nos estudos em bacias hidrográficas.

O conhecimento das variáveis condicionantes da histerese é um importante instrumento para a utilização de modelos matemáticos de produção de sedimentos, principalmente aqueles de escala de eventos, pois uma das principais dificuldades está na discretização temporal do sedimentograma em conjunto com o hidrograma. Para isso é necessário que estudos continuem sendo conduzidos nessa área, a fim de investigar melhor o comportamento da histerese frente aos seus fatores de controle. Sem considerar o comportamento da histerese os modelos, muitas vezes, não são capazes de representar a defasagem entre Q versus CSS (histerese), gerando uma superestimativa na produção de sedimentos.

CONCLUSÕES

1. O predomínio do laço de histerese no sentido horário indicou que a fonte principal de sedimentos foi representada pelos sedimentos que se encontram na calha fluvial.

2. A avaliação de dez eventos não apresentou relação da intensidade pluviométrica com o índice de histerese.

3. Mais fatores, como os relacionados com as características fisiográficas da bacia, devem ser considerados para a avaliação da histerese.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do hidrotécnico Ademir Giongo pelas atividades de campo e da FAPERGS, CNPq e Sinditabaco pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- LAWLER, D.M., PETTS, G.E., FOSTER, I.D.L. & HARPER, S. Turbidity dynamics and hysteresis patterns during spring storm events in an urban headwater system: the Upper Tame, West Midlands, UK, *Science of the Total Environment*, 360: 109-126, 2006.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P.G. Impact on sediment yield due to intensification of tobacco production in a catchment in southern Brazil. In: WALLING, D.E.; HOROWITZ, A.J. (Ed.). *Sediment budgets*, 292:119-126, 2005.
- MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., REICHERT, J. M., SANTOS, D. R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1637-1646, 2007.
- KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1984.488p.
- SEEGER, M. et al. Catchment soil moisture and rainfall characteristic as determinant factor for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrenees. *Journal of Hydrology*, 288, p. 299 – 311, 2004.
- WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology*. Amsterdam, 111: 89–106, 1989.

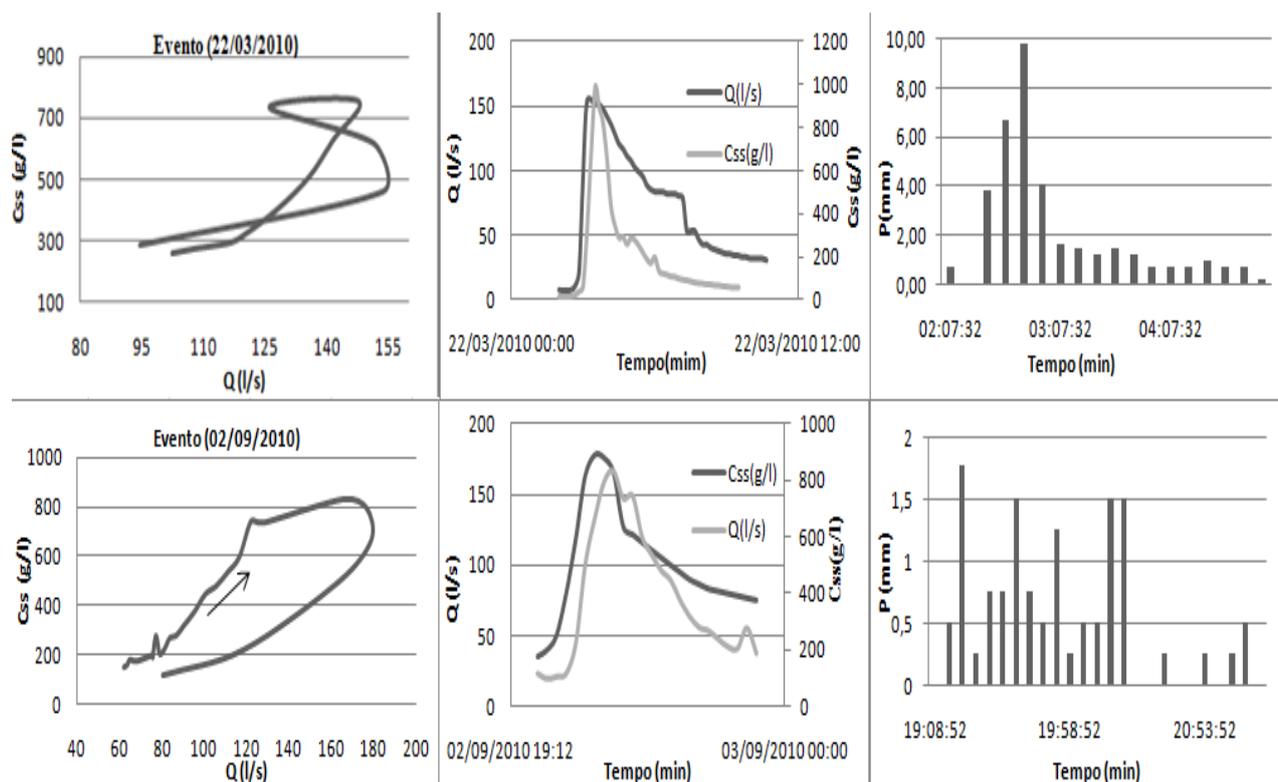


Figura 1. Laços de histerese, hidrogramaa, sedimentograma e hietograma para dois diferentes eventos ocorridos na bacia experimental de Arvorezinha.

Tabela 1. Variáveis hidrossedimentológicas e da histerese para eventos monitorados na bacia de Arvorezinha.

Evento	Data	Duração	P1	P2	IM 30	Q _{máx}	CSS RC	CSS RD	IH	Histerese
1	16/01/10	10:30	24,8	0,0	18,5	239	1060	359	1,952	H
2	16/02/10	11:30	16,2	34,3	12,4	142	275	195	0,408	H
3	21/02/10	10	25,8	0,2	29,6	95	395	64	5,167	H
4	22/03/10	10:30	36,7	0,2	41,0	154	275	224	0,229	8
5	21/04/10	5:40	43,4	25,7	28,0	134	2238	426	4,255	8
6	16/06/10	6:20	33,4	0,0	23,3	231	2571	193	12,29	H
7	21/07/10	26	44,6	0,0	6,1	897	1790	857	1,087	H
8	13/08/10	7:40	3,8	15,4	6,6	100	432	392	0,101	8
9	02/09/10	10:30	41,7	10,0	7,1	179	830	513	0,618	H
10	22/11/10	20:40	62,9	35,5	7,4	1336	1281	267	3,796	H

Duração é quantas horas que durou o evento; P1 é a precipitação no dia do evento (mm); P2 é a precipitação no dia anterior ao evento (mm); IM 30 é a intensidade máxima em 30 minutos; Q_{máx} é a vazão máxima do evento (L/s); CSS RC é a concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente; CSS RD é a concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente; IH é o índice de histerese; 8 e H são, respectivamente, os formato de oito horário da histerese;.