

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

POTENCIAL DO MODELO HIDROLÓGICO LISEM PARA REPRESENTAÇÃO DE HIDROGRAMAS DE CHEIAS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SUL DO BRASIL

Marcelle Martins Vargas¹; Samuel Beskow²; Carlos Rogério de Mello³; Maria Cândida Moitinho Nunes⁴; Lessandro Coll Faria⁵

RESUMO – Modelos hidrológicos conceituais e fisicamente baseados são de grande importância para a gestão de cheias em bacias hidrográficas e permitem compreender os componentes do ciclo hidrológico, desta forma dando suporte a tomadas de decisões. O Limburg Soil Erosion Model (LISEM) faz uso de parâmetros físicos relacionados a classes de solo e de uso do solo e fornece opções para a modelagem de eventos chuva-vazão. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do LISEM para representação de hidrogramas de cheias na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), localizada no sul do Brasil. A análise de sensibilidade dos parâmetros condutividade hidráulica do solo saturada (K_{sat}), umidade inicial (Θ_i) e coeficiente de rugosidade de superfície de Manning ($Manning_c$), mostrou-se importante para calibrar o LISEM com base em 10 eventos chuva-vazão. Os valores de K_{sat} , Θ_i e o $Manning_c$ foram calibrados concomitantemente, resultando em um valor médio do coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,71. Para confirmar os valores dos parâmetros calibrados, 5 eventos foram usados para validação do modelo. Com base nos resultados, foi possível concluir que o LISEM apresenta potencial de aplicação, sendo uma ferramenta promissora no que concerne à estimativa de hidrogramas de cheias na BHAC.

ABSTRACT– Conceptual and physically based hydrological models are of great importance for flood management in watersheds and make it possible to comprehend the components of the hydrological cycle, thus supporting the decision making. The Limburg Soil Erosion Model (LISEM) makes use of physical parameters related to soil and land use classes and provides options for rainfall-runoff event modeling. The objective of this study was to evaluate the potential of the LISEM for representation of flood hydrographs in the Cadeia river watershed (CRW), located in southern Brazil. The sensitivity analysis of the parameters saturated hydraulic conductivity (K_{sat}), initial moisture (Θ_i) and the Manning surface roughness coefficient ($Manning_c$), proved to be important for the LISEM calibration considering 10 rainfall-runoff events. K_{sat} , Θ_i and $Manning_c$ were calibrated concomitantly, resulting in an average value of the Nash-Sutcliffe coefficient of 0.71. In order to confirm the calibrated parameters values, 5 events were used for validation of the model. Based on the results, it was possible to conclude that LISEM has potential and is a promising tool for the estimation of flood hydrographs in the CRW.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica; escoamento superficial direto; chuva-vazão.

1) Discente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas. marcellevarg@gmail.com

2) Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas. samuel.beskow@ufpel.edu.br

3) Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras. crmello@deg.ufla.br

4) Docente Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas. candida.nunes@ufpel.edu.br

5) Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas. lessandro.faria@ufpel.edu.br

INTRODUÇÃO

A escassez de informações acerca de monitoramento hidrológico em escala de bacias hidrográficas no Brasil dificulta a gestão de recursos hídricos, aumentando a aplicabilidade de modelos hidrológicos. Além disso, o uso de tais modelos para prever o impacto das mudanças no uso da terra e mudanças climáticas é de extrema relevância para estudos de hidrologia associados a cheias, dado que eventos extremos de chuva têm o potencial de gerar grandes volumes de escoamento superficial direto (ESD).

Todos os processos hidrológicos constituintes do ciclo hidrológico são variáveis no espaço e no tempo e profissionais da área de recursos hídricos têm interesse em tomar decisões no dia-a-dia que estão relacionadas a um ou mais destes na escala da bacia hidrográfica, especialmente para resolver problemas de engenharia que dependem de informações atreladas à transformação chuva em escoamento, comumente quantificado pela vazão. Logo, a utilização de modelos hidrológicos permite prever como a bacia hidrográfica, caracterizada por diversos parâmetros, irá responder a determinadas condições meteorológicas.

O Limburg Soil Erosion Model (LISEM) (DE ROO *et al.*, 1996a) é um modelo idealizado para analisar eventos isolados chuva-vazão e que utiliza equações fisicamente baseadas para descrever alguns componentes do ciclo hidrológico, a saber: interceptação, infiltração e transporte d'água no solo, armazenamento em depressões do terreno e escoamento superficial. No entanto, poucos são os estudos, especialmente na América do Sul, sobre a aplicabilidade do LISEM visando à representação de diferentes processos hidrológicos, em especial o ESD. Acredita-se que um modelo distribuído e conceitual como este, uma vez confirmada a boa representação dos processos do ciclo hidrológico, tenha potencial não somente para estimativa de vazões de projeto e/ou hidrogramas de projeto, mas especialmente para servir como uma ferramenta de gestão de recursos hídricos no sentido de promover simulações do comportamento de processos hidrológicos de interesse quando da ocorrência de determinadas condições meteorológicas e/ou de alterações de características fisiográficas da bacia hidrográfica sob análise.

O principal diferencial deste estudo, em relação a outros existentes na literatura, foi a utilização do modelo LISEM em uma bacia hidrográfica com área relativamente maior, considerando as bacias em que o LISEM já foi avaliado. Neste contexto, o objetivo foi avaliar o potencial do modelo LISEM para representação de hidrogramas de ESD gerados por eventos de chuvas intensas na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), localizada em uma região com histórico de cheias (ANA, 2014; STEINMETZ *et al.*, 2019), no extremo sul do Brasil. Ainda, foi analisado se a parametrização final do LISEM condiz com a realidade das classes de solo e de uso do solo da BHAC.

METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC), com área de 121,2 km², é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do arroio Pelotas (BHAP), que por sua vez é uma das principais sub-bacias da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim-São Gonçalo (Figura 1). As informações topográficas foram derivadas da base cartográfica desenvolvida por Hasenack e Weber (2010) na escala 1:50.000. O modelo digital de elevação (MDE) foi processado com 25 m de resolução.

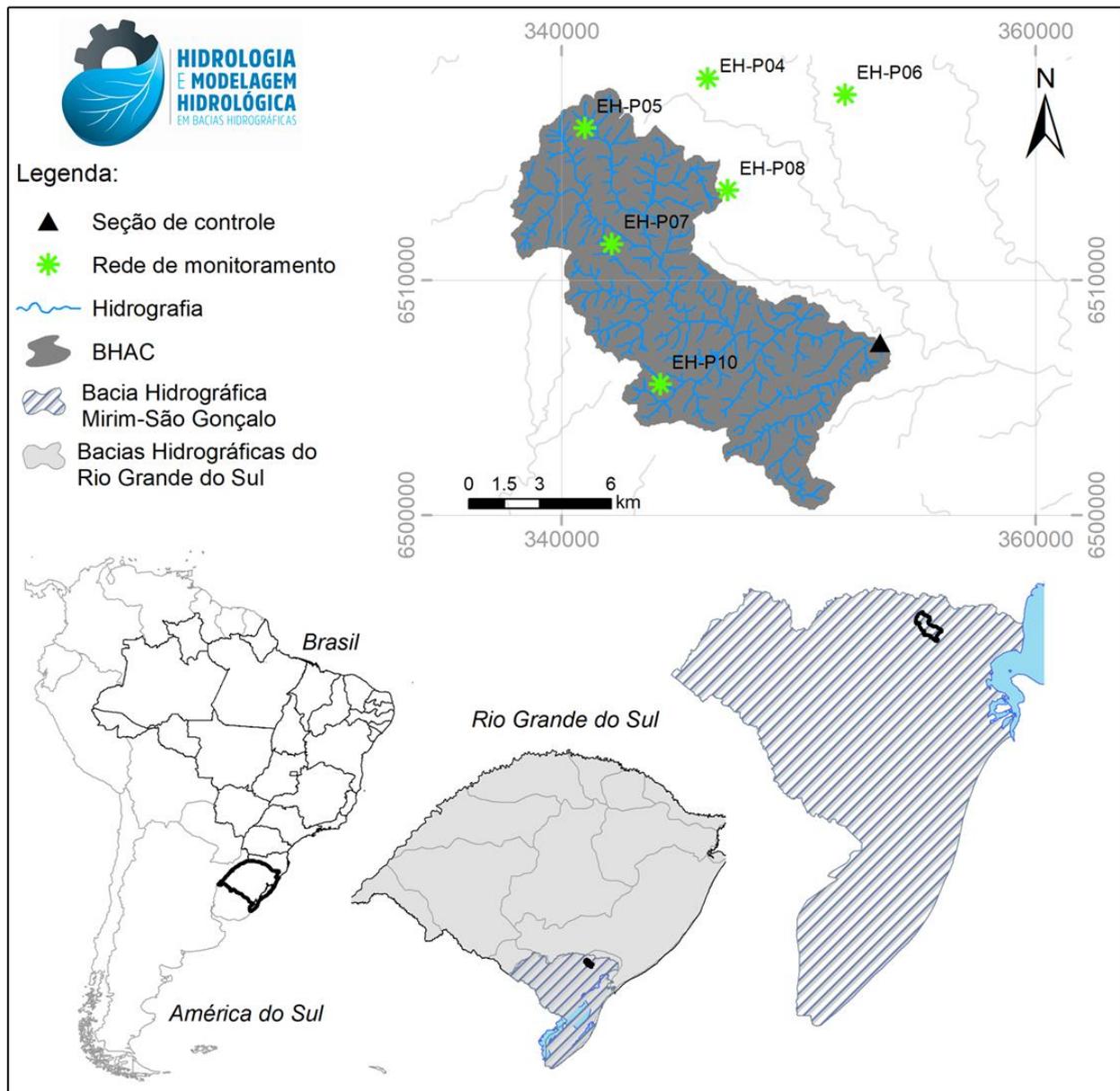


Figura 1 – Localização da BHAC no contexto da bacia hidrográfica transfronteiriça Mirim-São Gonçalo do lado brasileiro, do estado, do país e do continente sul-americano, com detalhamento da hidrografia, da seção de controle e da rede de monitoramento hidro-climático da BHAC.

As classes de solos da BHAC foram derivadas de Cunha *et al.* (2006), sendo: Argissolo Vermelho, Argissolo Amarelo e Argissolo Bruno-Acizentado. Todavia, os parâmetros do solo foram considerados apenas para o primeiro nível categórico, correspondendo ao Argissolo. Analisando os parâmetros texturais extraídos de Cunha *et al.* (2006) e seguindo a classificação de Sartori *et al.* (2005) para o segundo nível categórico, os solos da área de estudo foram classificados nos grupos hidrológicos C e D, que são caracterizados por baixa permeabilidade, com baixa a moderada profundidade. O uso e cobertura do solo na BHAC, de acordo com a classificação de imagens de satélite é (STEINMETZ *et al.*, 2019): floresta (31%), área não-cultivada (30%), solo exposto (25%), área cultivada (13,9%) e água (0,1%).

Os dados de chuva foram obtidos a partir de 6 pluviômetros automáticos, com discretização temporal de 5 min, que são gerenciados pelo Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas/CNPq, da Universidade Federal de Pelotas. A seção de controle da BHAC conta com monitoramento limimétrico automático discretizado em 10 min e combinado com a curva-chave existente, foram derivados os hidrogramas.

O modelo LISEM foi empregado neste estudo, o qual, segundo Jetten (2018), divide a área da bacia em células e para cada célula, durante um intervalo de tempo pré-definido, os processos hidrológicos são computados. Os métodos de Green-Ampt e da Onda Cinemática 1D foram escolhidos no LISEM para modelagem da infiltração e da propagação do ESD na bacia, respectivamente. É importante destacar que só foram considerados os processos hidrológicos necessários para analisar a transformação chuva-vazão e não foram considerados os processos para análise de erosão e influência dos canais na modelagem.

Considerando a escala de dados disponível para a região em formato vetorial, os mapas foram gerados com base em células de 25 m. Para estruturar o conjunto de mapas de entrada para parametrização do LISEM, o PCRaster foi inicialmente utilizado com o auxílio do software NutShell, por meio da linguagem de programação Python. Os mapas de entrada usados no PCRaster para derivar os parâmetros necessários foram: MDE, classes de solo, classes de uso e cobertura do solo e representação da área de influência das estações pluviométricas. Além disso, os parâmetros descritos no Quadro 1 foram incorporados aos mapas de classes de solos e de uso e cobertura do solo por meio do PCRaster. Em razão de características associadas à formulação do LISEM, ao banco de dados temporais, ao tempo de concentração da BHAC e às restrições computacionais, o passo de tempo de simulação no LISEM foi 30 min.

Quadro 1 – Parâmetros de entrada do LISEM e as respectivas fontes de onde os valores foram extraídos.

	Parâmetro	Fonte		Parâmetro	Fonte
Mapa de classes de solo	Condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat} - mm.h ⁻¹)	Aquino (2014)	Mapa de uso e cobertura do solo	Rugosidade da superfície do solo (cm)	Equação proposta por Chu <i>et al.</i> (2012)
	Porosidade (ϕ - cm ³ .cm ⁻³)	Aquino (2014)		Coefficiente de rugosidade de superfície de Manning (Manning _c)	Equação proposta por Jetten (2018)
	Tensão média na frente de molhamento (ψ_m - cm)	Equação proposta por Rawls <i>et al.</i> (1983)		Fração da área coberta e altura da planta (m)	Equação proposta por Jetten (2018)
	Umidade inicial do solo (Θ_i - cm ³ .cm ⁻³)	Aquino (2014)		Altura de planta (m)	Moro (2011)

A análise de sensibilidade dos parâmetros de K_{sat} , Θ_i e Manning_c foi realizada com base no *One-factor-at-a-time* (OAT) (SHEIKH *et al.*, 2010), sendo esta técnica empregada em vários estudos envolvendo o LISEM (DE ROO *et al.*, 1996a; STARKLOFF *et al.*, 2018). Neste estudo foi feita a opção de calibrar os três parâmetros supracitados; no entanto, K_{sat} e Θ_i foram calibrados manualmente, enquanto o Manning_c foi calibrado diretamente no LISEM variando seu fator multiplicativo (Manning_{MF}).

Para avaliar o potencial do LISEM, foram utilizados 15 eventos de chuva-vazão observados, sendo 10 para calibração e 5 para validação. Neste contexto, os valores médios dos parâmetros calibrados de K_{sat} , Θ_i e Manning_c foram utilizados para validar o modelo. O desempenho do modelo foi avaliado de acordo com o coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) (NASH; SUTCLIFFE, 1970), o erro relativo da vazão de pico (ER_{QP}) (%) e o erro relativo do tempo de pico (ER_{TP}) (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros K_{sat} e Θ_i foram calibrados seguindo recomendações de De Roo *et al.* (1996b), haja vista que a K_{sat} e Θ_i são os parâmetros de maior sensibilidade no LISEM (SHIEKH *et al.*, 2010), conforme também constatado neste estudo, e permitem melhor estimar a vazão de pico (Q_p), enquanto o Manning_c permite ajustar o tempo de pico (t_p) (RAHMATI *et al.*, 2013) do hidrograma. A sensibilidade do Manning_c pode ser explicada com base no uso do solo da BHAC, onde existe predominância de agricultura. A Figura 2 ilustra alguns hidrogramas dos eventos avaliados na calibração e os respectivos valores de Θ_i , K_{sat} , e Manning_{MF} calibrados.

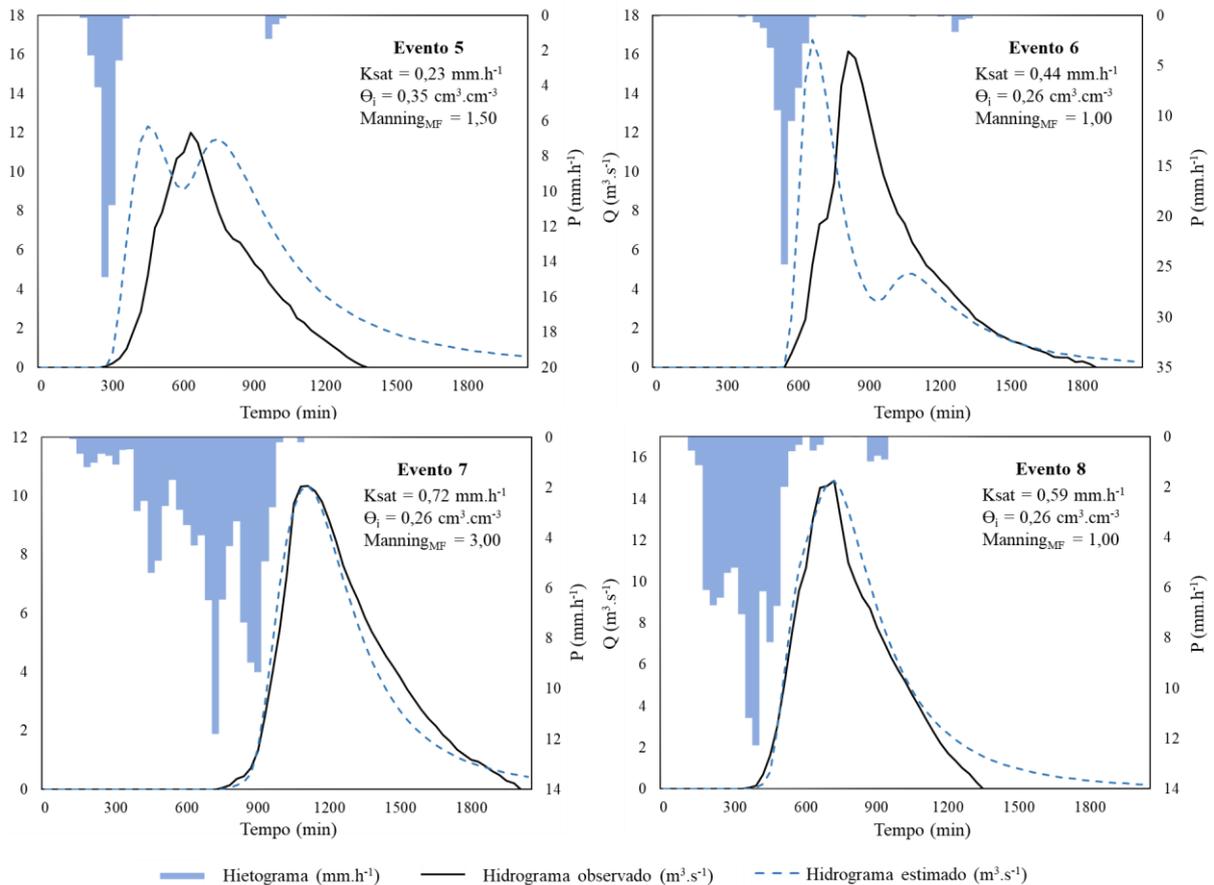


Figura 2 – Ilustração dos hidrogramas de 4 dos 10 eventos avaliados na calibração do LISEM na BHAC, assim como os valores calibrados no LISEM de K_{sat} , Θ_i e $Manning_c$.

A análise do desempenho se mostrou satisfatória quanto aos valores de C_{NS} , ER_{QP} e ER_{tp} , de modo que o valor médio de C_{NS} foi 0,71 e valores acima de 0,85 foram obtidos para 7 dos 10 eventos analisados na calibração. Os valores médios de 1,12% e 9,23% para o ER_{QP} e ER_{tp} , respectivamente, reforçam que o LISEM foi capaz de reproduzir os hidrogramas satisfatoriamente. Outros estudos usando o LISEM obtiveram desempenho similar ou inferior ao apresentado neste estudo (DE ROO; JETTEN, 1999; BAARTMAN *et al.*, 2012; RAHMATI *et al.*, 2013; GRUM *et al.*, 2017).

O K_{sat} foi o parâmetro priorizado para uma boa estimativa de Q_p , haja vista ser um dos parâmetros de maior sensibilidade (DE ROO *et al.* 1996b). Nos testes de calibração dos parâmetros, embora Θ_i também tenha se mostrado sensível, manualmente se tornou inviável manter uma calibração tripla (K_{sat} , Θ_i e $Manning_c$). Deve ser ressaltado que a falta de uma estrutura de calibração automática no LISEM, por vezes, torna o processo bastante laborioso e, de certo modo, subjetivo.

Pode-se notar que nos eventos 5 e 6 (Figura 2), o t_p é antecipado no hidrograma estimado. Não houve sucesso na calibração desses 2 eventos nas tentativas de ajustar o $Manning_c$, já que o aumento do coeficiente, que em outros eventos retardou o t_p estimado em relação ao observado, tornou os hidrogramas bimodais. O fato do $Manning_c$ não ter sido ajustado, pode ser explicado pela ocorrência de chuva após um período sem chuva. Logo, a calibração do modelo para estes dois eventos não foi

realizada até haver correspondência entre o t_p observado e o estimado, conforme executado para os demais eventos, mas foi realizada até o valor de t_p ser o mais próximo possível do observado, sem resultar em um hidrograma bimodal. É importante destacar que é comum na região da BHAC a ocorrência chuvas frontais, o que muitas vezes pode tornar a estimativa do hidrograma de ESD uma tarefa desafiadora. Beskow *et al.* (2018) e Steinmetz *et al.* (2019), em seus estudos de modelagem de eventos de chuva-vazão, apresentam resultados de eventos provenientes de chuvas prolongadas na BHAC.

É importante enfatizar que apenas um valor médio de K_{sat} foi derivado da calibração da BHAC. Embora esta metodologia indique, em primeiro momento, a não representatividade da BHAC, um único valor calibrado de K_{sat} pode ser utilizado para análises futuras de eventos de cheias na BHAC. Baartman *et al.* (2012) aplicaram o LISEM em uma bacia hidrográfica localizada na Espanha, com o objetivo de testar o desempenho do modelo. Estes autores consideraram a variabilidade espacial da K_{sat} e constataram desvantagens na calibração do modelo, por considerarem distintos valores de K_{sat} para cada tipo de uso e cobertura do solo.

Rahmati *et al.* (2013) propuseram a avaliação do LISEM para modelagem do ESD de uma bacia hidrográfica no Irã em que a calibração foi feita de forma iterativa, alterando os fatores multiplicativos de calibração dos parâmetros Θ_i , K_{sat} , Manning_c e ψ_m . Os autores encontraram bons valores médios para ER_{Qp} e ER_{tp} , sendo, respectivamente, 1,86% e -4,78%. Embora para a calibração dos eventos na BHAC não se tenha utilizado o parâmetro ψ_m , os bons resultados encontrados por Rahmati *et al.* (2013) fortalecem a metodologia de calibração para a BHAC nos cenários em que ocorreu a calibração simultânea dos valores de K_{sat} e Manning_c e também calibração em conjunto com Θ_i . Ao passo que Grum *et al.* (2017) encontraram valores de C_{NS} acima de 0,50 durante a calibração para uma bacia hidrográfica de 12 km² no norte da Etiópia, calibrando apenas K_{sat} e Manning_c.

Os valores encontrados para K_{sat} e seu valor médio (0,50 mm.h⁻¹) neste estudo, corroboram com as propostas de Musgrave (1955) e TR-55 (1986), as quais indicam valores baixos de taxa de infiltração estável (i_b) para os grupos hidrológicos C e D, sendo que Musgrave (1955) encontrou um valor mínimo de 0,50 mm.h⁻¹ para i_b em solos do grupo hidrológico D e TR-55 (1986) indica valores próximos a 1,3 mm.h⁻¹ de i_b para solos classificados nos grupos hidrológicos C e D. Esta comparação de i_b e K_{sat} pode ser realizada, pois estas são próximas numericamente. Julià *et al.* (2004) afirmam que i_b diminui com o tempo até atingir um valor constante, sendo este valor equivalente à K_{sat} .

Existem poucos estudos sobre a etapa de validação do modelo LISEM em relação aos processos hidrológicos. Além disso, segundo Barros *et al.* (2014), a complexidade dos processos de hidrológicos torna a validação de modelos fisicamente baseados um desafio devido à variabilidade espacial e temporal dos parâmetros de calibração, bem como a interação dos processos. Mesmo com um grande conjunto de parâmetros de entrada com alta discretização espacial, em muitos casos os resultados de

validação são insignificantes (BARROS *et al.*, 2014). Porém, validar os parâmetros utilizados na calibração pode diminuir esta limitação, sendo de suma importância para extrair da modelagem a representatividade da bacia hidrográfica.

O valor médio do Manning_{MF} (1,65) foi utilizado para encontrar uma representatividade geral para este parâmetro nos eventos chuva-vazão. Além disso, os valores médios de Θ_i ($0,28 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e K_{sat} ($0,50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) também foram utilizados. De acordo com as estatísticas de desempenho, 3 dos 5 eventos usados para validação do modelo apresentaram valores de C_{NS} acima de 0,40 e valores médios de 59,20% e 10,90% para o ER_{QP} e ER_{tp} , respectivamente. A Figura 3 ilustra dois hidrogramas observados e estimados na validação, bem como o cenário geral de validação de eventos.

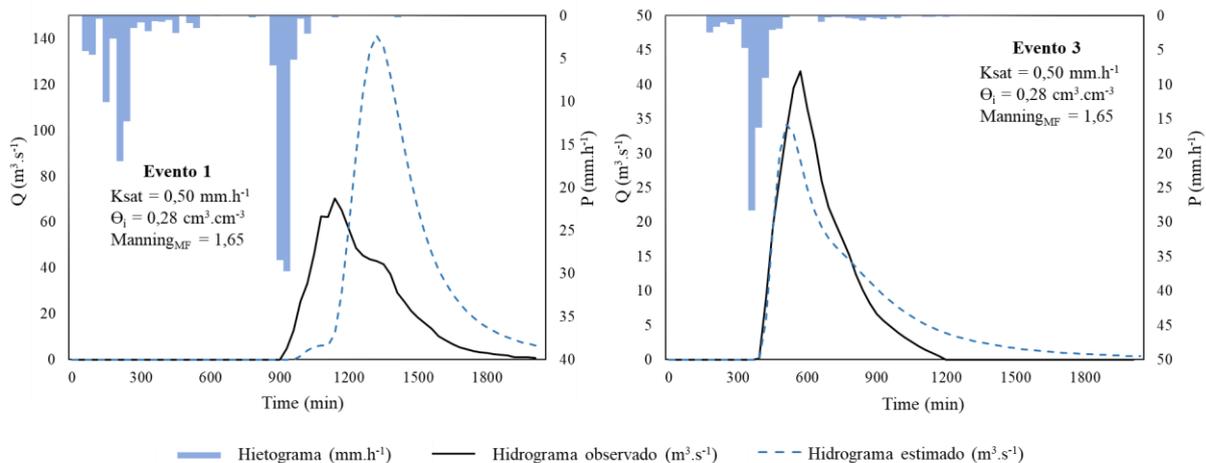


Figura 3 – Ilustração de hidrogramas de 2 dos 5 eventos usados para validação na BHAC, assim como os valores médios calibrados de K_{sat} , Θ_i e Manning_c utilizados para validação.

Foram encontrados poucos estudos que utilizaram o método de validação de eventos no LISEM. No estudo de De Roo e Jetten (1999), o LISEM foi calibrado e validado com base em eventos em duas bacias hidrográficas localizadas ao sul da cidade de Limburg, Países Baixos, e na cidade de Zululand, África do Sul; 10 eventos foram empregados para calibração e validação com ênfase no método de Green-Ampt para modelagem da infiltração. Os autores encontraram diferenças significativas entre os hidrogramas observados e os estimados e atribuíram estas diferenças à sensibilidade do modelo a algumas variáveis de entrada, como a K_{sat} e Θ_i , e indicaram a necessidade de informações de entrada detalhadas e de alta resolução para modelagem baseada em processos, como no LISEM. Esta constatação pode explicar as diferenças dos hidrogramas neste estudo. Embora o modelo tenha representado a BHAC satisfatoriamente, a resolução dos mapas e o passo de tempo aplicado podem ter influenciado nos resultados. Ademais, o fato de haver eventos distintos e, muitas vezes, complexos de chuva e a incerteza do parâmetro de Θ_i , embora calibrado, pode ter influenciado nos resultados encontrados para a BHAC. Uma estratégia a ser considerada em estudos futuros acerca

de Θ_i é investigar se é possível estabelecer uma relação entre a Θ_i e a chuva antecedente, com vistas a tornar a aplicação do LISEM facilitada no dia-a-dia.

CONCLUSÕES

Foi possível concluir, de forma geral, que o modelo LISEM é uma ferramenta promissora no que concerne à predição de hidrogramas de ESD originados de eventos extremos de chuva na BHAC. Além disso, pôde-se constatar que: i) os parâmetros de K_{sat} , Θ_i e Manning_c foram sensíveis para a BHAC; iii) a K_{sat} foi calibrada de tal forma que representou a realidade da bacia em relação aos grupos hidrológicos C e D de solos; iv) o LISEM é capaz de estimar a Q_p na BHAC desde que tenha sido devidamente ajustado às condições de solo existentes na bacia hidrográfica; v) o LISEM tem potencial para uso na gestão de recursos hídricos no tocante à modelagem de processos hidrológicos da BHAC.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2014.
- AQUINO, L. S. (2014). *Modelagem hidrológica na região sul do Rio Grande do Sul utilizando os modelos SWAT e LASH*. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, pp. 101.
- BAARTMAN, J. E.; JETTEN, V. G.; RITSEMA, C. J.; VENTE, J. (2012). *Exploring effects of rainfall intensity and duration on soil erosion at the catchment scale using openLISEM: Prado catchment, SE Spain*. Hydrological Processes 26(7), pp. 1034-1049.
- BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; DALBIANCO, L.; RAMON, R. (2014). *Description of hydrological and erosion processes determined by applying the LISEM model in a rural catchment in southern Brazil*. Journal of Soils and Sediments 14(7), pp. 1298-1310.
- BESKOW, S.; NUNES, G. S.; MELLO, C. R.; CALDEIRA, T. L.; NORTON, L. D.; STEINMETZ, A. A.; VARGAS, M. M.; AVILA, L. F. (2018). *Geomorphology-based unit hydrograph models for flood risk management: case study in Brazilian watersheds with contrasting physiographic characteristics*. Anais da Academia Brasileira de Ciências 90(2), 1873-1890.
- CHU, X.; YANG, J.; CHI, Y. (2012). *Quantification of soil random roughness and surface depression storage: methods, applicability, and limitations*. Transactions of the ASABE 55, pp. 1699-1710.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO, C. R. S. (2006). *Solos e Terras do Planalto Sul-Rio-Grandense e Planícies Costeira*. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, 43 p.
- DE ROO, A. P. J.; JETTEN, V. G. (1999). *Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa*. Catena 37(3-4), pp. 477-493.
- DE ROO, A. P. J.; OFFERMANS, R. J. E.; CREMERS, N. T. L. (1996b). *A single-event physically-based hydrological and soil erosion model for drainage basins. II: sensitivity analysis, validation and application*. Hydrological processes 10(8), pp. 1119-1126.

DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; RITSEMA, C. J. (1996a). *LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output*. Hydrological Processes 10(8), pp. 1107-1117.

GRUM, B.; WOLDEAREGAY, K.; HESSEL, R.; BAARTMAN, J. E.; ABDULKADIR, M.; YAZEW, E.; GEISSEN, V. (2017). *Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM)*. Catena 159(20-34).

HASENACK, H.; WEBER, E. (2010). *Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000*. UFRGS - Centro de Ecologia. Porto Alegre.

JULIÀ, M. F.; MONREAL, T. E.; DEL CORRAL JIMÉNEZ, A. S.; MELÉNDEZ, E. G. (2004). *Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction*. Geoderma 123(3-4), pp. 257-277.

JETTEN, V. (2018). *LISEM user manual, version 4.96x*. Utrecht: Utrecht University. 255p.

MORO, M. (2011). *Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul*. 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MUSGRAVE, G. W. (1955). *How much of the rain enters the soil*. Water: US Department of agricultural yearbook, pp.151-159.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles*. Journal of Hydrology 10(3), pp. 282- 298.

RAHMATI, M.; NEYSHABOURI, M. R.; FAKHERIFARD, A.; OSKOU EI, M. M.; AHMADI, A.; SHEIKH, J. V. (2013). *Rainfall-runoff prediction using LISEM model in Lighvan watershed, North West of Iran*. Technical Journal of Engineering and Applied Sciences 3(16), pp. 1893-1901.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SONI, B. (1983). *Agricultural management effects on soil water processes part I: Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters*. Transactions of the ASAE 26(6) pp. 1747-1752.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. (2005). *Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 10(4), pp. 05-18.

SHEIKH, V.; VAN LOON, E.; HESSEL, R.; JETTEN, V. (2010). *Sensitivity of LISEM predicted catchment discharge to initial soil moisture content of soil profile*. Journal of Hydrology 393(3-4), pp. 174-185.

STARKLOFF, T.; STOLTE, J.; HESSEL, R.; RITSEMA, C.; JETTEN, V. (2018). *Integrated, spatial distributed modelling of surface runoff and soil erosion during winter and spring*. Catena 166 (147-157).

STEINMETZ, A.A.; BESKOW, S.; TERRA, F. S.; NUNES, M. C. M.; VARGAS, M. M.; HORN, J. F. C. (2019). *Influence of spatial discretization on flood modeling from Unit Hydrograph Theory*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 24.

TECHINAL RELEASE 55 (TR-55) (1986). *Urban Hydrology of Small Watersheds*. USDA, NRCS.