

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IDENTIFICAÇÃO DOS LIMIARES PARA O INÍCIO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM UMA BACIA DE ENCOSTA

*Alondra Beatriz Alvarez Perez¹; Camyla Innocente²; João Henrique Macedo Sá³; Pedro
Ferreira Arienti³; Pedro Luiz Borges Chaffe⁵*

RESUMO – O conhecimento dos limiares que controlam a geração de escoamento superficial é essencial para a compreensão e previsão da resposta hidrológica da bacia assim como para a definição legal de áreas de preservação permanente. Este trabalho teve como objetivo analisar a geração de escoamento superficial em canais efêmeros de uma encosta subtropical coberta por Mata Atlântica. Definiram-se a relação desses limiares com as características dos eventos de precipitação e as condições antecedentes de umidade e representou-se a resposta hidrológica da bacia por meio de um modelo de regressão logística. Para a análise, foram instalados 21 detectores de escoamento superficial posicionados dentro dos canais. A intensidade máxima e precipitação total do evento (ΣP) que gerou o escoamento e o Índice Antecedente de Precipitação foram calculados com dados de um pluviógrafo no local. O percentual de área contribuindo na bacia para cada evento se relacionou linearmente com ΣP ; detectores com maior área de contribuição ficaram ativos com maior frequência, seguindo uma relação logarítmica. O modelo logístico foi aplicado ao detector no exutório da bacia, por ser o único com um limiar definido para o início do escoamento. O modelo foi testado para todas as variáveis analisadas, apresentando um alto desempenho na representatividade da dinâmica da bacia.

Palavras-Chave – Vazão; Monitoramento; Previsão

ABSTRACT– The knowledge of the thresholds that control the generation of runoff is essential for the understanding and prediction of the hydrological response as well as for the legal definition of areas of permanent preservation. Our objective was to analyze the generation of overland flow in the ephemeral channels in a subtropical catchment covered by Atlantic Forest. From this analysis, we defined the relationship of these thresholds with the characteristics of the precipitation events and the antecedent conditions of humidity. The hydrological response of the basin was represented by a logistic regression model. For the analysis we monitored 21 overland flow detectors positioned within the channels and calculated the maximum intensity and total rainfall of the event (ΣP) and the Antecedent Precipitation Index. The percentage of contributing area in the basin for each event was linearly related to ΣP ; detectors with greater contribution area were more frequently active, following a logarithmic relation. The model was applied to the detector in the outlet of the basin, being the only one with a threshold clearly defined for the beginning of the flow. The model was tested for all variables analyzed, presenting a high performance in the representativity of the dynamics of the basin.

Keywords - Flow; Monitoring; Prediction

¹) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). alondra_920@hotmail.com

²) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). camylainnocente@gmail.com

³) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). jhmsa88@gmail.com

⁴) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). pedropp1995@gmail.com

⁵) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). pedro.chaffe@ufsc.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos limiares espaciais e temporais que controlam a conectividade do fluxo terrestre é essencial para a compreensão e previsão da resposta hidrológica da bacia na escala de tempo do evento, o controle da densidade de drenagem e os efeitos das mudanças climáticas na paisagem (SAFFARPOUR et al., 2016). A ocorrência de escoamento em rios efêmeros tem relevância no fluxo durante as secas, em um nicho de ecossistemas produtivos, além de influenciar a qualidade dos corpos hídricos (BLUME; VAN MEERVELD, 2015; GRANT; DIETRICH, 2017). Informações específicas relacionadas à presença, frequência, magnitude e duração de escoamento superficial são necessárias para definir áreas de proteção permanente ou até mesmo como o comportamento de uma bacia hidrográfica influenciará outra a jusante (ALI et al., 2018). No Brasil, a definição de rios efêmeros e intermitentes é de extrema importância uma vez que define qual área é hidrologicamente sensível e necessitada de proteção legal (SOUZA et al, 2019).

Em áreas de encosta, com terrenos úmidos, íngremes e bem vegetados, o mecanismo dominante para a geração de vazão é o escoamento por saturação (TROMP-VAN MEERVELD; MCDONNELL, 2006; ZIMMER; MCGLYNN, 2018). A capacidade de infiltração em áreas de floresta geralmente é muito superior às intensidades máximas das chuvas (CUSTODIO; LLAMAS, 1983) assumindo-se que o fluxo por excesso de infiltração seja pouco frequente (VERTESSY; ELSENBEER, 2000). Por outro lado, as altas intensidades de precipitação em áreas úmidas de latitudes médias podem vir a superar a capacidade de infiltração do solo (SMITH; GOODRICH, 2005).

Devido à complexidade dos processos envolvidos, o limiar para início do escoamento superficial pode ser compreendido como uma função controlada pela precipitação total e intensidade máxima de chuvas e as variações de umidade antecedente (ZIMMERMANN; ELSENBEER; ZIMMERMANN, 2013). Chorley (1995) argumentou que o estado de umidade inicial da bacia é o fator mais propenso a determinar o resultado de uma previsão de escoamento superficial, enquanto Vertessy e Elsenbeer (2000) apresentaram as condições iniciais como um fator menos propenso, particularmente no caso de grandes eventos. Compreender como essas variáveis se relacionam com comportamento não linear das bacias hidrográficas ainda é um desafio (SAFFARPOUR et al., 2016). O objetivo deste trabalho foi analisar a geração de escoamento superficial em uma bacia de ordem zero com canais efêmeros. Essa encosta faz parte da Bacia Hidrográfica da Lagoa do Peri, que é um dos mananciais de abastecimento de água de Florianópolis-SC. Descreve-se a seguir: (i) como foram identificados os limiares para o início do escoamento superficial; (ii) as relações desses limiares com às características dos eventos de

precipitação e as condições antecedentes de umidade; (iii) o uso de um modelo de regressão logística para representar a resposta hidrológica da bacia.

MATEIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se em uma encosta nordeste da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri (Figura 1). Com uma área de 2,65ha, e declividade média de 38%, o solo é caracterizado como cambissolo moderadamente drenado com áreas rochosas e forte ondulação (IBGE-EMBRAPA, 2001). A vegetação da bacia divide-se em Floresta Atlântica Média (64% da área) com grande heterogeneidade de espécies arbóreas (SBROGLIA; BELTRAME, 2012) e reflorestamento com alguns pinus na parte superior da encosta (36% da área). A hidrografia é formada por canais efêmeros que desagüam em uma área plana e alagada.

Segundo os critérios de Köppen, a classificação climática da região é do tipo Cfa, sem estação seca e com verão quente. Situada na zona intermediária subtropical com temperatura média do mês mais frio sendo maior do que 3° C e menor que 18° C, e a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C (Dos SANTOS et al., 1989). A precipitação média anual é de 1850 mm (ANA, 2005).

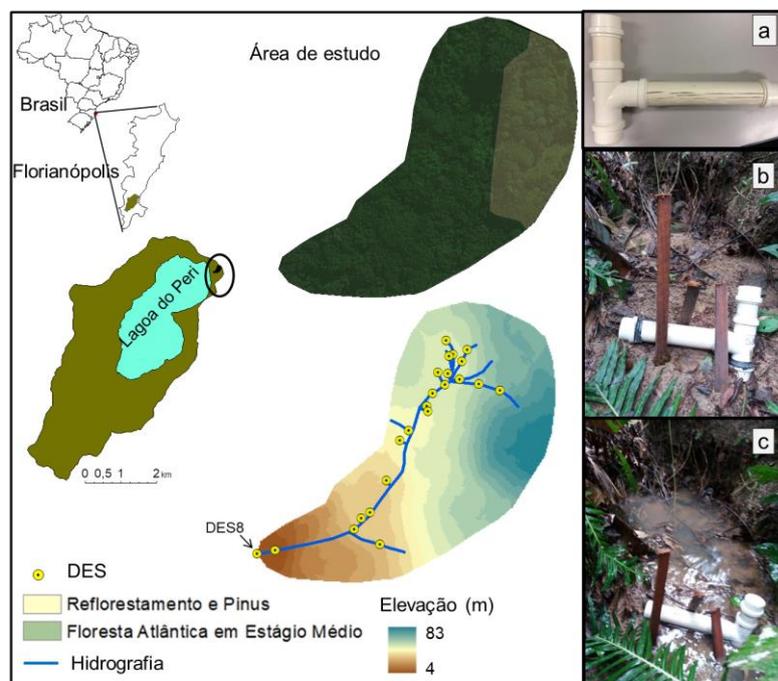


Figura 1 - Localização da área de estudo e descrição- Mapa de localização (esquerda). Detector de escoamento superficial (a). Canal seco (b) e com ativo (c).

Criado em 1981, por meio da Lei nº 1.828/81, o parque Municipal da Lagoa do Peri é um dos principais ecossistemas em estágio de preservação e regeneração da Mata Atlântica original da

Ilha de Santa Catarina, sendo uma das mais importantes Unidades de Conservação de Proteção Integral do Município de Florianópolis (Dos SANTOS et al., 1989). O parque também abriga o maior manancial de água doce da Ilha destacando-se como importante ecossistema de preservação da biodiversidade (CARDOSO et al., 2008). A Lagoa serve de manancial para abastecimento público, sendo o conhecimento de seu sistema hídrico necessário para sua preservação de essencial interesse econômicos, social e ambiental.

Dinâmica da rede de drenagem

Para monitorar a ocorrência de escoamento superficial foram utilizados detectores de escoamento superficial (DES), como o desenvolvido por Beven e Kirkby (1979) e descrito por Vertessy e Elsenbeer (2000), Santos (2009a), Zimmermann et al. (2013) e Zimmermann et al. (2014). O DES permite identificar apenas a ocorrência ou não do fenômeno no intervalo de tempo entre duas leituras consecutivas (Figura 1a).

Vinte e um detectores foram instalados e distribuídos entre os canais efêmeros, caminhos preferenciais de água formados na topografia e na vertente principal (Figura 1). De 27 de julho de 2018 a 19 de janeiro de 2019 foram realizadas 25 campanhas de monitoramento que resultaram em 525 registros dentro na bacia. Foi realizada uma campanha por semana.

A rede de drenagem foi mapeada por meio de observações em campo, com o auxílio de um aparelho de “Sistema de Posicionamento Global” (GPS). Devido à imprecisão dos dados de GPS, que teve como erro médio seis metros, o comprimento da drenagem foi medido manualmente com uma trena. A soma do comprimento dos canais e da vertente principal é de 512,5 metros. Quando um DES continha água considerou-se que toda a extensão do canal desde a nascente ou desde o DES a montante apresentou fluxo. A área de contribuição de cada detector foi calculada com base no modelo de elevação digital (MDT), com resolução de 1 metro.

Precipitação e umidade antecedente

Os eventos de precipitação foram registrados com pluviógrafo tipo balsa, com resolução de 0,2 mm. O equipamento está instalado a 200 metros da área de estudo. Os dados de precipitação foram discretizados em intervalos de um minuto. Na separação entre eventos considerou-se que se inicia um novo evento após 24 horas sem chuva. Somente foram considerados eventos superiores a 2 mm. Para cada evento calculou-se a precipitação total (ΣP , mm) e a intensidade máxima de 5 minutos (I_5 , mm/h).

Para a estimativa da umidade na bacia foi calculado o Índice de Precipitação Antecedente (IPA) para cada evento de chuva, de acordo com a equação (1).

$$IAP = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{i-1} \quad (1)$$

onde, P_i é a chuva total no dia i (mm), i é o dia anterior ao dia para o qual se quer calcular IPA e n é o número total de dias antecedentes considerados. A análise realizada neste trabalho parte da hipótese de que o evento que gerou o escoamento superficial foi o evento de maior volume entre duas campanhas de campo.

Limiares para o início do escoamento

Em meio à complexidade envolvendo os diferentes mecanismos de geração de escoamento e ao grande número de características fisiográficas locais envolvidas, uma síntese do conhecimento de campo existente é essencial para identificar os princípios de organização que permitem a previsão de processos hidrológicos (BARTHOLD; WOODS, 2015). Ao mesmo tempo, nossa percepção dos processos hidrológicos depende da escala espacial e temporal das observações (BACHMAIR; WEILER, 2014). Neste sentido, McGrath et al. (2007) propôs que essas complexidades poderiam ser incluídas na categoria de elementos de precipitação dependentes do armazenamento de água na bacia. Assim, neste trabalho adotamos a premissa de que a ocorrência de escoamento depende da IAP_5 e os fatores que levam a extrapolar o limiar para o início do escoamento são o volume do evento e/ ou a intensidade máxima do evento.

O limiar foi estabelecido seguindo a regressão logística proposta por Ramos-Scharrón e Lafevor (2018), segundo a equação (2). Três modelos foram desenvolvidos, um para influência de ΣP e um para influência de I_5 , e para os eventos com $IPA_5=0$, o no modelo utilizou-se somente I_5 e ΣP como variáveis.

$$P(\text{DES}) = \frac{1}{1 + e^{(b_0 + b_1 \cdot (\Sigma P \text{ ou } I_5) + b_2 \cdot IPA_5 + b_3 \cdot (IPA_5 \cdot \Sigma P \text{ ou } I_5))}} \quad (2)$$

onde $P(\text{DES})$ é a probabilidade de ocorrência de escoamento e b_0 , b_1 , b_2 e b_3 são parâmetros de ajuste do modelo. Se $P(\text{DES}) \geq 0,5$ assume-se que haverá escoamento. O ajuste do modelo foi medido com um pseudo- R^2 , definido como o número de acertos dividido pelo número total de tentativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O percentual de área da encosta contribuindo com o escoamento superficial aumenta de forma linear com o aumento na precipitação total dos eventos de chuva (Figura 2A1). Por outro lado, analisando individualmente cada DES, locais com maior área de contribuição ficaram ativas com maior frequência (Figura 2B). Consequentemente, a porcentagem de detectores ativos também aumentou com ΣP (Figura 2A1-escala de cores). No entanto, a Figura 2A2 mostra que o limiar para

o início do escoamento não depende unicamente da precipitação, já que houve eventos com a mesma precipitação total em que nenhum DES ficou ativo e outros em que ocorreu. Nenhum limiar ou relação direta foram encontrados na análise de todos os detectores e IPA_5 ou ΣP .

O DES8, localizado no exutório da bacia, só ficou ativo após um limiar mínimo de rede de drenagem ativa (RA) e de percentual da área da bacia contribuindo. Vemos na Figura 2B como o escoamento gerado na bacia somente alcança o exutório quando pelo menos 26% da rede de drenagem estão ativos. Valores acima deste levam a que a água saia da bacia como escoamento superficial. Quando olhamos para a ocorrência de escoamento e o percentual da área da bacia contribuindo (Figura 2C), existe uma região intermediária em que áreas similares se alternam entre eventos com escoamento (1) e sem escoamento (0). Este fenômeno pode estar ocorrendo por que não são sempre as mesmas áreas da bacia que ficam ativas, podendo haver locais distintos, mas com áreas semelhantes ativos para cada evento.

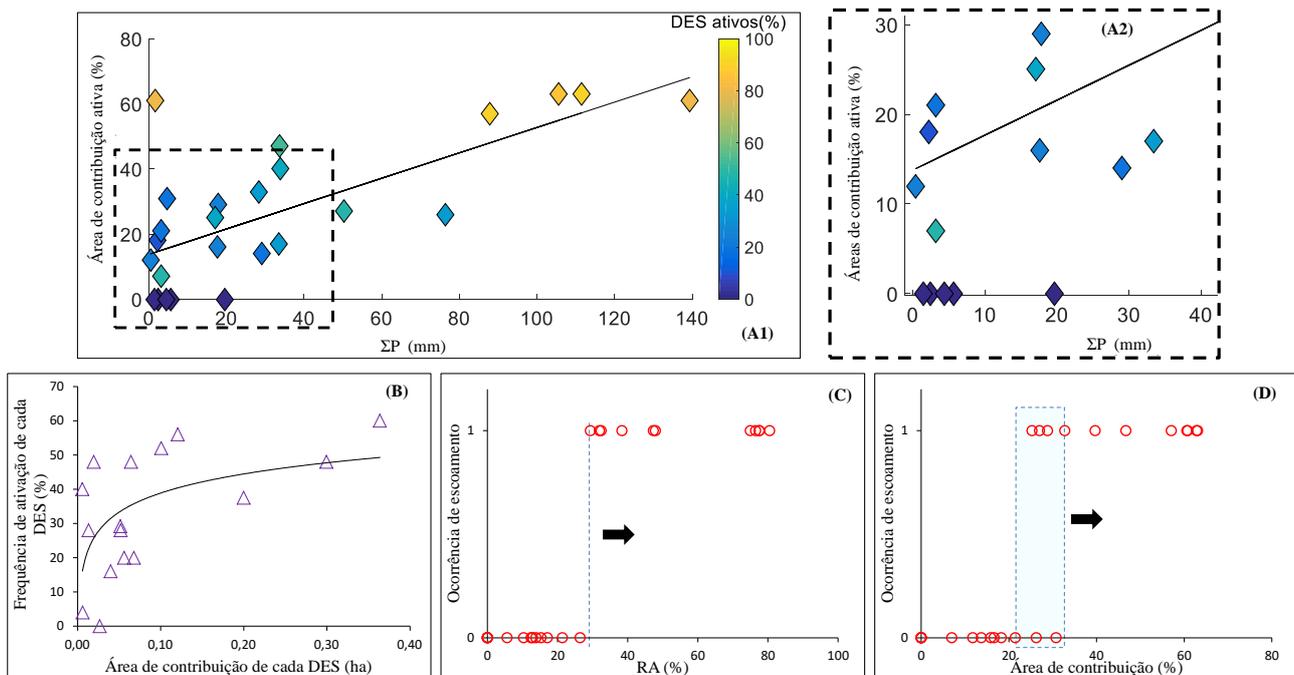


Figura 2- Análise do comportamento dos DES- (A1) Área ativa, precipitação total e DES ativos para cada campanha. (A2) zoom da área tracejada em A1. (B) frequência com que cada DES ficou ativo em relação a sua área de contribuição. Cada triângulo é um detector. (C) e (D) Comportamento de S8. Cada círculo é uma campanha de monitoramento. No eixo Y, 1 indica a ocorrência de escoamento, enquanto 0 significa sua ausência. A seta preta mostra o sentido a partir do qual sempre há escoamento em relação à variável no eixo X. As linhas tracejadas mostram os limiares.

Com base no comportamento do DES8, este foi considerado um representante para descrever o comportamento hidrológico desta bacia. Por isso, o modelo de regressão logística foi elaborado com base neste detector, ou seja, com base na ocorrência de escoamento no exutório da bacia.

Há um limiar de $I_5=31,2\text{mm/h}$ (Figura 3B) a partir do qual a água sai da bacia pelo exutório. I_5 também parece estar relacionado com a extensão da bacia que está contribuindo, havendo mais áreas ativas para eventos de maior intensidade. O mesmo resultado ocorre na relação entre as áreas contribuintes e a precipitação total do evento (Figura 3C). No entanto, assim como ocorre na relação com IPA_5 (Figura 3A), o ΣP não é o único fator atuando no início do escoamento, visto que temos eventos com igual magnitude, porém que não tiveram o mesmo efeito na bacia.

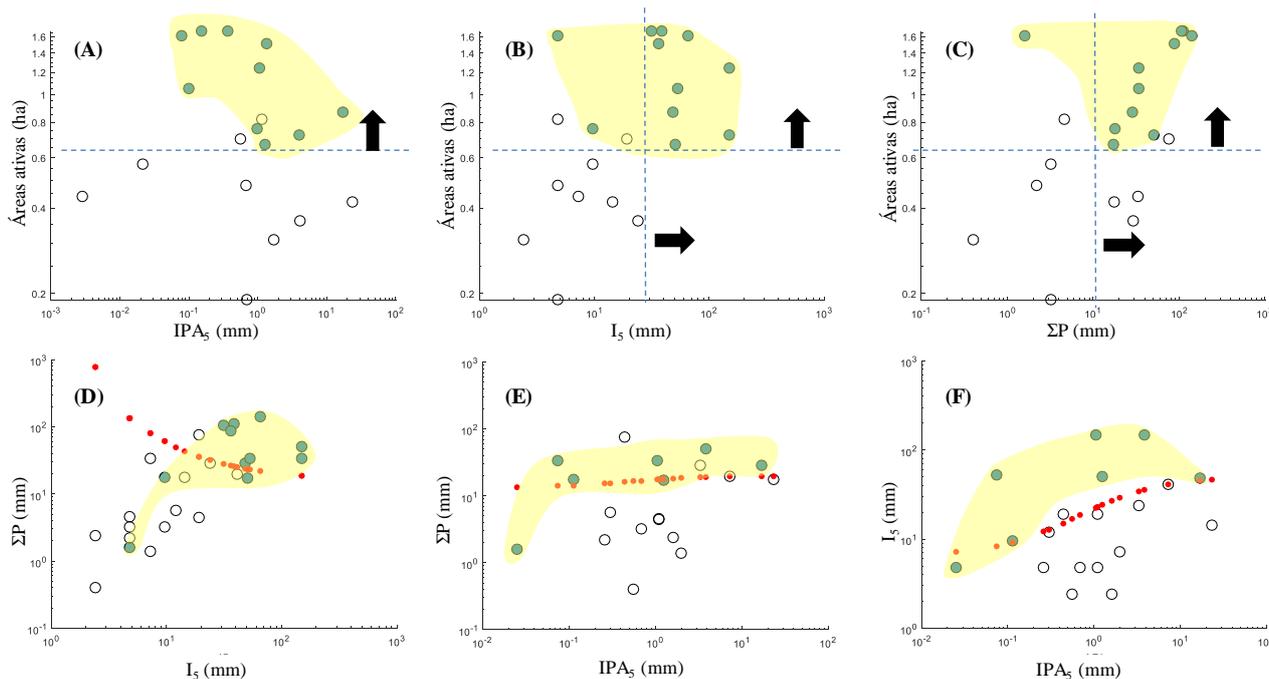


Figura 3 - Presença (círculos aberto) e ausência de escoamento (círculos fechados) no exutório em função de ΣP , I_5 , IPA_5 e área de contribuição- As linhas tracejadas e a seta preta indicam o limiar e sentido para a ocorrência do escoamento. A área sombreada delimita a extensão de observações indicando presença de escoamento no exutório. Os pontos vermelhos mostra o resultado do modelo de regressão, onde valores acima indicam ocorrência de escoamento, e valores abaixo indicam ausência.

Os resultados dos três modelos são mostrados na Figura 3D, E e F. O três modelos apresentaram bom ajuste (Tabela 1) do R^2 . O de pior resultado foi o modelo $IPA_5-\Sigma P$ (Figura 3E), com um R^2 de 0,76. IPA_5-I_5 e $\Sigma P-I_5$ tiveram o mesmo desempenho.

Dois eventos se destacam dos demais por ter ocorrido escoamento superficial mas não haver relação com as variáveis analisadas (dia 22/01/2019 com $\Sigma P=0,4\text{mm}$, $I_5=2,4\text{mm/h}$, $IPA_5=0,56$ e dia 08/08/2018 com $\Sigma P=17,80\text{mm}$, $I_5=9,6\text{mm/h}$, $IPA_5=0,11$). Este fenômeno é um indício de que outras variáveis não consideradas neste trabalho levam à ocorrência de escoamento no exutório da bacia em eventos excepcionais.

Tabela 1- Resultado do ajuste do modelo de regressão

	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
IPA ₅ - ΣP	0,400	-0,030	1,000	-0,050	0,76
IPA ₅ -I ₅	0,600	-0,091	2,532	-0,051	0,84
ΣP -I ₅	1,400	0,010	0,080	-0,005	0,84

CONCLUSÃO

Neste trabalho analisamos a geração de escoamento superficial em uma bacia de ordem zero. O percentual de área contribuindo na bacia para cada evento se relaciona linearmente com a precipitação total do evento. A análise cada detector de forma individual mostrou que detectores com maiores áreas de contribuição ficaram ativos com maior frequência, seguindo uma relação logarítmica. No entanto, o limiar para o início do escoamento só pôde ser definido passa o detector no exutório da bacia, sendo de 31,2mm/h para intensidade máxima de cinco minutos e pelo menos 26% da rede de drenagem estão ativos.

O bom ajuste dos modelos de regressão logística aos dados do detector instalado no exutório da bacia mostra que as características dos eventos e as condições antecedentes de umidade podem utilizados para prever a geração de escoamento na área de estudo. O modelo IPA₅-I₅ e ΣP -I₅ obtiveram o mesmo desempenho (R²=0,84).

Estes resultados abrem o questionamento para futuros trabalhos sobre a sensibilidade da análise do comportamento dos detectores aos critérios utilizados para definir as características dos eventos e umidade antecedente e sua representatividade dos processos físicos envolvidos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESC pela bolsa de mestrado do primeiro autor. À CAPES pela bolsa de mestrado do segundo autor. Ao CNPQ pelas bolsas de doutorado e iniciação científica do terceiro e quarto autor, respectivamente. Agradecemos ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa através do projeto MCTI/CNPQ/Universal 14/2014.

REFERÊNCIAS

- ALI, G. ET AL. THE T-TEL METHOD FOR ASSESSING WATER, SEDIMENT, AND CHEMICAL CONNECTIVITY. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 54, n. 2, p. 634–662, 2018.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *DISPONIBILIDADE E DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL (2005)*. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.ANA.GOV.BR](http://www.ana.gov.br)> ACESSO EM JANEIRO DE 2019
- BACHMAIR, S.; WEILER, M. INTERACTIONS AND CONNECTIVITY BETWEEN RUNOFF GENERATION PROCESSES OF DIFFERENT SPATIAL SCALES. *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 2014.
- BARTHOLD, F. K.; WOODS, R. A. STORMFLOW GENERATION: A META-ANALYSIS OF FIELD EVIDENCE FROM SMALL, FORESTED CATCHMENTS. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 51, n. 5, p. 3730–3753, MAIO 2015.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A PHYSICALLY BASED, VARIABLE CONTRIBUTING AREA MODEL OF BASIN HYDROLOGY. *HYDROLOGICAL SCIENCES BULLETIN*, v. 24, n. 1, p. 43–69, 1979.
- BLUME, T.; VAN MEERVELD, H. J. FROM HILLSLOPE TO STREAM: METHODS TO INVESTIGATE SUBSURFACE CONNECTIVITY. *WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS: WATER*, v. 1, n. JUNE, p. 177–198, 2015.
- CARDOSO, F. DA S. ET AL. ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA DA LAGOA DO PERI FLORIANÓPOLIS (SC). *CAMINHOS DE GEOGRAFIA*, v. 9, n. 27, p. 201–213, 2008.
- CHORLEY, R. HORTON, R.E. 1945: EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS: HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY. *BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA* 56, 2 75-3 70. *PROGRESS IN PHYSICAL GEOGRAPHY*, v. 19, n. 4, p. 533–554, 19 DEZ. 1995.
- CUSTODIO, EMILIO; LLAMAS, MANUEL RAMÓN. *HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA*. 2. ED. BARCELONA: EDICIONES OMEGA, S. A., 1983. 1157 p.
- DOS SANTOS G. F.; DA SILVA J. T. N.; MENDOÇA M.; VEADO, R. W. AD-V. *ANÁLISE AMBIENTAL DA LAGOA DO PERI*. *GEOSUL*. 8: 101-123, 1989.
- GRANT, G. E.; DIETRICH, W. E. THE FRONTIER BENEATH OUR FEET. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 53, n. 4, p. 2605–2609, 2017.
- IBGE - EMBRAPA - MAPA DE SOLOS DO BRASIL. RIO DE JANEIRO: IBGE, 2001 - ESCALA 1:5.000.000
- MCGRATH, G. S.; HINZ, C.; SIVAPALAN, M. TEMPORAL DYNAMICS OF HYDROLOGICAL THRESHOLD EVENTS. *HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES*, v. 11, n. 2, p. 923–938, FEV. 2007.
- RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; LAFEVOR, M. C. EFFECTS OF FOREST ROADS ON RUNOFF INITIATION IN LOW-ORDER EPHEMERAL STREAMS. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 54, n. 11, p. 8613–8631, NOV. 2018.

SAFFARPOUR, S. ET AL. MULTIPLE RUNOFF PROCESSES AND MULTIPLE THRESHOLDS CONTROL AGRICULTURAL RUNOFF GENERATION. P. 4525–4545, 2016.

SANTOS, IRANI DOS. *MONITORAMENTO E MODELAGEM DE PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS: MECANISMOS DE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO E CONECTIVIDADE HIDROLÓGICA*. 2009. 167 F. TESE (DOUTORADO) - CURSO DE GEOGRAFIA, CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, 2009.

SBROGLIA, R. M.; BELTRAME, V. O ZONEAMENTO , CONFLITOS E RECATEGORIZAÇÃO DO PARQUE MUNICIPAL DA LAGOA DO PERI , FLORIANÓPOLIS / SC ZONING , CONFLICTS AND RECLASSIFICATION OF LAGOA DO PERI COUNTY PARK , FLORIANÓPOLIS / SC. P. 5–18, 2012.

SMITH, R. E.; GOODRICH, D. C. RAINFALL EXCESS OVERLAND FLOW. IN: *ENCYCLOPEDIA OF HYDROLOGICAL SCIENCES*. CHICHESTER, UK: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2005.

SOUZA, KLEBER ISAAC SILVA DE ET AL. *PROTEÇÃO AMBIENTAL DE NASCENTES E AFLORAMENTOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL: HISTÓRICO E LACUNAS TÉCNICAS ATUAIS*. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, [S.L.], v. 33, n. 1, p.76-86, 6 MAR. 2019

TROMP-VAN MEERVELD, H. J.; MCDONNELL, J. J. THRESHOLD RELATIONS IN SUBSURFACE STORMFLOW: 2. THE FILL AND SPILL HYPOTHESIS. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 42, n. 2, p. 1–11, 2006.

VERTESSY, R.; ELSENBEER, H. STORM RUNOFF GENERATION AT LA CUENCA. IN: *SPATIAL PATTERNS IN ...* [S.L: S.N.]. v. 1P. 247–271.

ZIMMER, M. A.; MCGLYNN, B. L. LATERAL, VERTICAL, AND LONGITUDINAL SOURCE AREA CONNECTIVITY DRIVE RUNOFF AND CARBON EXPORT ACROSS WATERSHED SCALES. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 54, n. 3, p. 1576–1598, 2018.

ZIMMERMANN, A.; ELSENBEER, H.; ZIMMERMANN, B. UNCOVERING PATTERNS OF NEAR-SURFACE SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN AN OVERLAND FLOW- CONTROLLED LANDSCAPE. *GEODERMA*, v. 195–196, n. MARCH, p. 1–11, 2013.

ZIMMERMANN, B. ET AL. CONNECTIVITY OF OVERLAND FLOW BY DRAINAGE NETWORK EXPANSION IN A RAIN FOREST CATCHMENT. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 50, n. 2, p. 1457–1473, FEV. 2014.