



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

GERAÇÃO DE ESCOAMENTO EM MICROBACIA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO – BRASIL

*Júlio César Neves dos Santos¹; Hugo Morais de Alcântara²; Alessandro Francisco dos Santos³; &
Cleene Agostinho de Lima⁴*

RESUMO – O entendimento dos processos relacionados com a geração do escoamento superficial e da produção de sedimentos é de fundamental importância para o eficaz planejamento e gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Nesse contexto, o presente estudo objetiva analisar os efeitos da distribuição temporal das chuvas, bem como a influência dos veranicos na geração do escoamento em uma microbacia no semiárido paraibano. O estudo foi desenvolvido na Bacia Escola de São João do Cariri (BESJC). A Microbacia estudada possui área de 0,18 ha, declividade média em torno de 7,5% e cobertura vegetal de caatinga degradada remanescente. O período de estudo ocorreu entre os anos de 2000 a 2006. Foram monitorados 478 eventos de chuva e 88 eventos geradores de escoamento na microbacia M1 estudada. Eventos de alta magnitude com precipitação superiores a 80 mm independentemente do número de Dias Consecutivos Secos (DCS) geraram escoamentos em 81% dos casos. A ocorrência de veranicos foi um dos mais importantes fatores controladores da geração de escoamento e do volume total escoado. Quanto maior o número de DCS, maior a tendência de redução do coeficiente de escoamento.

ABSTRACT– The understanding of the processes related to the generation of runoff and sediment yield is crucial for effective planning and management of water resources in a watershed. In this context, this study aims to examine the effects of temporal distribution of rainfall as well as the influence of dry spells in generating runoff in a watershed in semiarid Paraíba. The study was conducted in Bacia Escola de São João do Cariri (BESJC). The Watershed has studied the area of 0.18 ha, average slope around 7.5% and vegetation of degraded savanna remnant. The study period was between the years 2000 to 2006. 478 rain events and 88 events generating runoff in the watershed studied M1 were monitored. Events of high magnitude larger than 80 mm rainfall regardless of the number of Consecutive Dry Days (DCS) flow generated in 81% of cases. The occurrence of dry spells was one of the most important factors controlling the generation of runoff

1) Técnico em Hidrologia da Universidade Federal de Campina Grande, AERH/UAEC/CTRN/UFCG, Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Ceará – PPGEA/CCA/UFC; Fone: 0 (83) 2101 1037, juliocesarnds@gmail.com;

2) Professor da Universidade Federal de Campina Grande – CDSA/UATEC - hugodabacia@yahoo.com.br;

3) Técnico em Hidrologia, AERH/UAEC/CTRN/UFCG. Fone: 0 (83) 2101 1037, alessandroxeleco@gmail.com;

4) Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural do Pernambuco. E-mail: cleene2@hotmail.com

and total runoff volume. The greater the number of DCS, the greater the tendency to reduce the runoff coefficient.

Palavras-Chave – Hidrologia do semiárido, deflúvio, estiagens.

1. INTRODUÇÃO

O entendimento dos processos relacionados com a geração do escoamento superficial e da produção de sedimentos é de fundamental importância para o planejamento e gestão eficaz dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Intimamente relacionado com os mecanismos de geração de escoamento e capacidade de infiltração dos solos. A capacidade de infiltração é o fator mais importante e controlador do escoamento (ARNAU-ROSALÉN *et al.*, 2008), sendo caracterizada por uma alta variabilidade espacial das suas propriedades (estrutura, textura, teor de matéria orgânica, umidade antecedente do solo, etc.).

Segundo Figueiredo (1988), existem dois tipos de mecanismos geradores de escoamento: a) fluxo superficial devido ao excesso de precipitação, também conhecido como Hortoniano; b) fluxo superficial devido ao excesso de saturação.

O primeiro caso ocorre normalmente em regiões áridas e semiáridas, que de acordo com Aragão (2000), o escoamento acontece devido ao excesso de precipitação sobre a infiltração, desde a superfície até as camadas inferiores. O segundo caso ocorre normalmente em regiões úmidas, em que o principal mecanismo de geração de escoamento ocorre devido à elevação do lençol subterrâneo. Esse se diferencia do fluxo Hortoniano, pelo fato que neste mecanismo, a saturação do solo ocorre das camadas inferiores para a superfície, e no fluxo Hortoniano, ocorre de modo inverso (CHOW *et al.*, 1988).

O escoamento em zonas áridas e semiáridas é caracterizado pela alta variabilidade espacial e temporal. O componente espacial é em grande parte associada à alta heterogeneidade espacial de atributos da superfície do solo, como a vegetação, os fragmentos de rocha, a topografia, as crostas e a tipologia do solo (CHAMIZO *et al.*, 2012). A variabilidade temporal depende principalmente da variação das chuvas e da umidade antecedente (CHAMIZO *et al.*, 2012).

Segundo James e Roulet (2009) a umidade antecedente do solo, juntamente com o tamanho e a intensidade da chuva, desempenham um papel importante na determinação dos mecanismos de geração de escoamentos.

Figueiredo (2011) estudando a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA, 12 km), Ceará-Brasil, avaliou as condições de início do escoamento superficial com cobertura vegetal predominante de caatinga preservada. O estudo indicou que para ocorrer o início do escoamento superficial na BEA é necessário um evento de precipitação superior a 47,50 mm, independentemente de sua intensidade.

Isto explicou 75% da lâmina escoada na BEA para o período observado. O autor ainda concluiu que com base apenas na precipitação total, não é possível avaliar se ocorrerá ou não escoamento.

A ocorrência de veranicos que consiste em um período de estiagem, acompanhado por calor intenso, forte insolação e baixa umidade relativa em plena estação chuvosa no semiárido brasileiro resulta em redução da umidade antecedente do solo.

Entender os processos de geração do escoamento é fundamental para estimar a vazão no exutório de uma bacia hidrográfica e auxiliar na gestão eficaz dos recursos hídricos. Estudos destinados ao entendimento dos processos relacionados a geração de escoamento superficial em regiões semiáridas, principalmente no Brasil, ainda são escassos. Neste contexto, o presente estudo objetiva analisar os efeitos da distribuição temporal das chuvas, bem como a influência dos veranicos na geração do escoamento, em uma microbacia no semiárido paraibano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Escola de São João do Cariri (BESJC) situa-se nas proximidades da zona urbana do município de São João do Cariri (7°25' S, 36°30' O), a 220 km de João Pessoa, PB. Está localizada na parte média da bacia do Rio Taperoá (Figura 1), estando inserida na região do Nordeste conhecida como polígono das secas, semiárido brasileiro. As atividades de campo vem sendo desenvolvidas desde 1985 com a instalação e operação dos primeiros equipamentos cedidos por meio de um convênio estabelecido entre MEC/GTZ/UFPB.

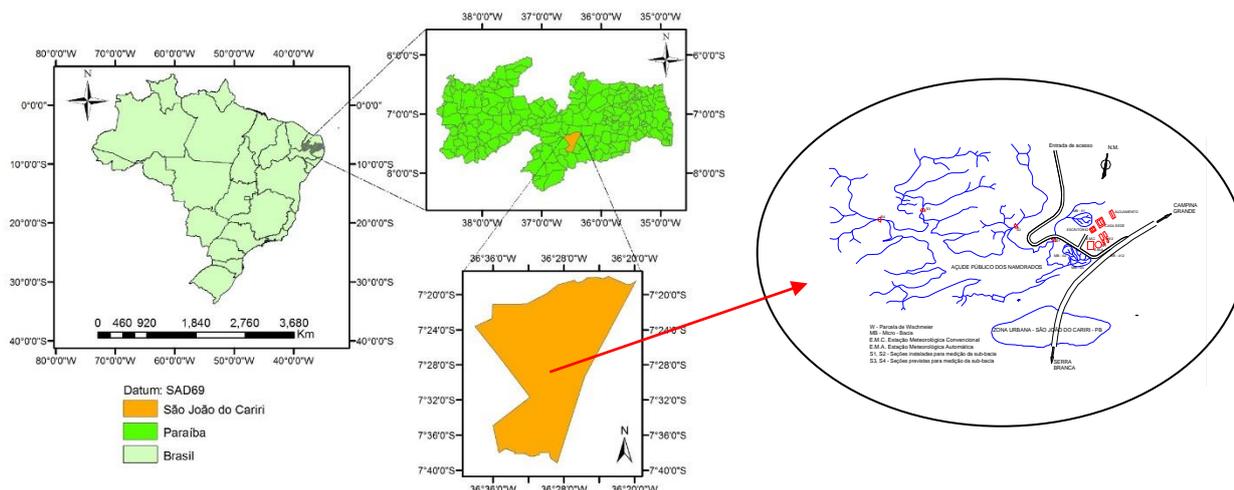


Figura 1 – Localização da Bacia Experimental de São João do Cariri – BESJC

O curso principal da bacia é o riacho dos Namorados, sendo o seu exutório localizado no vertedor do Açude Público dos Namorados, que abastece a cidade de São João do Cariri, PB. A Bacia Escola de São João do Cariri ocupa uma área de aproximadamente 14 km².

A variabilidade da precipitação anual e média mensal pode ser observada nas Figura 3. A precipitação pluvial média anual, observada na estação meteorológica convencional da BESJS, no período de 1985 a 2013, foi de 540,4 mm ano⁻¹. O período chuvoso ocorre de janeiro a maio. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 70% e a evapotranspiração de 1.816 mm/ano, com uma média mensal de 151 mm (ARAUJO *et al.*, 2005).

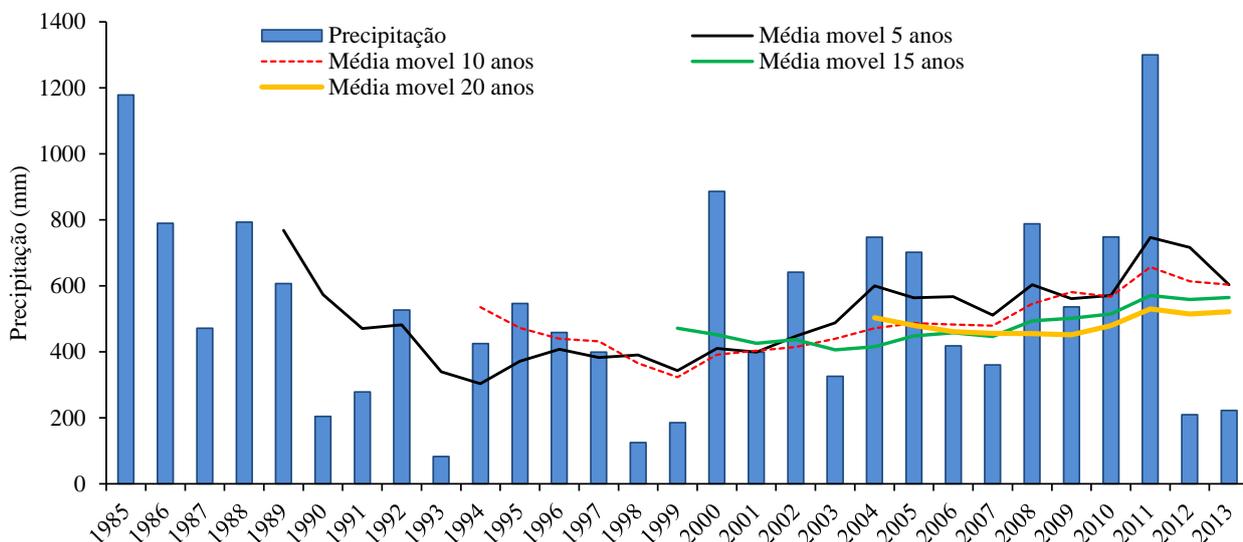


Figura 2 – Precipitação anual de 1985 a 2013 e médias moveis na Bacia Experimental de São João do Cariri

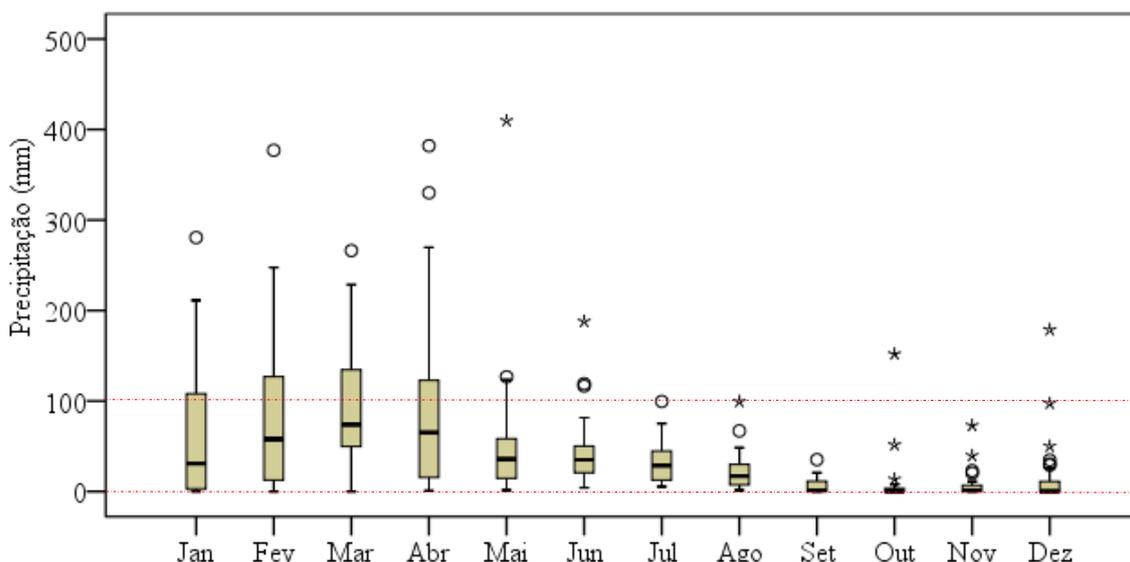


Figura 3 – Variabilidade da precipitação mensal, estação meteorológica convencional da BESJS, no período de 1985 a 2013

A região onde se encontra a bacia apresenta clima seco semiárido, solos jovens/rasos, subsolo derivado do embasamento cristalino, vegetação de caatinga, relevo ondulado e altitude variando entre 450 m a 550 m (SRINIVASAN *et al.*, 2004).

O período de estudo ocorreu entre os anos de 2000 a 2006. Foram monitorados 478 eventos de chuva e 88 eventos geradores de escoamento na microbacia M1. A Microbacia 1 (M1) possui área de 0,18 ha, declividade média em torno de 7,5% e cobertura vegetal de caatinga degradada remanescente. O solo da microbacia é Vertissolos Cromados Órticos. O escoamento superficial foi monitorado por meio de uma fossa de sedimentos que possui um vertedor triangular na sua seção final, linígrafo tipo boia e contrapeso mecânico que permite o registro do nível de água acumulado na fossa de sedimentos e que extravasa sobre o vertedor (Figura 4).



Figura 4 – Vertedor e linígrafo de boia no exutório da microbacia M1, Bacia Escola de São João do Cariri — BESJC

O monitoramento climático foi efetuado por meio de duas estações climatológicas de superfície, sendo uma automática e outra convencional (Figura 5).



Figura 5 – Estações climatológicas convencional e automática da Bacia Escola de São João do Cariri — BESJC

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 6, verificaram-se os efeitos dos veranicos na geração do escoamento superficial, considerando a relação entre precipitação e os Dias Consecutivos Secos (DCS) com $P < 1$ mm. Em geral, pode-se dividir os eventos em três classes (Figura 6ab): a primeira com eventos não geradores de escoamento, a segunda com eventos geradores de escoamento e a última com eventos incertos em relação a geração de escoamento (podendo ou não gerar escoamento). Nesse sentido quanto menor a área representativa dos eventos incertos em relação a geração de escoamento, melhor é o entendimento e a explicação dos processos geradores.

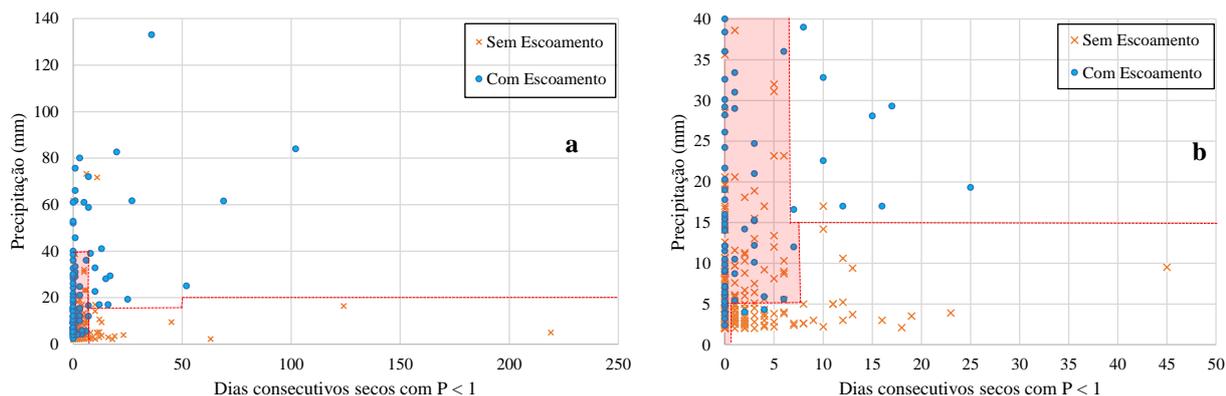


Figura 6 – Relação entre precipitação (P) e dias consecutivos secos com $P < 1$ mm para a microbacia M1 da BESJC, (a) todos os eventos e (b) detalhamento dos eventos de chuva < 40 mm e DSC < 50 dias

Na Figura 6a, foi possível observar que todos os eventos de chuva inferiores a 20 mm e com mais de 25 dias consecutivos secos com $P < 1$ mm, não foram geradores de escoamento (100% dos eventos observados). Já na Figura 6b, estudando ainda a classe de eventos não geradores de escoamento, pode-se constatar que eventos com precipitação inferior a 15 mm e mais de 7 dias consecutivos secos não foram capazes de gerar escoamento. Estudando com mais detalhamento, também comporão a classe dos não geradores de escoamento os eventos inferiores a 5 mm e mais de 1 dia consecutivo seco (com exceção de dois pequenos eventos, 23/01/02 e 08/03/02, de maior intensidade e umidade antecedente do solo elevada).

Analisando a classe dos eventos geradores de escoamentos constata-se na Figura 6a que eventos superiores a 80 mm, independentemente do número de Dias Consecutivos Secos, sempre geraram escoamentos em 81% dos casos (17 de 21 eventos). Esse comportamento deve-se as elevadas intensidades das chuvas, características das regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. Também pode-se verificar na Figura 6b que eventos com precipitação entre 15 e 40 mm e mais de 7 Dias Consecutivos Secos, geraram escoamento em 90% dos eventos. Figueiredo (2011), em estudo na Bacia Experimental de Aiuaba (BEA), estado do Ceará-Brasil, constatou que eventos de precipitação superior a 47,5 mm, independente da umidade antecedente, sempre geraram

escoamento. A chuva é um dos mais importantes parâmetros físicos que afetam a erosão do solo e o escoamento superficial em regiões tropicais (THOMAZ, 2009). Portanto, as suas características são essenciais no entendimento do escoamento e erosão do solo.

Na Figura 6b, observa-se em destaque (realce em vermelho) a classe dos eventos incertos quanto à geração de escoamento. Esses eventos são enquadrados com precipitação menores que 40 mm e com menos de 6 dias consecutivos secos. Nessa classe a geração de escoamento é incerta, sendo fortemente influenciados por uma gama de fatores, destacando-se o conteúdo da umidade antecedente do solo e a intensidade e duração da chuva. A intensidade da chuva para esses eventos menores, aliado a umidade antecedente do solo, indica o limiar para a geração de escoamento com processo Hortoniano. Alguns pesquisadores na Europa vêm tentando mensurar esse limiar para a geração de escoamento em diferentes condições. Por exemplo, em condições de parcela, os limiares para a ocorrência de chuvas erosivas foram estabelecidas em 10 a 15 mm h⁻¹ em 30 min na região da Murcia, Espanha (MARTÍNEZ-MENA *et al.*, 2001) e 4,2 mm h⁻¹ no intervalo de 10 min para a mesma região (CAMMERAAT, 2002). Já para a região de Tabernas, Almeria, Espanha o limiar foi definido como 5,6 mm h⁻¹ a 5 min de intervalo (CANTÓN *et al.*, 2001).

Embora os “números de dias consecutivos secos” apresentem uma indicação das condições de umidade do solo, eles não representam os valores reais da umidade do solo, uma vez que não considera a magnitude da chuva. Porém, conforme a Figura 6ab, o simples conhecimento da ocorrência de veranicos, representada pelos “Dias Consecutivos Secos”, e o valor da precipitação total, já foi capaz de explicar grande parte dos eventos em relação à geração de escoamento.

Os efeitos dos veranicos no escoamento podem ser analisados na Figura 7, que relaciona escoamento (em mm e %) e Dias Consecutivos Secos (DSC). Observa-se redução tanto da lâmina escoada (mm) como do *runoff* (%), com o aumento dos DCS. Quanto maior o número de dias consecutivos secos, maior é a redução da umidade antecedente do solo, aumentando a taxa de infiltração instantânea e reduzindo as chances da geração de escoamento Hortoniano. Os únicos três eventos que saíram da tendência representam os valores discrepantes ou *outliers*. Esses eventos discrepantes foram caracterizados por elevada magnitude, com precipitação atingindo 133 mm para o evento do dia 07/06/2006; e valores de 84 e 61,5 mm, para os eventos de 06/12/2005 e 16/02/2006, respectivamente. Em eventos pluviométricos extremos com elevadas intensidade prevalece o escoamento Hortoniano, gerando alta conectividade na microbacia, o que diminui a influência da umidade antecedente do solo, causando altos valores de escoamento na bacia.

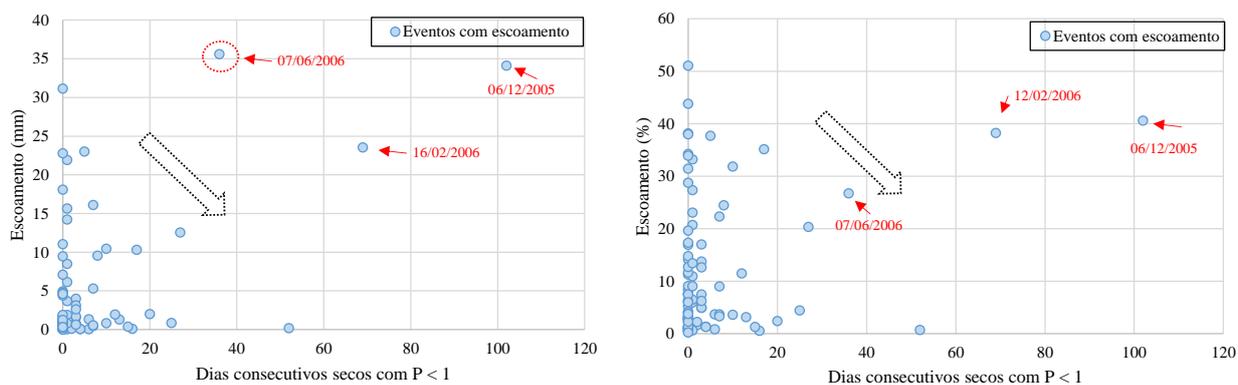


Figura 7 – Relação entre escoamento e dias consecutivos secos com $P < 1$ mm para a microbacia M1 da BESJC

Uma vez conhecido os processos de geração de escoamento, pode-se com maior precisão modelar os eventos geradores de escoamento e estimar os valores de escoamento superficial com maior segurança. Na Figura 8 são apresentadas as relações entre a precipitação e lâmina escoada. Conforme já relatado, eventos de até 80 mm podem até não gerar escoamento superficial (Figura 6 e Figura 8), sendo esses efeitos atribuídos principalmente ao teor de umidade antecedente do solo, fortemente influenciado pela ocorrência de veranicos. Analisando apenas o valor da precipitação total não é possível avaliar se ocorrerá ou não escoamento, e principalmente inferir quanto será escoado. Porém, correlacionando apenas eventos geradores de escoamento, obteve-se razoável coeficiente de determinação ($R^2 = 0,6461$) entre precipitação e escoamento (Figura 8). Esses resultados mostram que o entendimento dos eventos geradores de escoamento, podem ajudar na estimativa do escoamento.

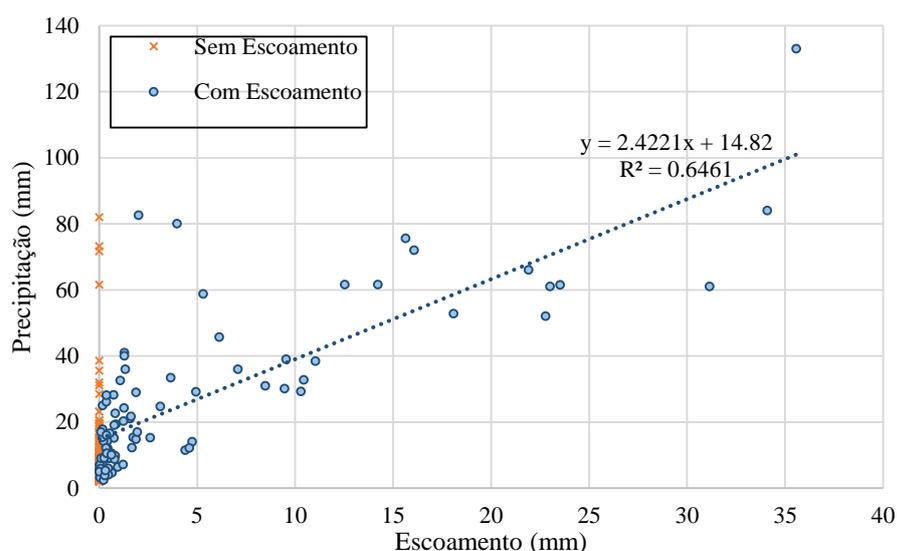


Figura 8 – Relação entre escoamento e precipitação para a microbacia M1 da BESJC

4. CONCLUSÕES

Eventos de alta magnitude com precipitação superiores a 80 mm independentemente do número de dias consecutivos secos foram capazes de gerar escoamento em 81% dos casos.

Eventos de precipitação menores que 40 mm e com menos de 6 dias consecutivos secos, foram enquadrados na classe dos eventos incertos quanto a geração de escoamento, podendo ou não gerar escoamento. Nesta classe de eventos foi mais forte a influência da intensidade de chuva e da umidade antecedente do solo que é dependente da ocorrência dos veranicos.

Quanto maior o número de dias consecutivos secos que antecedente a ocorrência de um evento com escoamento, maior a tendência de redução do coeficiente de escoamento. Indicando a forte influência da ocorrência dos veranicos na geração do escoamento e no volume total escoado.

Os resultados preliminares desta análise indicam que a ocorrência de veranicos foi um dos fatores controladores da geração de escoamento, mas que são necessários estudos futuros para ampliar o conhecimento destes processos.

AGRADECIMENTOS

As pesquisas na Bacia Escola de São João do Cariri são financiadas pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO), FINEP, CNPq e CAPES.

BIBLIOGRAFIA

ARAGÃO, R. (2000). *Estimativa dos Parâmetros do Modelo Distribuído WESP com os Dados da Bacia Experimental de Sumé - PB*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, 147p.

ARAUJO, K. D.; ANDRADE, A. P.; RAPOSO, R. W. C; ROSA, P. R. O. PAZERA JR, E. Análise das condições meteorológicas de São João do Cariri no semiárido paraibano. *Revista Geografia*, Londrina-PR, v. 14, n. 1, p. 61-72, 2005.

ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO CASES, A.; BOIX-FAYOS, C.; LAVÉE, H.; SARAH, P. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes (Alicante, Spain). *Geomorphology*, v. 101, n. 4, p.595-606, 2008.

CAMMERAAT, L.H. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 27, p.1201–1222, 2002.

CANTÓN, Y.; DOMINGO, F.; SOLÉ-BENET, A.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, v. 252, p. 65-84. 2001.

- CHAMIZO, S.; CANTÓN, Y.; RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; DOMINGO, F.; ESCUDERO, A. Runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: A complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. *Journal of Hydrology*, v.452–453, p.130–138, 2012.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGrawHill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Singapore, 572p.
- FIGUEIREDO, E. E. (1998). *Scale effects and land use change impacts in sediment yield modeling in a semi-arid region of Brazil*. Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK.
- FIGUEIREDO, J. V. *Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada*. 84 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2011.
- MARTÍNEZ-MENA, M.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Hydrological and erosional response to natural rainfall in a degraded semiarid area of South-East Spain. *Hydrological Processes*, v. 15, p. 557-571, 2001.
- SANTOS, J. Y. G. *Avaliação das perdas de água e solo no semiárido Paraibano mediante chuva simulada e modelagem Hidrossedimentológica*. 115 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2011.
- SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. O.; SANTOS, C. A. G.; FIGUEIREDO, E. E.; REGO, J. C.; ALCÂNTARA, H. M. de.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; ARAGÃO, R.; MELO, R. N. T.; CRUZ, E.; GUEDES, G. A.; LACERDA, I.; SANTOS, L. L. dos.; ALVES, F. M. (2004) *Bacia Experimental de São João do Cariri – PB*. In: *Implantação de bacias experimentais no semi-árido* – IBESA, FINEP / FUNPEC 22010453-00.
- THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 130, p. 23–30, 2009.