

AVALIAÇÃO DAS INTENSIDADES DE EVENTOS CHUVOSOS NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA - PARAÍBA

Emerson da Silva Freitas¹; Cristiano das Neves Almeida¹; Luis Romero Barbosa¹; Ângelo Miguel Fernandes Leal¹

RESUMO --- Este artigo trata da análise da intensidade de eventos chuvosos e de seus subeventos na bacia experimental do riacho Guaraíra, localizada na região litorânea sul do Estado da Paraíba. Para tanto, foram utilizados registros pluviográficos de quatro anos monitorados na escala sub-horária. A metodologia consistiu em definir inicialmente eventos chuvosos utilizando o critério do mínimo intervalo tempo entre eventos (MIT do inglês *Minimum Inter-event Time*) e lámina mínima precipitada de 2,5 mm. Foram então determinados seus subeventos, utilizando também o MIT com tempo menores. Foram utilizados MIT de 6, 12 e 24 horas para o eventos e para os subeventos 1, 3 e 6 horas. Em seguida, foram comparadas as intensidades dos eventos e seus subeventos, além de outras características dos eventos chuvosos. Os resultados mostraram que a intensidade do evento chuvoso, em geral, apresentou baixos valores, porém a intensidade média dos subeventos e dos eventos apresentaram valores bem maiores, podendo ser até 8 vezes maior. Conclui-se desta forma que, este tipo de pesquisa é importante para estudos hidrológicos que considerem a geração do escoamento superficial e a produção de sedimento, variáveis essas que dependem fortemente da intensidade da precipitação.

ABSTRACT --- This paper analyzes the intensity of rainfall events and their sub-events in the Guaraíra river experimental watershed, located in the southern coastal region of the Paraíba state. For this purpose, it was used rainfall data in sub-hourly scale during four years. Firstly, rainfall events were defined using the criterion of the minimum inter-event time and minimum depth of 2.5 mm. Then, sub-events were determined also using the MIT with smaller time. The used MIT were 6, 12 and 24 hours for the events and for sub-events 1, 3 and 6 hours. Rainfall intensity were then compared with the intensity of their sub-events, other characteristics of the rainfall events were also analyzed. Results showed that the intensity of the rainfall event, in general, showed low values, but the average intensity of the sub-events and events are much higher, and can be until 8 times greater. We conclude therefore that this type of research is important for hydrological studies that consider the runoff generation and sediment production, variables that depend heavily on rainfall intensity.

Palavras-chave: bacia experimental, intensidade, eventos chuvosos.

¹Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental. Cidade Universitária, s/n, Castelo Branco. João Pessoa (PB). Email: almeida74br@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Os estudos dos processos hidrológicos e hidrogeológicos em bacias hidrográficas vêm sendo desenvolvidos de maneira detalhada por pesquisadores de instituições do Nordeste brasileiro, utilizando bacias representativas e experimentais, porém em quantidade ainda pequena. É o caso dos projetos executados pela Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA) em que sete bacias experimentais (REHISA, 2004) foram instaladas em diversas áreas do Nordeste do Brasil, mas poucas bacias experimentais permanecem em operação. Esse tipo de pesquisa é importante para a região, pois fornece ao longo do tempo informações valiosas sobre a hidrologia local, o que permite um melhor entendimento do ciclo hidrológico, e posterior tomada de decisão.

Em bacias experimentais, o monitoramento das variáveis hidrológicas é feito com boas resoluções espaciais e temporais, o que consequentemente permitem um estudo detalhado das variáveis. No caso da bacia experimental do riacho Guaraíra, localizada na região litorânea sul do estado da Paraíba, os pluviógrafos instalados medem a precipitação na escala sub-horária.

Diversos estudos vêm sendo realizados no sentido de melhor entender o comportamento da precipitação (COUTINHO et al. 2014; COSCARELLI e CALOIERO, 2012; HAILE *et al.*, 2011; DUNKERLEY, 2008a). O estudo da precipitação e suas características na escala temporal sub-horária permitirá, posteriormente, o entendimento do processo de geração de escoamento e produção de sedimentos, visto que a precipitação a partir de certos valores limites desencadeia esses os processos.

No contexto internacional, há diversos estudos que objetivam entender as relações entre precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos. De modo a investigar o impacto de diferentes intensidades, durações e intervalos sem precipitações, na geração de vazões e erosão do solo, RAN et. al. (2012) estudou a influência do movimento da precipitação, considerando cenário de precipitação com posição fixa (i.e. PFRS), de precipitação movendo rio acima (i.e. MURS) e de precipitação movendo rio abaixo (i.e. MDRS). Eles puderam constatar os seguintes resultados: uma forte correlação entre o tempo de pico de erosão e o tempo de pico de escoamento nos cenários MDRS; ocorrência simultânea de picos de escoamento e de erosão nos MDRS, e já nos PFRS e MURS, surgimento inicial do pico erosão sobre o de escoamento; mudança do processo de erosão, de transporte limitado para destacamento limitado, no valor de pico de escoamento de $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

JEBARI et al. (2012) afirma que, a falta de dados de precipitação num nível de detalhe suficiente é uma barreira para a estimativa correta da perda de solo. Assim, para contribuir com estudos nessa área, eles aplicaram um modelo de desagregação da precipitação em cascata, para estimar a perda de solo numa pequena bacia hidrográfica, localizada na região Mediterrânea da

Tunísia. Os resultados preliminares mostraram que o modelo superestimou os processos erosivos em relação à lâmina precipitada e à intensidade máxima, mostrando assim a necessidade de testar a metodologia em outras áreas de estudo.

WEGGEL & RUSTOM (1992) fizeram um extenso levantamento do estado da arte sobre o tema erosão devido à precipitação e ao escoamento superficial. Em diversas etapas desse artigo, os autores mostram a importância que a lâmina precipitada e sua intensidade têm no processo de erosão, chegando a discutir questões sobre a energia cinética da gota d'água da precipitação e suas diferentes formas de desagregação do solo. Outra revisão sobre o tema também foi apresentada por KINNELL (2005), onde também é mostrada a importância que as características da precipitação têm no processo de erosão.

RÖMKENS et al. (2001) realizaram uma série de simulações em um experimento, a fim de quantificar a influência de diversos fatores sobre a erosão, sendo a intensidade da precipitação um dos fatores estudado. Através da utilização de um simulador de precipitação, quantificou-se o efeito de eventos chuvosos com diferentes intensidades sobre a perda de solo. Eles identificaram que, a concentração de sedimentos cresceu gradualmente para uma intensidade de 45 mm.h^{-1} e bruscamente para uma intensidade de 60 mm.h^{-1} , mostrando assim a importância da intensidade sobre processos erosivos. AKSOY et al. (2012) também realizou experimentos em laboratório com um simulador de precipitação capaz simular diversas características da precipitação: intensidade e sua uniformidade espacial, tamanho e velocidade da gota d'água, e energia cinética da precipitação em condições naturais, e verificar a influência dessas características na produção de sedimentos.

Já BAARTMAN et al. (2012) aplicaram o modelo de base física openLISEM, baseado no modelo LISEM (De Roo et al., 1996a, 1996b) para uma bacia hidrográfica de tamanho médio (cerca de 50 km^2) na Espanha, para avaliar os efeitos da duração da precipitação e sua intensidade sobre o processo de erosão. Eles concluíram que o modelo foi capaz de simular os eventos chuvosos com diferentes magnitudes, porém a calibração do modelo foi necessária para cada evento.

Com relação à precipitação propriamente dita, diversos estudos procuram entender essa variável, suas variações no espaço e/ou no tempo, e suas características, como lâmina precipitada, duração, frequência e intensidade. Diante disso, a literatura contém uma riqueza de estudos em que as propriedades dos eventos chuvosos se mostram importantes para os processos hidrológicos, muito embora uma menor exploração científica tenha sido proporcionada na definição e análise das propriedades dos eventos chuvosos, ou mesmo sobre sua variabilidade espaço-temporal (DUNKERLEY, 2008a). Para tanto, definir e analisar as propriedades dos eventos chuvosos e sua variabilidade espaço-temporal é essencial para o desenvolvimento de uma correta interpretação dos

diferentes tipos de precipitações e de seus impactos nos processos ambientais, em regiões geográficas das mais distintas naturezas (DUNKERLEY, 2008a). Assim, a compreensão dos efeitos de escala e agrupamento dos tipos de evento pode também ajudar a desenvolver um melhor entendimento sobre a ocorrência de enchentes e secas, bem como uma melhor compreensão de como as mudanças climáticas as afeta. Deste modo, as intensidades elevadas de precipitação e longos intervalos entre dias consecutivos com precipitação diária superior à $1\text{mm}.\text{dia}^{-1}$ implicam no agrupamento de enchentes e secas (ZHANG et al., 2012).

Nesse âmbito, a definição de evento chuvoso pelo MIT (i.e. mínimo intervalo de tempo entre eventos chuvosos) se mostra importante, sobretudo, na intensidade média. Pois, ao passo que o MIT varia de 15 minutos até 24 horas, a intensidade média pode diminuir em 46% e o número de eventos chuvosos em 22% (DUNKERLEY, 2008b). Esse último que tem sido inversamente relacionado à altitude (HAILE et al., 2011).

Por sua vez, simulações de eventos chuvosos com intensidades variáveis e perfis de eventos distintos têm mostrado que perfis com pico tardio provocam os maiores volume médio e pico máximos de escoamento superficial (DUNKERLEY, 2012). Enquanto isso, os eventos não caracterizados (i.e. sem forma definida) têm exibido as maiores durações, picos máximos e intensidades médias, além de serem os que proporcionalmente mais contribuíram para as lâminas mensais precipitadas. (COUTINHO et al. 2014).

Além disso, as características das cheias diferem se obtidos de dados horários e diários tanto para eventos chuvosos isolados quanto para os complexos, embora a existência de um limiar na precipitação efetiva se mostre evidente para a ocorrência de eventos de cheias, após períodos relativamente secos (KOSTKA e HOLKO, 2003).

A avaliação de uma curta faixa de eventos permite a investigação dos padrões espaço-temporais da precipitação no total anual precipitado e na estimativa da sazonalidade das precipitações. Já a compreensão dos efeitos das variações espaço-temporal das precipitações se mostra também útil, visto que a variabilidade influencia nas características dos processos hidrológicos, e que seus efeitos não são uniformes nos contribuintes do balanço hídrico das bacias hidrográficas (SHI et al., 2013; ZHAO et al., 2013)

Considerando essa revisão bibliográfica, este artigo apresenta um estudo para entender melhor a intensidade de eventos chuvosos e suas flutuações, na bacia experimental do riacho Guaraíra, na Paraíba. Para tanto, dados monitorados de precipitação na escala sub-horária de quatro anos foram utilizados.

MÉTODOS E MATERIAIS

Nesta seção do artigo são descritas a área de estudo escolhida para a realização da pesquisa e a metodologia utilizada para a determinação dos eventos chuvosos e seus subeventos, assim como as suas características analisadas.

Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia experimental do riacho Guaraíra (BEG), localizada na bacia representativa do rio Gramame, e possui uma área aproximada de 5,84 km², conforme Figura 1. Nessa figura, a bacia representativa do rio Gramame se situa parte no município de Alhandra e parte no de Pedras de Fogo entre as coordenadas UTM Norte 9.190,80 km e 9.195,25 km, e Leste 274,50 km e 277,00 km (Datum SAD 69), distante 40 km de João Pessoa, capital do estado da Paraíba.

Sua área é ocupada principalmente por remanescentes de vegetações de Capoeira e de Mata Atlântica, cana-de-açúcar e abacaxi (LIRA et al., 2003). Suas demais características físicas, quetêm grande influência no comportamento hidrológico da mesma, foram descritas detalhadamente por GOLDFARB et al. (2002).

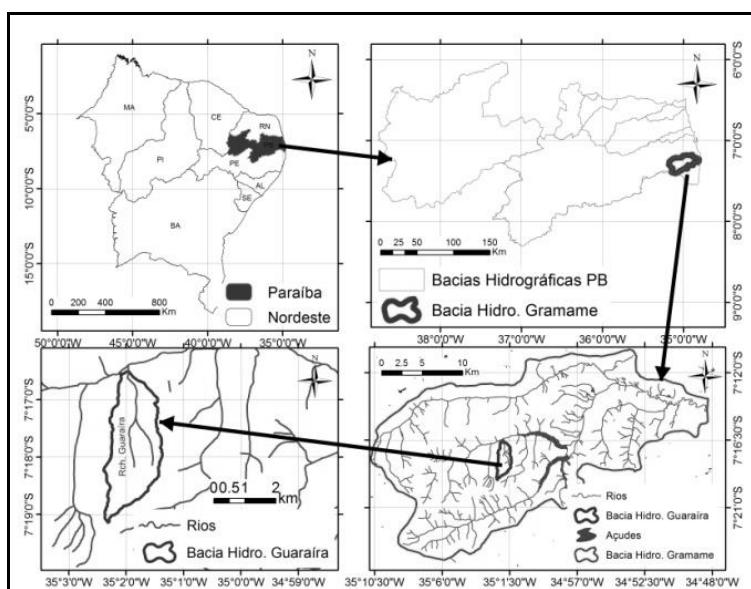


Figura 1 - Localização da Bacia Experimental do riacho Guaraíra e da Bacia Representativa do rio Gramame.

A maior parte da bacia hidrográfica encontra-se assentada sobre os sedimentos da Formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas. A classificação climática para a região, de acordo com Köeppen, indica para um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com precipitação predominante de outono-inverno com uma

precipitação média anual de aproximadamente 1.600 mm (PDRH, 2000). Sua temperatura apresenta-se elevada durante o ano todo, com uma média de 26°C.

No mais, a BEG se encontra próxima à barragem de Gramame-Mamuaba, cuja capacidade de armazenamento gira em torno da ordem de 56 milhões de m³, de importância superlativa para a região metropolitana de João Pessoa, pois é por meio dela que cerca de um quarto da população do Estado da Paraíba é abastecida (PDRH, 2000).

Monitoramento da precipitação

O monitoramento da precipitação na escala sub-horária vem sendo realizado na bacia experimental do riacho Guaraíra desde 2003. As medições são realizadas em estações pluviográficas da Campbell, equipadas com sensor de precipitação do tipo *tipping-bucket*, sensor de umidade do solo do tipo TDR (*Time Domain Reflectometry*), *datalogger*, bateria e painel solar. A precipitação é medida a cada minuto, e armazenada a cada minuto de sua ocorrência e acumulada a cada seis horas. A precipitação armazenada a cada minuto é então denominada precipitação instantânea. Com uma frequência que varia de 15 a 20 dias vai-se a campo para coletar as informações armazenadas no *datalogger*, e verificar as condições de funcionamento das estações de monitoramento de forma a se reduzir a perda de dados por qualquer motivo. Os dados coletados passam por uma análise prévia para verificar se algum dado foi perdido, e são então armazenados no banco de dados do PostgreSQL. Ficando então disponíveis para o uso.

Metodologia para análise dos dados

Para o estudo realizado, foram utilizados dados de precipitação instantânea de 4 anos, de 2004 a 2007. Esses dados foram processados numa planilha do Excel desenvolvida especificamente para este estudo. Nessa planilha foram programadas funções para:

1. Separar os eventos chuvosos em função dos critérios de lâmina mínima precipitada e do mínimo intervalo de tempo entre eventos (MIT), que é um intervalo de tempo mínimo entre o fim de um evento chuvoso e início de outro. Na planilha programada o MIT pode variar de 1 minuto até 24 horas. Para este estudo foi utilizada a lâmina mínima precipitada de 2,5 mm e apenas 3 MIT's, são eles: 6, 12 e 24 horas. Esses critérios foram os mesmos utilizados por DUNKERLEY (2008). Os eventos chuvosos então separados contam com informações sobre: ano, dia juliano de ocorrência, hora, valor da precipitação, e quantidade de registro do evento. A Figura 2 exemplifica a separação de eventos e subeventos;
2. Calcular as características dos eventos chuvosos, a saber: precipitação acumulada, duração e intensidade;

3. Determinar os subeventos de cada evento chuvoso, utilizando o mesmo critério para definição dos eventos, só que nesse caso o MIT é utilizado para definir os subeventos (Figura 2). Para este estudo, na definição dos subeventos foram utilizados MIT de 6, 12 e 24 horas;
4. Calcular as características de cada subevento, a saber: precipitação acumulada, duração e intensidade, quantidade de subeventos, intensidade média dos subeventos, duração média dos subeventos, intervalo médio de tempo sem precipitação;
5. Compilar todos os dados e resultados numa tabela, para realizar análises estatísticas dos eventos e seus subeventos, e procurar compreender o comportamento da intensidade e suas flutuações em eventos e subeventos chuvosos.

Neste artigo, como o principal objetivo é analisar a intensidade de eventos chuvosos e suas flutuações, definem-se os seguintes termos:

1. Intensidade do evento chuvoso: relação entre a lâmina total precipitada e sua duração;
2. Intensidade dos subeventos chuvosos: relação entre a lâmina total de cada subevento e sua duração;
3. Intensidade média dos subeventos chuvosos: valor médio das intensidades dos subeventos chuvosos, que compõe um evento chuvoso;

Esses 3 termos, embora muito similares, na prática apresentam valores distintos que dependem do total precipitado em cada evento, subevento, suas durações e os intervalos de tempo sem precipitação.

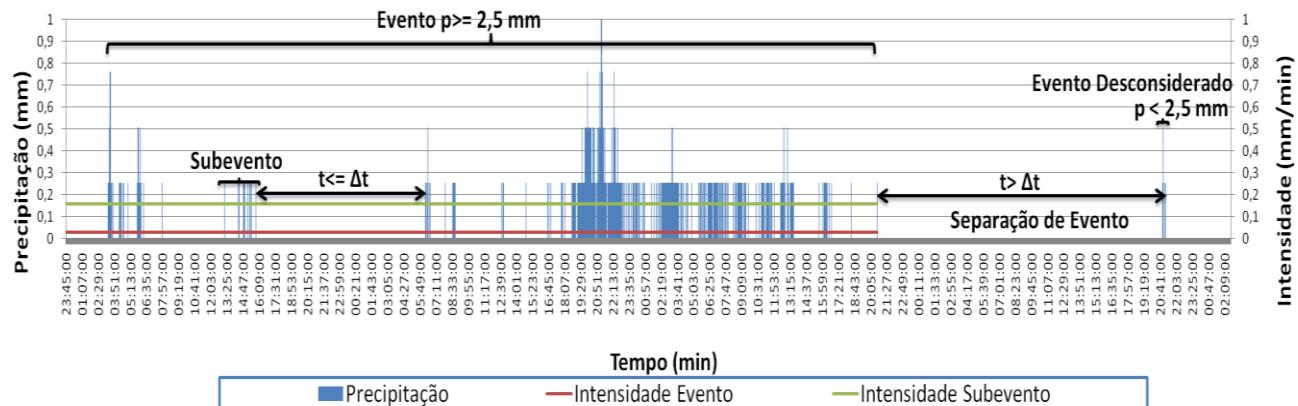


Figura 2 – Definição do evento chuvoso utilizado o critério do mínimo intervalo tempo entre eventos (MIT) e mínima lâmina precipitada (MLP).

RESULTADOS E DISCUSÃO

Inicialmente, apresenta-se a Tabela 1 que contém: os anos cujas séries de dados foram analisadas neste estudo; as precipitações anuais registradas na estação pluviográfica; as quantidades de eventos estudados para mínimo intervalo de tempo (MIT) entre eventos de 6, 12 e 24 horas; e a

soma das precipitações totais destes eventos, após a aplicação dos critérios de MIT e lâmina mínima precipitada.

Tabela 1 - Precipitação anual registrada pela estação, quantidade e precipitação total dos eventos analisados.

Ano	Prec. Anual (mm)	Quant. de eventos estudados para cada MIT estudado			Precipitação total anual (mm) para cada MIT do evento		
		6 h	12 h	24 h	6 h	12 h	24 h
2004	1.249,43	58	48	37	1.188,97	1.199,64	1.229,87
2005	938,02	71	66	44	814,32	847,60	896,11
2006	1.426,97	103	85	57	1.340,61	1.368,04	1.402,59
2007	1.661,67	96	74	44	1.568,45	1.611,88	1.644,65

Da tabela anterior pode-se ver que à medida que o MIT aumenta, o número de eventos diminui, por outro lado os valores de precipitação total anual analisada aumentam. Isso porque quando o MIT é menor, registros de precipitação são descartados da análise. De qualquer forma, nota-se que, independente do MIT, a precipitação total analisada dos eventos não é muito modificado. A redução média da quantidade de precipitação monitorada em campo e analisada é cerca de 95%, isso significa que cerca de 95% da precipitação medida em campo foi analisada neste estudo.

Na Tabela 2 apresenta-se um exemplo dos resultados finais obtidos das características dos eventos e de seus subeventos analisados. Similarmente, 4 tabelas com essas características foram geradas, porém não são aqui apresentadas. Para análise dos dados dessas tabelas, são exibidos, posteriormente, gráficos e tabelas com resultados que as sintetizam.

Tabela 2 - Exemplo das características determinadas dos eventos e seus subeventos (ano 2004, MIT 24 horas, MIT subevento 1 hora).

Id	Dia Juliano	Horário Inicial (hh:mm:ss)	Precipit ação (mm)	Duraç ão (min)	Intensi dade (mm/h)	Nº de Sub eventos	Duração média dos Subeventos (min)	Intensidade média dos Subeventos (mm/h)	Duração Seca entre Subeventos (min)
1	1	08:52:00	3,556	180	1,185	2	72	9,015	108
2	5	06:55:00	2,794	1230	0,136	5	29	13,045	1201
3	8	00:32:00	11,684	3548	0,198	11	389	7,063	3159
4	12	01:24:00	74,422	4074	1,096	8	625	11,479	3449
5	16	02:31:00	2,032	1251	0,097	3	87	5,925	1164
6	18	14:27:00	3,556	189	1,129	2	114	12,178	75
7	19	22:15:00	62,738	4634	0,812	11	1012	7,84	3622

A Tabela 3 a seguir apresenta valores médios de intensidades para os 4 anos analisados.

Tabela 3 - Valores médios de intensidade dos eventos e intensidade média dos subeventos, e relação entre essas variáveis.

Média da intensidade dos eventos (mm.h^{-1}) - ie			Média da intens. média dos subeventos (mm.h^{-1}) – imse			<i>Relação imse/ie</i>					
MIT	MIT Subevento		MIT	MIT Subevento		MIT	MIT Subevento				
evento	1 h	3 h	6 h	evento	1 h	3 h	6 h	evento	1 h	3 h	6 h
6 h	2,85	2,85	-	6 h	9,41	5,55	-	6 h	3,3	1,9	-
12 h	1,87	1,87	1,87	12 h	9,70	6,37	3,77	12 h	5,2	3,4	2,0
24 h	1,26	1,26	1,26	24 h	10,00	7,46	5,14	24 h	8,0	5,9	4,1

Da tabela anterior, pode-se ver que à medida que MIT do evento aumenta, a média de intensidade dos eventos para os 4 anos estudados diminui, enquanto que o valor médio da intensidade média dos subeventos aumenta. Porém, esses aumento e redução ocorrem em taxas bem distintas, a redução é de mais de 100% (MIT de 6 para 24 h), enquanto que o aumento é de apenas 6% (MIT de 6 para 24 h). Já na seção da direita da última tabela, tem-se a relação entre os valores médios da intensidade média dos subeventos e a intensidade dos eventos, na qual certos comportamentos são identificados: (1) à medida que o MIT dos eventos aumenta, essa relação também aumenta, indicando que intensidade dos eventos é subestimada com relação à dos subeventos; (2) já à medida que o MIT do subevento aumenta, essa relação diminui, ou seja, para maiores MIT dos subeventos há uma tendência dessas duas intensidades se aproximarem.

Esse último comportamento pode ser melhor entendido nas três próximas figuras, que mostram um mesmo evento e sua classificação para MIT de 1, 3 e 6 horas.

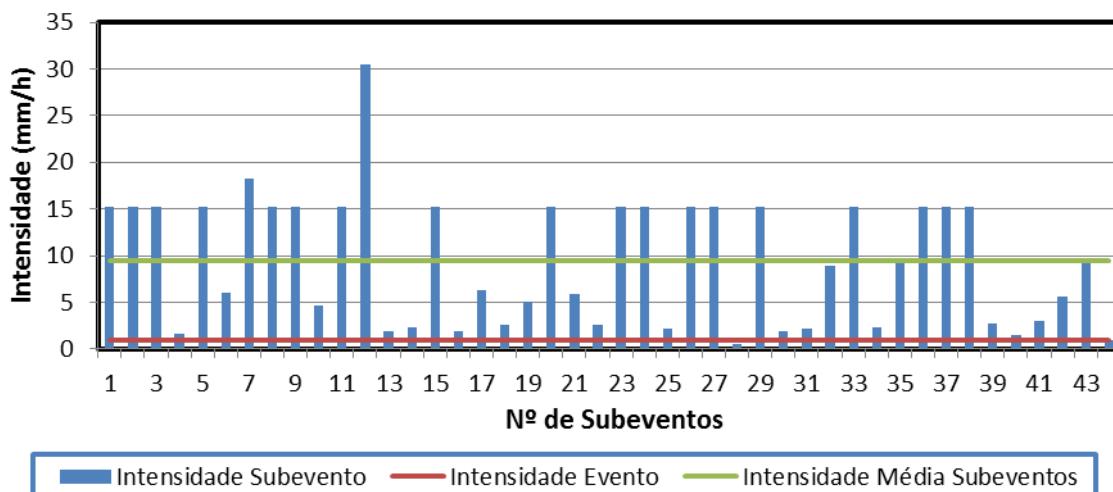


Figura 3 - Intensidade do evento chuvoso, intensidade dos subeventos e intensidade média dos (MIT evento: 24 horas, MIT Subevento: 1 hora, ano de referência 2005)

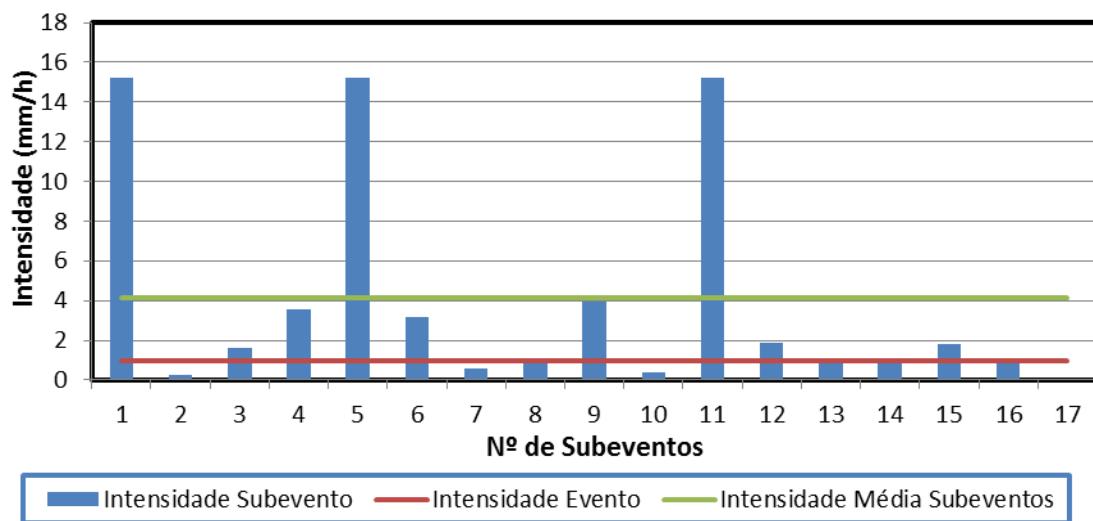


Figura 4 - Intensidade do evento chuvoso, intensidade dos subeventos e intensidade média dos (MIT evento: 24 horas, MIT Subevento: 3 hora, ano de referência 2005)

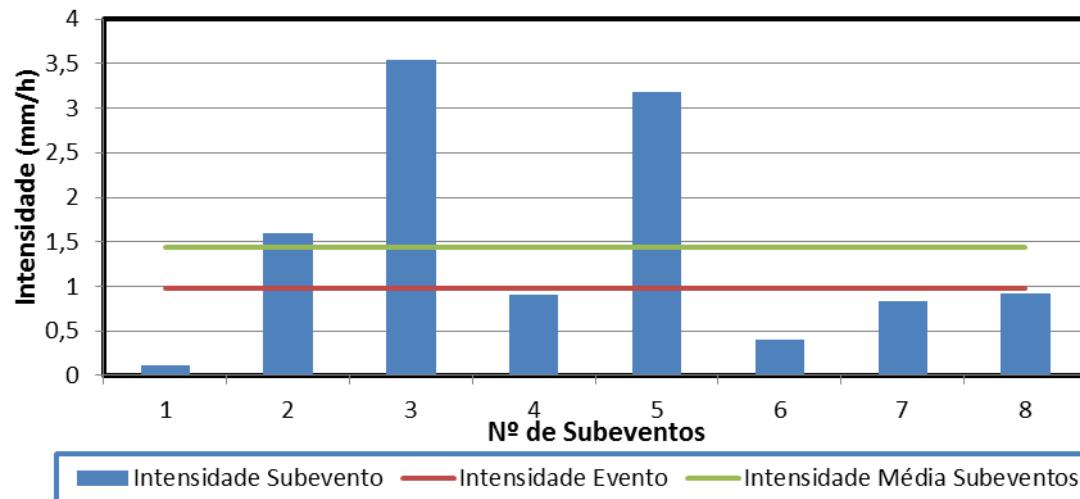


Figura 5 - Intensidade do evento chuvoso, intensidade dos subeventos e intensidade média dos (MIT evento: 24 horas, MIT Subevento: 6 hora, ano de referência 2005)

Analizando-se essas três últimas figuras é possível compreender melhor quão distintos são os três conceitos aqui utilizados: intensidade do evento chuvoso, intensidade dos subeventos chuvosos e intensidade média dos subeventos chuvosos. Nota-se também que, à medida que o MIT dos subeventos aumenta, as diferenças entre esses valores de intensidade diminuem. Pode-se ver ainda que, a intensidade de alguns eventos apresenta valores bem superiores à intensidade do evento e a intensidade média dos subeventos, como é o caso do 12 subevento da Figura 3, em que o valor da intensidade do subevento é maior que 30 mm.h^{-1} , enquanto que os valores das duas outras intensidades são menores que 10 mm.h^{-1} .

As próximas figuras apresentam gráficos com variações que ocorrem por ano.

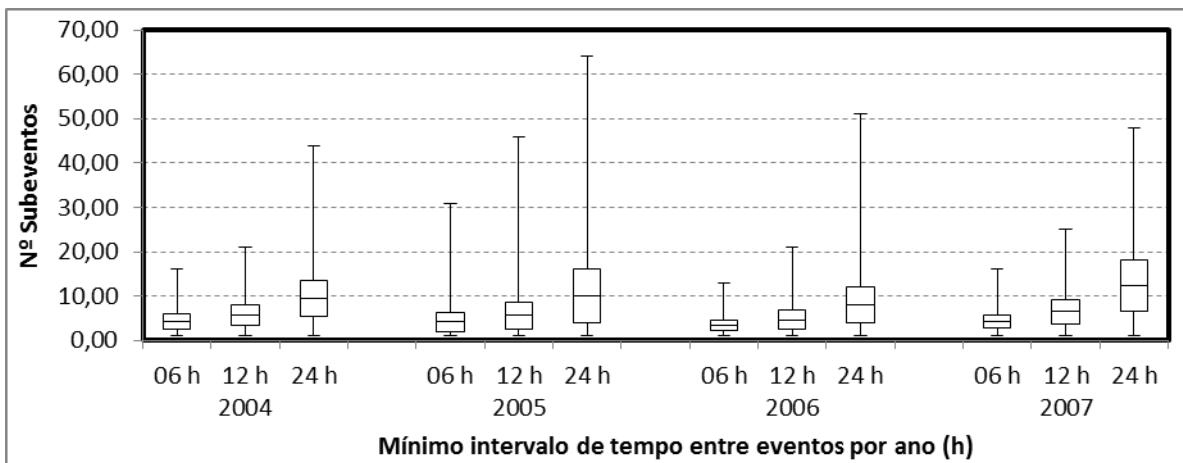


Figura 6 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da quantidade de subeventos (MIT do subevento: 1 hora)

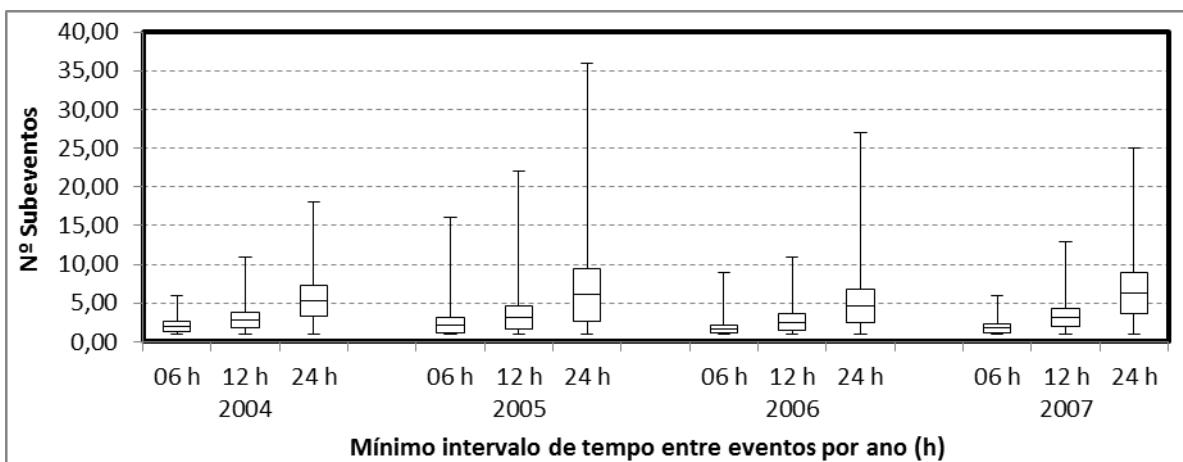


Figura 7 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da quantidade de subeventos (MIT do subevento: 3 horas)

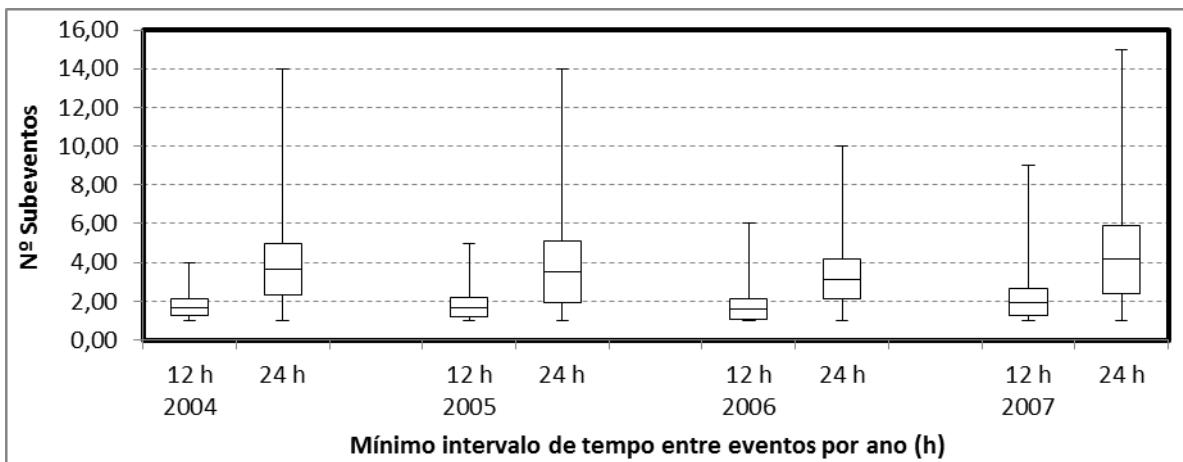


Figura 8 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da quantidade de subeventos (MIT do subevento: 6 horas)

Analizando-se os três gráficos anteriores pode-se ver que, independente do MIT do subevento considerado e do ano, a média da quantidade de subeventos sempre cresce à medida que o MIT do evento aumenta, sua dispersão da mesma maneira. Já a quantidade máxima de subeventos

reduz significativamente ao passo que o MIT do subevento aumenta, para um MIT do subevento de 1 hora, no ano de 2005, chega-se a ter mais que 60 subeventos (Figura 6), enquanto que na Figura 8 (MIT do subevento de 6 horas) a quantidade máxima de subeventos ocorre no ano de 2007 é igual a 15.

Com relação às intensidades médias dos subeventos, são apresentadas as três próximas figuras.

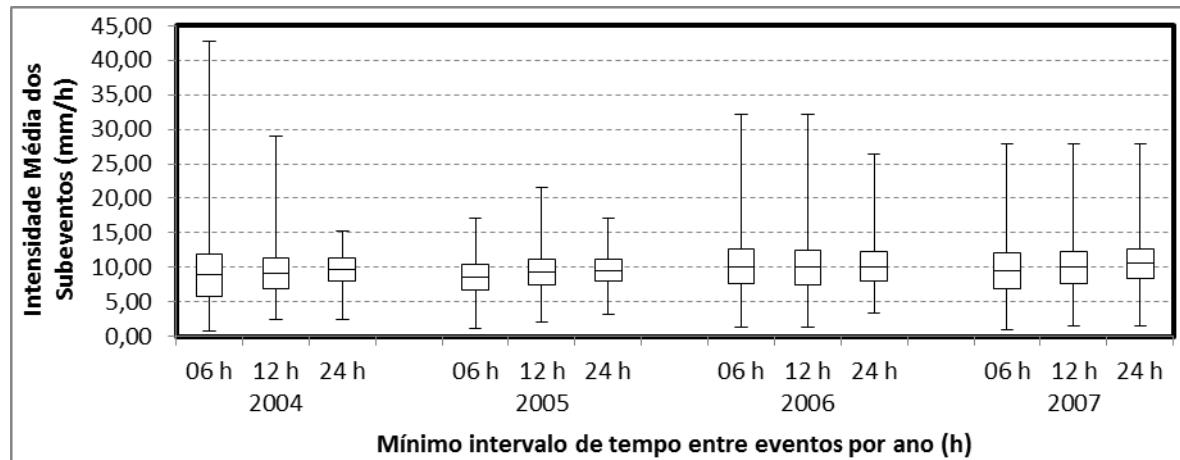


Figura 9 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da intensidade média dos subeventos (MIT do subevento: 1 hora)

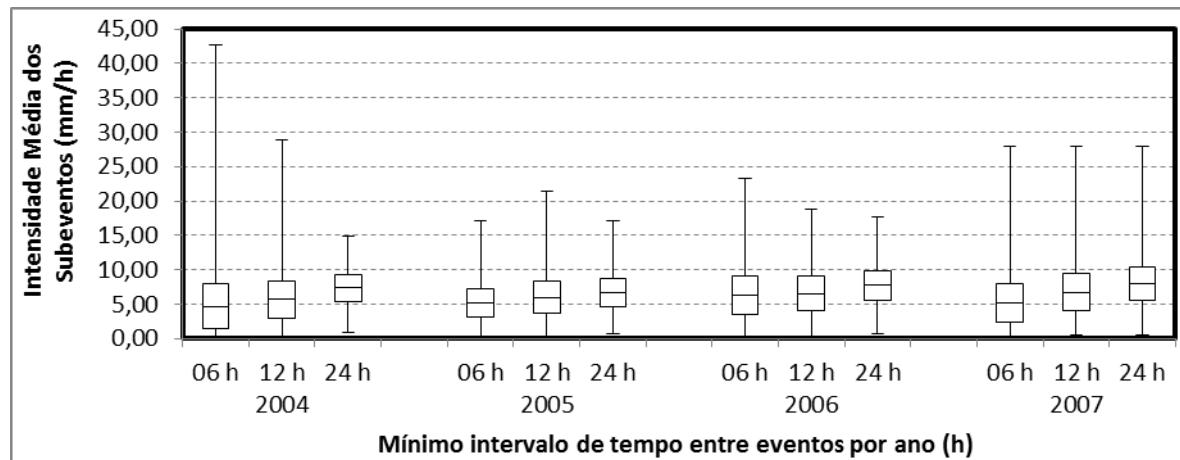


Figura 10 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da intensidade média dos subeventos (MIT do subevento: 3 horas)

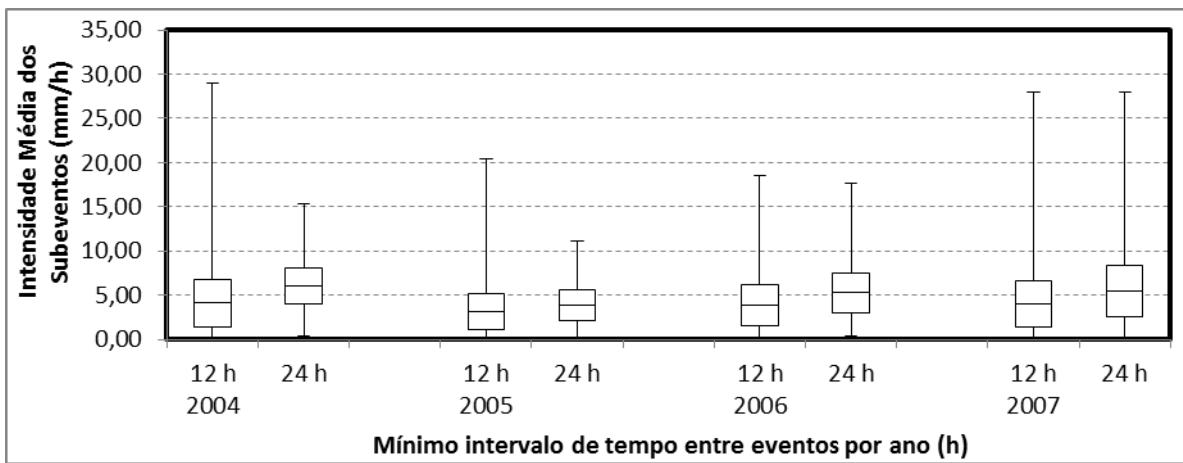


Figura 11 - Gráfico do tipo BoxPlot com os valores mínimo, média menos desvio padrão, média, média mais desvio padrão, e máximo da intensidade média dos subeventos (MIT do subevento: 6 horas)

Em relação à intensidade média dos subeventos apresentadas nas três últimas figuras pode-se ver que, diferença entre os valores máximos e mínimos diminuem ao passo que o MIT do evento aumenta. Porém, analisando-se os valores máximos das mesmas figuras, pode-se que os valores máximos sempre são significativamente maiores que a média, podendo chegar a ordem de até 6 vezes, como no caso do ano de 2004 para um MIT de evento de 12 horas e MIT de subevento de 6 horas (Figura 11).

Na Figura 9 pode-se ver que quando o MIT do subevento é menor (*i.e.* 1 hora) os valores médios das intensidades médias dos subeventos não variam tanto para diferentes MIT dos eventos, apresentando valores entre 9 e 11 mm.h⁻¹, aproximadamente. Porém, quando o MIT do subevento aumenta, *e.g.* para 3 horas, os valores de intensidade média dos subeventos crescem à medida que o MIT do evento aumenta (Figura 10).

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo realizado na bacia experimental do riacho Guaraíra com dados de quatro anos de precipitação (2004-2007), na escala sub-horária, avaliando a intensidade da precipitação e suas flutuações, para diferentes intervalos de tempo mínimo entre eventos e entre subeventos. A principal conclusão é que, há uma diferença significativa entre as intensidades de um evento chuvoso, de seus subeventos e a média dos subeventos, sendo essas diferenças entre esses três valores importantes na geração de escoamento superficial, na produção de sedimento e na variação da umidade do solo.

Outra conclusão diz respeito ao aumento do mínimo intervalo de tempo entre eventos (MIT) que reduz a quantidade de eventos, pois eventos isolados são agregados a outros eventos, compondo

assim um novo evento de maior duração. Porém a quantidade total da precipitação analisada não é reduzida na mesma proporção.

A definição dos eventos de precipitação, mediante o estabelecimento dos critérios de MIT e MLP, pode influenciar os resultados da resposta hidrológica gerada por modelagem, uma vez que a escolha de valores de MLP's altos e MIT's baixos podem eliminar ou desagregar pulsos de precipitação que possam promover uma resposta de vazão na bacia. No mais, vale salientar que as características geomorfológicas e de umidade antecedente do terreno devem ser lavadas em consideração na determinação dos critérios mencionados, pois solos em condição úmida tendem a promover respostas hidrológicas mais sensíveis sob pequenos picos de precipitação.

Analizando os dados estatisticamente para o caso estudado, a quantidade de eventos foi reduzida em quase 50% do MIT de 6 horas para o MIT de 24 horas, enquanto que em média apenas 5% da precipitação anual foi desprezada da análise. As relações entre as intensidades médias dos subeventos e às intensidades dos eventos apresentam valores da ordem de 2 até 8, mostrando que a intensidade média dos eventos podem ser subestimadas em média 4 vezes, mas podendo chegar até a 8 vezes. Essa redução na intensidade de um evento chuvoso deve apresentar impacto direto na geração do escoamento superficial.

Essas conclusões apontam para a necessidade de estudos experimentais mais detalhados sobre a influência da intensidade de eventos chuvosos, e suas flutuações, sobre outras variáveis hidrológicas, uma vez que a precipitação é indutor da geração de escoamento superficial, produção de sedimento e variações da umidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas (PQ, mestrado, iniciação científica) e pelos recursos financeiros do projeto do edital universal do segundo autor, aprovado em 2013.

BIBLIOGRAFIA

AKSOY, H., UNAL, N. E., COKGOR, S., GEDEKLI, A., YOON, J., KOCA, K., INCI, B., ERIS, E. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, v. 98, pág. 63-72, 2012.

BAARTMAN, J. E. M., JETTEN, V. G., RITSEMA, C. J., DE VENTE, J. Exploring effects of rainfall intensity and duration on soil erosion at the catchment scale using openLISEM: Prado catchment, SE Spain. *Hydrological Processes*, v. 26, pág. 1034-1049, 2012.

DE ROO, A. P. J., OFFERMANS, R. J. E., CREMERS N. H. D. T. LISEM: a single-event, physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II: sensitivity analysis, validation and application. *Hydrological Processes*, v. 10, pág. 1119–1126, 1996a.

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

DUNKERLEY, D. Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological processes*, v.22(22), p.4415-4435, 2008a.

DUNKERLEY, D. Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. *Hydrological Processes*, v.22 (26), p.5024-5036, 2008b.

DUNKERLEY, D. L. How do the rain rates of sub-event intervals such as the maximum 5- and 15-min rates (I5 or I30) relate to the properties of the enclosing rainfall event? *Hydrological Processes*, 24, pág. 2425-2439, 2010.

DUNKERLEY, D. Effects of rainfall intensity fluctuations on infiltration and runoff: rainfall simulation on dryland soils, Fowlers Gap, Australia. *Hydrological Processes*, v.26 (15), p.2211-2224, 2012.

GOLDFARB, M. C.; CYSNEIROS, D. O.; SILVA, T. C. Caracterização fluvio-morfológica da bacia do rio Gramame. In: SILVA, T. C.; SILANS, A. M. B. P.; GADELHA, C. L. M.: Bacia do rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus Recursos Hídricos. 1.ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, p.196, 2002.

HAILE, A. T.; RIENTJES, T. H.; HABIB, E.; JETTEN, V.; GEBREMICHAEL, M. Rain event properties at the source of the Blue Nile River. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.15 (4), p.1023-1034, 2011.

JEBARI, S., BERNDTSSON, R., OLSSON, J., BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, v. 436-437, pág. 102-110, 2012.

KINNELL, P. I. A. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrological Processes*, v. 19, pág. 2815-2844, 2005.

KOSTKA, Z.; HOLKO, L. Analysis of rainfall-runoff events in a mountain catchment. International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins. IHP-VI Technical Document in Hydrology N°67. UNESCO Working Series SC-2003/WS/30. 2003.

LIRA, G. A. R.; SILANS, A. M. B. P.; PEDROSA FILHO, L.; ALMEIDA, C. A.; LEITE, E. P. F.; SILVA, T. C.; FILHO, S. V.; MOURA, E. M.; SOUSA, E. E.; DIAS DA SILVA, L.: Bacia experimental do rio Guaraíra: implantação e primeiros Resultados. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

PDRH. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. SEMARH/SCIENTEC. 2000.

RAN, Q., SU, D., LI, P., HE, Z. Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. *Journal of Hydrology*, v. 424-425, pág. 99-11, 2012.

SHI, W.; YU, X.; LIAO, W.; WANG, Y.; JIA, B. Spatial and temporal variability of daily precipitation concentration in the Lancang River Basin, China. *Journal of Hydrology*, v.495, p.197-207, 2013.

REHISA, Relatório final do projeto IBESA – Implantação de bacias experimentais no Semi-Árido. Projeto FINEP/FUNPEC 22010453-00. 291 p., 2004.

RÖMKENS, M. J. M., HELMIG, K., PRASAD, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, v. 46, pág. 103-123, 2001.

WEGGEL, J. R., RUSTOM, R. Soil erosion by rainfall and runoff - State of the art. *Journal of Hydrology*, v. 11, pág. 551-572, 1992.

ZHANG, Q.; ZHOU, Y.; SINGH, V. P.; LI, J. Scaling and clustering effects of extreme precipitation distributions. *Journal of Hydrology*, v.454–455, p.187–194, 2012.

ZHAO, F.; ZHANG, L.; CHIEW, F. H.; VAZE, J.; CHENG, L. The effect of spatial rainfall variability on water balance modelling for south-eastern Australian catchments. *Journal of Hydrology*, v.493, p.16-29, 2013.