

## **IV-080 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DE EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO DISTRITO DE GARRAFÃO, SANTA MARIA DE JETIBÁ, ES**

### **Jaqueline Knaak<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela FARESE – Faculdade da Região Serrana. Pesquisadora do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA - Departamento de Ciências Ambientais – FARESE – Santa Maria de Jetibá/ ES - Brasil.

### **Isamara Maria Schmidt<sup>(2)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela FARESE – Faculdade da Região Serrana. Pesquisadora do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA - Departamento de Ciências Ambientais – FARESE – Santa Maria de Jetibá/ ES - Brasil.

### **Wanderson de Paula Pinto<sup>(3)</sup>**

Doutorando em Engenharia Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFES. Professor da Faculdade da Região Serrana (FARESE) e Coordenador do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA - Departamento de Ciências Ambientais – FARESE – Santa Maria de Jetibá/ ES - Brasil.

### **Gemael Barbosa Lima<sup>(4)</sup>**

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor e Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Faculdade da Região Serrana (FARESE). Pesquisador do Núcleo Integrado de Pesquisa em Engenharia Ambiental – NUPEA - Departamento de Ciências Ambientais – FARESE – Santa Maria de Jetibá/ ES - Brasil.

### **Michel Trarbach Bleidorn<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela FARESE – Faculdade da Região Serrana. Pós-graduando em Certificação Ambiental e Consultoria pela Faculdade de Venda Nova do Imigrante (FAVENI).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** CRG Área Rural, S/N – Área Rural – Santa Teresa - ES - CEP: 29650-000 - Brasil - Tel: (27) 99959-7744 - e-mail: jaquelineknaak@gmail.com

## **RESUMO**

A precipitação pluvial é um dos fenômenos climáticos mais importantes, principalmente, por ser responsável pela manutenção da vida no Planeta Terra. No entanto, o aumento crescente de eventos extremos de precipitação, com maior intensidade e duração, tem favorecido desastres naturais como inundações e escassez hídrica. Assim, o conhecimento dessa variável, com destaque aos seus fenômenos de grande intensidade, é de fundamental importância para um melhor planejamento de diversas atividades humanas. Portanto, essa pesquisa tem por objetivo determinar os eventos extremos de precipitação pluvial e seus respectivos tempos de retorno, bem como, analisar a existência de tendência na série temporal da Estação Garrafão localizada no Distrito de Garrafão, município de Santa Maria de Jetibá. Para isso, utilizaram-se dados mensais de precipitação máxima da Estação Garrafão, obtidos junto à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), no período de 1948 a 2017. Como ferramenta metodológica, utilizaram-se planilhas eletrônicas para tabulação dos dados, e o *software* livre R para as análises estatísticas. A determinação da ocorrência de eventos extremos de precipitação foi realizada através do método dos decís e a tendência foi determinada por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall. As análises evidenciaram tendências significativas, ao nível de 5%, de aumento na ocorrência de eventos de precipitação extrema para série anual e para as séries mensais de maio, novembro e dezembro. No período analisado foram registrados 83 eventos extremos de precipitação para a localidade, sendo o maior volume precipitado igual a 120,3 mm com tempo de retorno calculado igual a 70 anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eventos Extremos, Estatística, Precipitação Pluvial, Tempo de Retorno.

## **INTRODUÇÃO**

A precipitação intensa, ou máxima, é compreendida como chuva extrema com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica (SILVA e CLARKE, 2004). Como ferramenta de análise e avaliação de eventos intensos de precipitação, a estatística pode ser aplicada aos dados hidrológicos,

forneendo informações úteis sobre a chance de um determinado evento extremo ocorrer novamente em determinado espaço de tempo (AMORIM, *et al.*, 2002).

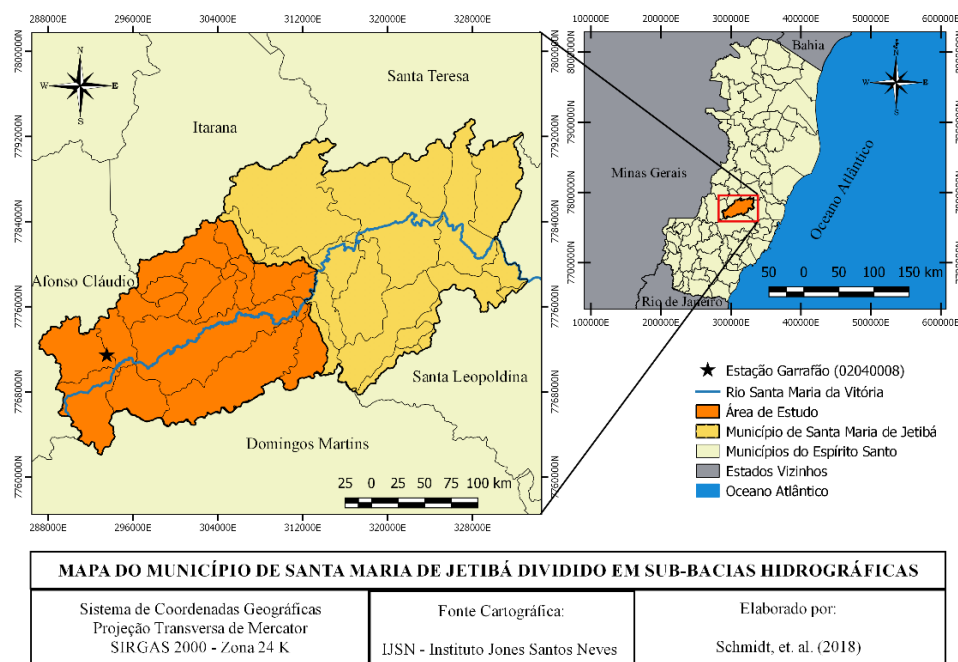
O tempo de recorrência ou de retorno (TR) é um conceito muito empregado nesses estudos e representa o número médio de anos, durante o qual se espera que determinada precipitação seja igualada ou superada pelo menos uma única vez (VIEIRA, LOMBARDI e SANTOS, 1994). Outro conceito que se mostra interessante no estudo de eventos extremos é a análise de tendência, que permite observar as mudanças no comportamento da variável em estudo e determinar se esta vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo.

Isto posto, o estudo e a avaliação das características das chuvas intensas é de grande importância para contribuir na tomada de decisões eficazes, em consonância a situações como cheias e erosão hídrica. Moreira *et al.* (2010) afirmaram que o conhecimento sobre precipitações permite um melhor planejamento de diversas atividades, principalmente no meio rural, o que pode apresentar influência significativa no desenvolvimento socioeconômico de uma região. De modo semelhante, Berlato, Fontana e Puchalski (2000) relataram que, para a agricultura são imprescindíveis a utilização e o conhecimento de estudos de probabilidades baseadas em eventos de precipitações de alta intensidade.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi determinar os eventos extremos de precipitação pluvial e seus respectivos tempos de retorno, bem como, analisar a existência de tendência na série temporal da Estação Garrafão localizada no Distrito de Garrafão, município de Santa Maria de Jetibá, sob a justificativa de contribuir no gerenciamento ambiental frente a expansão exponencial urbana e agrícola do perímetro estudado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O distrito de Garrafão situa-se a 27 km da sede do município de Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo. Caracteriza-se como uma comunidade rural com economia baseada na agricultura familiar e na avicultura de postura. O relevo é ondulado-montanhoso, com altitude média acima dos 1000 m. O clima da localidade é o Cfb (úmido em todas as estações, verão moderadamente quente), de acordo com a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1900), apresentando temperatura média de 18,8 °C e pluviosidade média anual em torno de 1360 mm.



**Figura 1 – Mapa do município de Santa Maria de Jetibá dividido em sub-bacias hidrográficas com destaque para a localização da área de estudo e da estação Garrafão.**

Para realização deste estudo, analisaram-se os dados mensais de precipitação máxima da Estação Garrafão, que foram obtidos junto à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB, 2018), cujo Código junto à ANA é 02040008 e coordenadas geográficas 20°08'36"S e 40°58'31"W. A localização da estação e da área de estudo estão apresentadas na Figura 1. A série histórica utilizada é composta por 70 anos de dados (1948-2017) e suas falhas foram imputadas através da média aritmética. A organização e tabulação dos dados foram realizadas utilizando planilha eletrônica e, para as análises estatísticas utilizou-se o *software* livre R (R CORE TEAM, 2018).

A determinação da ocorrência de eventos intensos de precipitação foi realizada através do método dos decis, conforme proposto por Xavier *et al.*, (2007). Para tanto, organizou-se a série de dados mensais de precipitação máxima em ordem crescente e dividi-la em dez partes iguais, considerando o nono decil como precipitação extrema. Do ponto de vista físico, o nono decil corresponde aos casos mais raros de precipitação extrema, cerca de 10% dos eventos de chuva de toda série. Os decis foram calculados conforme equação 1 (CAMPOS *et al.*, 2014):

$$D_k = l_i + \frac{\left[ \left( \frac{k \sum f_i}{10} \right) - F_{i_{ant}} \right]}{f_i} \times h \quad \text{equação (1)}$$

em que:  $D_k$  é o decil que se pretende calcular;  $l_i$  é o limite inferior da classe do decil;  $k$  é o número de ordem do decil;  $f_i$  é a frequência da classe da posição do decil;  $f_{i-1}$  é a frequência da classe anterior a do decil e  $h$  é a amplitude da distribuição.

Após a determinação dos eventos extremos de precipitação, calculou-se a frequência relativa ( $f_r$ ) para cada um, como sugerido por Galvani (2011), na equação 2:

$$f_r = \frac{n_a}{n} \quad \text{equação (2)}$$

A frequência relativa corresponde ao número de vezes que o evento ocorreu ( $n_a$ ) em relação ao número total de elementos da série ( $n$ ).

O passo seguinte foi determinar o tempo de retorno para cada evento extremo de precipitação, sendo este definido como o inverso da frequência (TUCCI, 2009) através da equação 3.

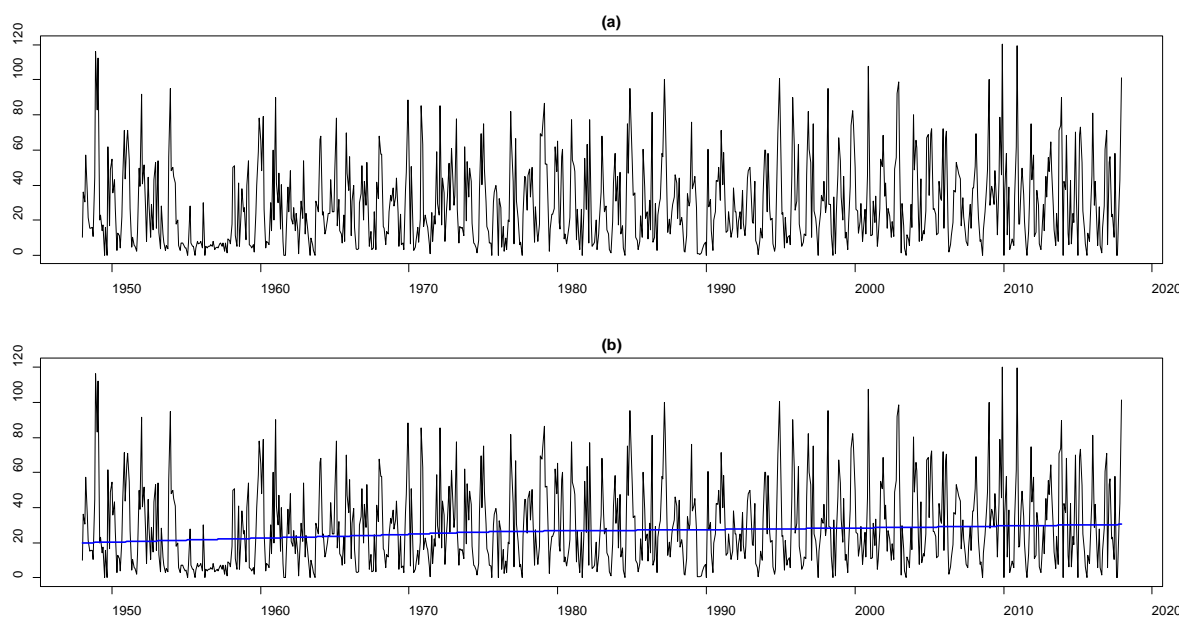
$$T = \frac{1}{f_r} \quad \text{equação (3)}$$

Visando a detecção de tendências e/ou mudanças bruscas na série de máximas diárias de longo prazo foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de significância. Para detalhes, consultar Salviano *et al.* (2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

É apresentada na Figura 2 (a), a evolução temporal dos eventos diários de precipitações máximas medidas no distrito de Garrafão. Observa-se que os eventos de maior magnitude ocorreram nos anos de 2009 e 2013, sendo que a máxima registrada foi igual a 120,3 mm ocorrida em 01 de dezembro de 2009. Observa-se também na série um padrão de variabilidade intra-anual, com períodos chuvosos seguidos de períodos de estiagem, caracterizando a propriedade sazonalidade na série.

Conforme a linha de tendência, apresentada graficamente na Figura 2 (b), e os resultados do teste de Mann-Kendall (Tabela 1), foi comprovada a existência de tendência positiva significativa na série sob estudo, o que expressa um aumento na probabilidade de ocorrência de eventos de precipitação intensa para a região.



**Figura 2: Série temporal de precipitação na Estação Garrafão no período de 1948 a 2017: (a) Máximas diárias; (b) Máximas diárias com linha de tendência.**

**Tabela 1: Resultados do teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall.**

Período de Análise	Estatística do Teste	p-valor	Sign. Est.
Máximas diárias	0,0884	0,00012934	+S
Janeiro	-0,0366	0,65908	NS
Fevereiro	0,00621	0,94342	NS
Março	0,131	0,10914	NS
Abril	0,11	0,18237	NS
Maio	0,259	0,0016103	+S
Junho	0,0556	0,50008	NS
Julho	0,00458	0,95955	NS
Agosto	0,0463	0,5767	NS
Setembro	0,109	0,18563	NS
Outubro	0,14	0,087512	NS
Novembro	0,164	0,045766	+S
Dezembro	0,28	0,00064397	+S

Considerando o comportamento mensal dos eventos de precipitação máxima, ainda conforme a Tabela 1, é possível verificar que os meses de maio, novembro e dezembro apresentam tendência positiva significativa estatisticamente, ou seja, os valores diários máximos de precipitação demonstraram crescimento em relação a valores pretéritos.

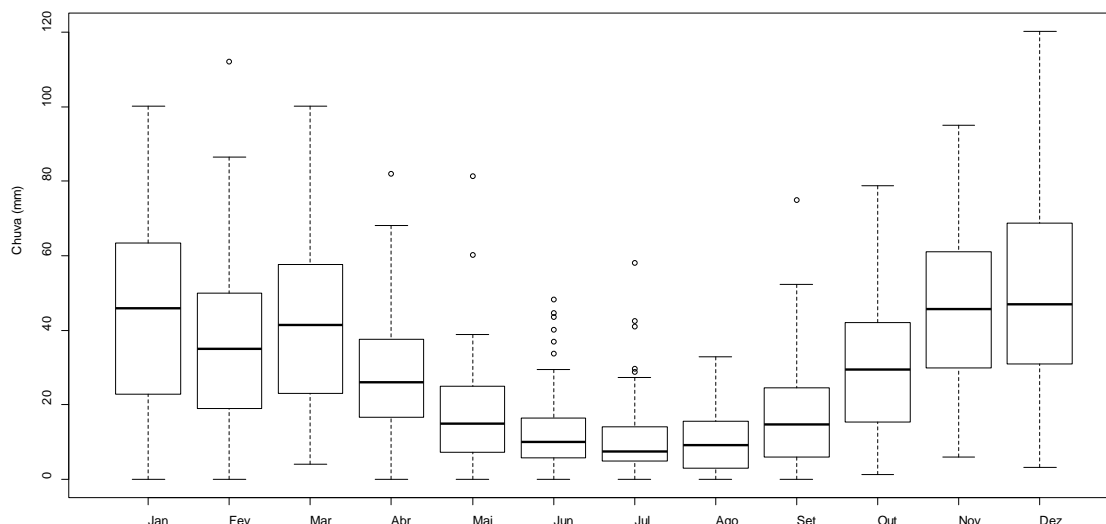
A Tabela 2 apresenta a ocorrência de eventos extremos de precipitação máxima, e conforme seus resultados, pela classificação por decis, ocorreram 83 eventos extremos nestes 70 anos de dados, sendo que, são considerados eventos extremos para a localidade em estudo, aqueles em que a altura da lâmina de água é superior a 64,33 mm.

**Tabela 2: Avaliação dos decis da série de precipitação máxima diária na Estação Garrafão.**

Decil	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Valor (mm)	3,98	7,97	12,32	17,85	23,58	29,91	38,03	48,65	64,33	121

A variação dos dados observados por meio de boxplot (Figura 3) confirma a presença de sazonalidade, podendo ser observado um período de cheia, de outubro a março, e um período de estiagem, de abril a setembro. De modo semelhante, essa precipitação marcada entre os meses citados foi identificada, também por Uliana *et al.* (2013) que caracterizaram as precipitações mensal e anual do estado do Espírito Santo em dois

períodos: o primeiro, entre outubro e abril, que concentra grande parte da precipitação e o segundo, entre maio e setembro, com decréscimo acentuado da pluviosidade. Desse modo, evidencia-se a importância de medidas que minimizem o efeito da estiagem, sobretudo em ações voltadas para captação e armazenamento da água pluvial, ainda incipientes na região estuda.



**Figura 3: Boxplot da série de precipitações máximas diárias observadas na Estação Garrafão.**

Conforme Tabela 3, para uma precipitação diária maior ou igual a 120 mm, o período de retorno equivale a 70 anos, ou seja, num período de 70 anos essa precipitação pode ser igualada ou ser superada pelo menos uma vez. Dentre as precipitações máximas diárias, aquelas que se encontra na faixa entre 60 mm e 65 mm apresentam menor tempo de retorno, sendo este igual a 10 meses. Analisando a variação da frequência de ocorrência e do tempo de retorno, é possível verificar que, conforme o volume precipitado se torna menor, maior é possibilidade de ocorrência e menor o tempo de recorrência. Essa relação também foi observada por Nascimento e Jesus (2017), em estudo realizado para o município de Tucano, Bahia, onde notaram que a intensidade da chuva aumenta à medida que se aumenta o tempo de retorno da precipitação.

**Tabela 3: Tempo de retorno dos eventos de precipitação extrema observados na Estação Garrafão.**

Precipitação (mm)	f	fr	TR (anos)
≥120	1	0,00119	70,00
≥115	3	0,003571	23,33
≥110	4	0,004762	17,50
≥105	5	0,005952	14,00
≥100	9	0,010714	7,78
≥95	12	0,014286	5,83
≥90	15	0,017857	4,67
≥85	22	0,02619	3,18
≥80	31	0,036905	2,26
≥75	40	0,047619	1,75
≥70	59	0,070238	1,19
≥65	80	0,095238	0,88
≥60	83	0,09881	0,84

É importante destacar que todos os 83 eventos extremos diários de precipitação pluvial ocorreram nos meses mais chuvosos. Tal avaliação também, é feita por Beijo, Muniz e Castro Neto (2005) em estudo do tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) em que, os autores complementam que essas informações são importantes para o planejamento de obras, especialmente de projetos agrícolas e de engenharia hidráulica, se tratando do início e execução das obras.



Além disso, conforme Soares Neto *et al.*, (2013), o conhecimento sobre o tempo de retorno é útil por permitir a previsão de ocorrência de evento de chuva igual ou superior, podendo servir de base para o planejamento de ações em decorrência de eventos hidrológicos extremos e, na elaboração de medidas para mitigar possíveis impactos destes.

## CONCLUSÕES

As análises evidenciaram tendências significativas ao nível de 5% de aumento na ocorrência de eventos de precipitação extrema para a série anual e para as séries mensais de maio, novembro e dezembro. Foram registrados 83 eventos de precipitação extrema para a localidade no período analisado de acordo com a metodologia dos decis, sendo que o maior volume precipitado foi igual a 120,3 mm e seu tempo de retorno calculado é igual a 70 anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMORIM, Ranieri Carlos F. et al. Determinação do Período de Retorno da Precipitação Pluviométrica por Meio da Distribuição de Gumbel para a Região de Cascavel/PR. XII Congresso Brasileiro De Meteorologia, Foz De Iguaçu-PR, 2002.
2. ANA – Agência Nacional das Águas. Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)>. Acesso em: 17 mai. 2018.
3. BEIJO, Luiz Alberto; MUNIZ, Joel Augusto; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. Ciência e Agrotecnologia, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.
4. BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; PUCHALSKI, L. Precipitação pluvial normal e riscos de ocorrência de deficiência pluviométrica e deficiência hídrica no Rio Grande do Sul: ênfase para a metade sul do Estado. In: Seminário Sobre Água na Produção de Frutíferas 68, 2000, Pelotas: Anais...Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000, p.67-81.
5. CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Bradão *et al.* Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. Ambiente & Água. 2015.
6. KÖPPEN, Wladimir. *Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. Geographische Zeitschrift*, v. 6, n. 11. H, p. 593-611, 1900.
7. MOREIRA, P.S.P.; DALLACORT, R.; MAGALHÃES, R. A.; INOUE, M. H.; STIELER, M.C.; SILVA, D.J.; MARTINS, J.A. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de nova Maringá-MT. Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.8, n.1, p.9- 20, 2010.
8. NASCIMENTO, Yuri dos Santos; JESUS, Janisson Batista de. Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia. AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO, v. 13, n. 4, p. 302-306, 2017.
9. R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
10. SALVIANO, Marcos Figueiredo; GROppo, Juliano Daniel; PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
11. SILVA, BENEDITO CLÁUDIO DA; T CLARKE, ROBIN. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19, n. 3, p. 265-272, 2004.
12. SOARES NETO, J.P.; BEZERRA, A.R.G.; MOSCON, E.S. Probabilidade e análise decadal da precipitação pluvial da cidade de Barreiras-BA, Brasil. Revisa Brasileira de Geografia Física, v.06, n.03, p.470-477, 2013.
13. TUCCI, C.E.M. (Org.) Hidrologia: ciência de aplicação. 4.ed., 1. reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.
14. ULIANA, E.M.; REIS, E.F.; SILVA, J.G.F.; XAVIER, A.C. Precipitação mensal e anual provável para o estado do Espírito Santo. Irriga, Botucatu, v.18, n.1, p.139-147. 2013.
15. VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades de chuvas em Pindorama (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 255-260, maio/ago. 1994.
16. XAVIER, T. M.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. Quantis e eventos extremos – aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: RDS; Livro Técnico, 2007. 278p.