

Caracterização das chuvas correspondentes a eventos extremos na bacia superior do Alto Rio Negro, Sul do Brasil

Characterization of extreme rainfall events in the Upper Rio Negro Basin, Southern Brazil

Pablo Gustavo Del Prete¹

Masato Kobiyama^{2(*)}

Pedro Luís Borges Chaffe³

Davide Franco⁴

Resumo

Com a utilização de ferramentas do geoprocessamento e da estatística, apresenta-se, neste trabalho, uma metodologia para caracterizar as chuvas relacionadas com eventos extremos ocorridos na bacia superior do Alto Rio Negro, que se encontra na divisa dos estados do Paraná e Santa Catarina. A modelação de eventos extremos, utilizando modelos hidrológicos chuva-vazão, depende da quantidade e da qualidade dos dados das chuvas. O objetivo é a criação de cenários possíveis. A metodologia utilizada consiste em: a) mapear as isoietas da bacia; b) calcular a chuva média diária para a bacia e as sub-bacias; e c) agrupar estatisticamente os eventos para a bacia e as sub-bacias. Os resultados obtidos na análise multivariada foram os seguintes: a) determinaram-se quatro grupos de eventos, b) os parâmetros tempo correspondente à chuva máxima (TPmMax), chuva total durante a tormenta (SPm) e a duração (D) foram os mais influentes na formação desses grupos. Da análise das isoietas, determinou-se a posição do núcleo da tormenta que, na maioria dos casos, situam-se sobre a sub-bacia de rio Negrinho ou nas redondezas. Esses resultados possibilitam a criação de cenários mais realistas que afetam a bacia.

Palavras-chave: isoietas; agrupamento; análise de correlação – distâncias – similaridades; análise de coordenadas principais.

1 MSc.; Engenheiro Mecânico Aeronáutica; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Endereço: Rua Delfino Conti, s/nº, Trindade, CEP: 88040-900 – Florianópolis; Santa Catarina, Brasil; E-mail: pagusdelprete@gmail.com

2 Dr.; Ciências Especiais; Professor Titular no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Departamento de Obras Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Caixa-postal: 15029, CEP: 91501970 - Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil - E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br (*) Autor para correspondência

3 Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Endereço: Rua Delfino Conti, s/nº, Trindade, CEP: 88040-900 – Florianópolis; Santa Catarina, Brasil; E-mail: pedro.chaffe@ufsc.br

4 Dr.; Engenharia Eletrônica; Professor Adjunto III do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Supervisor do Laboratório de Hidráulica Marítima da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Endereço: Rua Delfino Conti, s/nº, Trindade, Caixa-postal: 5039, CEP: 88040-900 – Florianópolis; Santa Catarina, Brasil; E-mail: franco@ens.ufsc.br

Abstract

With the use of geoprocessing and statistical tools, this study is aimed to present a methodology to characterize the rains concerning extreme events occurred in the superior basin of the Upper Rio Negro, which is on the border of the states of Paraná and Santa Catarina. The modeling of extreme events by using hydrological rainfall-runoff models depends on the amount and quality of rainfall data. The goal is to create scenarios. The methodology consisted of: a) mapping the isohyets of the basin, b) calculating the average daily rainfall for the basin and sub-basin and c) statistically grouping events for the basin and sub-basin. The results of the multivariate analysis were: a) four event groups were determined, b) the time parameters corresponding to the maximum rain precipitation (TPmMax), the total rainfall during the storm (SPM) and the duration (D) were the most influential in the formation of these groups. By analyzing the isohyets it was possible to determine the storm core position which, in most cases, is located over the Rio Negro sub-basin or in the surroundings. To conclude, these results allow the creation of more realistic scenarios that affect the basin.

Key words: isohyet; grouping; correlation analysis – distances – similarities; analysis of main coordinates.

Introdução

A cada ano, no mundo inteiro, as inundações aumentam continuamente e surgem com mais ímpeto. O impacto que elas ocasionam às populações é grave e, muitas vezes, irreversível, com prejuízos de perdas materiais e humanas; interrupção da atividade econômica das áreas inundadas; contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outras; e contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, nas estações de tratamentos (TUCCI et al., 2003).

No Brasil, um dos fenômenos naturais que mais provocaram perdas humanas no período de 1948 a 2004, foram as inundações (KOBİYAMA et al., 2004). O Sul do Brasil, especialmente o Estado de Santa Catarina, tem sido um dos mais atingidos por desastres gerados por esses fenômenos. O município de Rio Negrinho,

localizado no norte de Santa Catarina, é um exemplo, já que, em sua história, tem padecido com inundações frequentes. Somente no período de 1891 até 2010, o município sofreu 22 inundações nos anos: 1891, 1911, 1913, 1920, 1925, 1926, 1937, 1946, 1983, 1984, 1992, 1995, 1997, 1998, 1999, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 e duas em 2010 (GIGLIO; KOBİYAMA, 2011).

Dessas inundações, as mais severas aconteceram nos anos de 1983 e 1992 e foram as que causaram maiores prejuízos. Naquelas ocasiões, o nível da água no rio Negrinho esteve 9,3 m e 9,37 m acima do seu nível normal, respectivamente. Essas inundações provocaram inúmeros danos ao comércio, à indústria, à agropecuária e ao sistema viário. Muitas localidades foram afetadas e ficaram isoladas; muitas residências foram danificadas 350 (em 1983) e 778 (em 1992), outras destruídas (120 e 27, respectivamente); habitantes desabrigados (6.090 e 10.000,

respectivamente), e na de 1992, houve uma vítima fatal (GIGLIO; KOBİYAMA, 2011).

De acordo com Giglio e Kobiyama (2011), as três inundações mais recentes atingiram o município com um pequeno intervalo de tempo de retorno, entre setembro de 2009 e março de 2010. No dia 30 de setembro de 2009, a cidade teve muitos pontos de alagamento e cerca de 160 residências atingidas pelas águas inundadas. Em janeiro de 2010, outra inundação ocorreu no município, mais uma vez gerando problemas para a população. E em 26 de abril de 2010 mais uma inundação ocorreu, causando diversos pontos de alagamento e deslizamentos.

Para compreender melhor esses fenômenos e aplicar ferramentas matemáticas que permitam explicar o funcionamento do sistema da bacia superior do Alto Rio Negro, é necessário criar cenários de chuva possíveis que produzam inundações.

A maioria dos trabalhos que tratam de estudos sobre a determinação da entrada do modelo chuva-vazão (hietograma), encontrados na literatura, está relacionada com metodologias como, por exemplo, o hietograma de projeto associado a um tempo de retorno ou à simulação contínua. Há poucos estudos que caracterizam a ocorrência de eventos extremos em termo de localização e características geográficas.

Entre estes, podemos citar o trabalho de Kadoya, Chikamori e Ichioka (1993), no qual utilizaram as técnicas de componentes principais e análise de grupos para caracterizar as chuvas extremas que causaram inundações na bacia do rio Yamato, em função de sua distribuição espacial e verificaram a correlação de chuvas médias acumuladas em 12, 24 e 48 horas com as inundações.

Balwin e Kain (2004) apresentaram um procedimento automatizado para classificar os sistemas de chuva (em grande escala), baseado na análise de grupos de chuvas horárias obtidas com radar e dados pluviométricos. Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004) utilizaram técnicas de agrupamento e análise de componentes principais para dividir a Espanha em um número limitado de zonas climaticamente homogêneas, com base na chuva sazonal para 32 localidades espanholas correspondentes ao período de 1912-2000. Kaspar e Müller (2007) propuseram um critério para avaliar a extremidade de um evento de chuva baseando-se na quantidade de chuva registrada em um período de três dias dentro de bacias hidrográficas da República Checa, ademais, levando em conta a distribuição temporal dos totais de chuvas diárias. Os mesmos autores apresentaram, em 2008, a continuação do trabalho anterior, na qual aplicaram o critério de aglomerados de bacias hidrográficas da República Checa que foram afetados por eventos críticos. Finalmente, apresentaram os eventos de chuva com os dez maiores valores segundo o critério de agrupamento, durante os semestres mais quentes no período de 1951-2006. Beguería, Vicente-Serrano e López-Moreno (2008) utilizaram uma metodologia baseada na teoria de eventos extremos para obter cartografias com o objetivo de representar a máxima intensidade, magnitude e duração de chuva esperada em um período de tempo concreto na região de La Rioja na Espanha. O estudo baseava-se na análise de séries temporais de eventos de chuvas obtidas através de séries pluviométricas diárias correspondentes ao período de 1970-2002. Além disso, apresentaram cartografias sazonais que permitiram determinar a

distribuição espacial do risco de eventos extremos em diferentes momentos do ano.

O trabalho apresentado por Blanco, Barboza e Rodríguez (2010) descreve o regime climático de chuvas anuais da Venezuela. Para essa finalidade configuraram a variação da chuva anual com a aplicação da Análise de Fourier nos registros climáticos correspondentes ao período de 1961-1990 de 15 estações pluviométricas distribuídas no território nacional, para, posteriormente, agrupá-las em conjuntos internamente homogêneos e externamente heterogêneos utilizando a técnica de agrupamento automático (*Cluster*).

Nazaripour e Khosravi (2011) utilizaram a análise de agrupamento hierárquico pelo método de Ward, aplicado sobre a matriz de dados de chuvas de Zahedan no Irã, e identificaram cinco tipos diferentes de chuva. Santos e Freire (2012) apresentaram um trabalho com o objetivo de estudar as frequências de chuvas nas capitais do Nordeste do Brasil, através da Transformada Wavelet e da análise de grupos. Brigode et al. (2012) realizaram uma classificação meteorológica para Áustria, baseada na análise de grupos. Bothale e Katpatal (2014) apresentam um agrupamento baseado na regionalização e nas tendências da chuva na bacia Pranhita na Índia, utilizando os dados de chuvas anuais relativos a 131 estações pluviométricas durante o período de 1970-2011.

Neste estudo, a metodologia apresentada permite, por meio da utilização das ferramentas do geoprocessamento e de estatística, a caracterização das chuvas correspondentes a eventos extremos, com o objetivo de agrupá-los para serem utilizados na interpretação da distribuição da chuva relacionada com a ocorrência de inundações e

na fase de criação de cenários possíveis, entre outras aplicações. Entendido como cenários possíveis, aqueles obtidos do resultado de uma análise estatística baseada em parâmetros que tem em conta as características pelo hietograma e geográficas.

Área de estudo

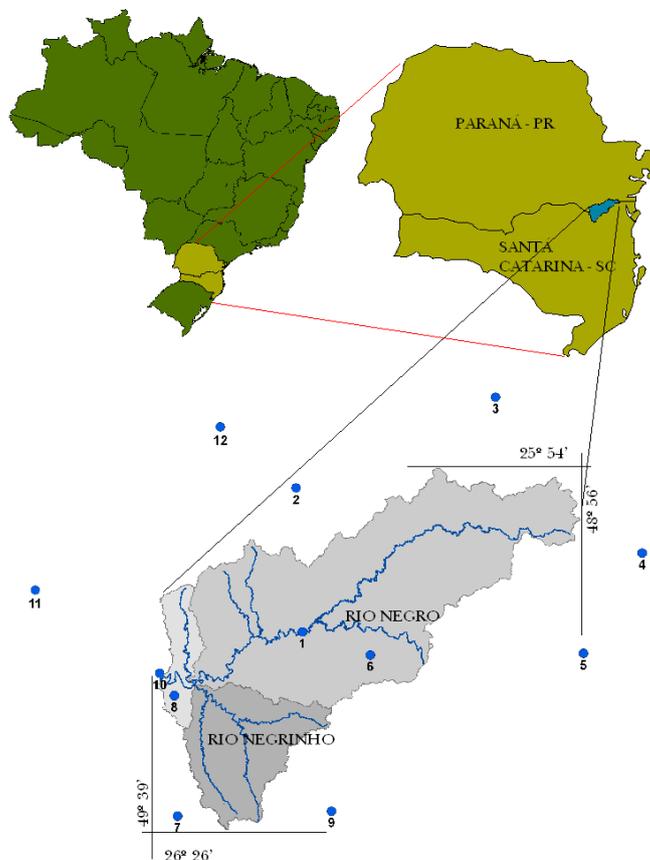
A área de estudo compreende a parte superior da bacia do Alto Rio Negro, localizada na divisa dos estados do Paraná e Santa Catarina no sul do Brasil, entre as coordenadas 25° 54' e 26° 26' de latitude Sul e os meridianos 48° 56' e 49° 39' de longitude Oeste (Figura 1). A área total de bacia é de 1.584 km².

O presente estudo também considerou duas sub-bacias definidas pelo exutório resultante da união dos rios principais, o rio Negro e o rio Negrinho, assim, tendo a sub-bacia do Rio Negro (1.183 km²) e a sub-bacia do Rio Negrinho (303 km²).

Materiais e Métodos

Realizou-se uma análise quantitativa das chuvas relacionadas a eventos extremos associados a inundações. Para esta finalidade, foram utilizados os dados das séries de chuva correspondentes a esses eventos com o objetivo de extrair informações prévias que possibilitaram a compreensão do sistema da bacia antes da modelação hidrológica da mesma. O mapeamento das isoietas e a análise multivariada foram as ferramentas propostas neste estudo, as quais permitiram uma análise mais objetiva na hora da escolha dos eventos durante a modelação matemática.

Figura 1 – Local da bacia superior do Alto Rio Negro.



Fonte: Autores (2014).

Nota: os números no mapa apresentam as estações pluviométricas descritas na tabela I

Dados meteorológicos

Foram utilizados dados de chuva de doze estações, disponíveis no HidroWeb, sistema de informações hidrológicas da ANA (2011). As características das estações estão na tabela 1.

Dados topográficos

Foram utilizadas as cartas topográficas digitais em escala 1:50.000, em projeção Universal Transversa de Mercator, Datum SAD-69 e fuso 22S. No estado de Santa Catarina, nove cartas foram utilizadas

(Mafra, Rio Preto do Sul, Campo Alegre São Miguel, Garuva, Itaiópolis, Rio Negrinho, São Bento do Sul, Tijucas do Sul, Pedra Branca do Araguaia) adquiridos do site da EPAGRI CIRAM (2011). A carta MI 2857-3, que abrange o estado do Paraná, foi adquirida do site do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná (2010).

Com base no uso do geoprocessamento, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) e, posteriormente, foi realizada a delimitação da bacia e sub-bacias, com uso do pacote *Arc Hydro Tools* do ArcGis® 9.3.

Escolha dos eventos extremos

Para a determinação da duração de cada evento, foi adotado o seguinte critério: para o início do evento, pelo menos uma das três estações no interior da bacia tem de apresentar uma leitura igual ou maior a 2 mm e, para o final, igual ou maior a 5 mm. Esse critério foi adotado depois da realização de várias tentativas na escolha do melhor corte entre eventos seguidos, tendo em conta cada estação e o resultado dos hietogramas gerados com os valores da chuva média (Pm). No entanto, para o evento correspondente ao mês de janeiro de 2010, não se aplicou o critério estabelecido porque apresentava um segundo pico com muitos dias de antecedência com respeito ao dia correspondente à inundação e os primeiros quatro dias não foram tidos em conta apesar de apresentarem valores maiores de 2 mm.

Cálculo de isoietas

O critério de escolha das estações foi feito por meio de um trabalho prévio que consistiu no traçado do polígono de Thiessen para determinar quais delas têm influência na bacia. Porém, duas estações foram acrescentadas (Rio Negro e Quintanilha) para o caso do evento ocorrido em abril de 2010, por falta de dados nas estações próximas e, por ser este evento muito importante para o estudo.

Para caracterizar as chuvas relacionadas com eventos extremos no presente trabalho, calcularam-se os seguintes parâmetros: duração da chuva (D), dias de antecedência sem chuva (A), chuva média diária máxima (PmMax), tempo à PmMax (TPmMax), chuva total durante a tormenta (SPm) e a

posição do núcleo da tormenta no dia de chuva mais intensa.

Utilizando as ferramentas do ArcGis© 9.3 (*Spline, Contour...*) traçaram-se as isoietas a partir dos dados das estações pluviométricas (coordenadas e valor da chuva diária) correspondente a cada dia dos eventos analisados. Uma vez obtidas as isoietas, determinaram-se os núcleos de tormenta definidos como os centros de massa da isoietas onde a chuva é mais intensa.

Para calcular os parâmetros na caracterização das chuvas dos eventos extremos, foi extraída a chuva média diária da bacia (Pm), com o método das isoietas. Esse parâmetro é uma abstração, porém, serve para determinar em qual sub-bacia choveu com maior intensidade.

Para calcular o valor de Pm(t) utilizou-se a seguinte equação:

(1)

$$Pm(t) = \left[\frac{\sum_i^{N-1} A(t)_{i,i+1} \times \frac{(P(t)_i + P(t)_{i+1})}{2}}{\sum_i^N A(t)_i} \right]$$

Onde:

$\sum_i^N A(t)_i$ área total da bacia;
 $A(t)_{i,i+1}$ área entre isoietas; $P(t)_i$ valor de chuva da isoietas i em mm; N número de isoietas; e t tempo em dias (de 1 a D) sendo D a duração em dias da tormenta.

Para calcular a área $A(t)_{i,i+1}$, é necessário fazer uma interseção entre as capas (*layers*) correspondentes às isoietas da bacia ou sub-bacia (ferramenta *Extract - Clip* do ArcGis©).

Além da $Pm(t)$, da bacia Superior do Alto Rio Negro, foram calculadas as chuvas médias correspondentes às sub-bacias chamadas de Rio Negro e Rio Negrinho.

Uma vez calculados os valores da $Pm(t)$ determinou-se o valor máximo de Pm ($PmMax$), o dia correspondente ($TPmMax$) e calculou-se o valor da chuva total (SPm) durante a tormenta como o somatório dos valores do $Pm(t)$, isto é:

$$SPm = \sum_{t=1}^D Pm(t) \quad (2)$$

Onde:

$Pm(t)$ chuva média correspondente ao dia t e D duração em dias da tormenta.

No presente trabalho, não se elaboraram as isoietas do evento ocorrido no período de 21 a 23 de maio de 2007, por falta de dados em muitas das estações pluviométricas. Também não foram considerados os eventos anteriores a 1980 por não possuírem os correspondentes dados pluviométricos.

Análise multivariada

Agrupamento

Para classificar os eventos com uso de Infostat/L[®], foram aplicadas técnicas estatísticas de agrupamentos: uma "Hierárquica" (*Complete Linkage – Euclidean Distances*) onde os resultados se apresentam em gráficos chamados dendrogramas e uma "Não Hierárquica" denominada *K-means*.

O método do *Complete Linkage – Euclidean Distances* foi escolhido por ser útil para detectar *outliers*, e por permitir utilizá-lo como medida da similitude ou da não similitude, porque tende a construir agrupamentos (*clusters*) pequenos e compactos e é invariável nas transformações monótonas da matriz

das distâncias. Já o método do *K-means* foi utilizado para verificar os resultados obtidos com o método anterior.

Os dados devem ser padronizados, ou seja:

$$S = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (3)$$

Onde:

S dado padronizado; x dado original; \bar{x} média dos dados; e σ valor do desvio padrão dos dados.

O Infostat[®] apresenta uma opção para padronizar os dados na janela correspondente à análise multivariada.

Análise de correlação – distâncias – similaridades

Para verificar a similitude entre os parâmetros, realizou-se análise de correlação – distâncias – similaridades e adotou-se o coeficiente de correlação de Spearman. Para as variáveis j -ésima e k -ésima, definiu-se como coeficiente de correlação de Spearman:

(4)

$$Sr_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n R(x_{ij})R(x_{ik}) - n\left(\frac{n-1}{1}\right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n R(x_{ij})^2 - n\left(\frac{n-1}{1}\right)\right)\left(\sum_{i=1}^n R(x_{ik})^2 - n\left(\frac{n-1}{1}\right)\right)}}$$

Onde:

$R(x_{ij})$ rango correspondente à i -ésima observação da variável j ; e $R(x_{ik})$ rango correspondente à i -ésima observação da variável k , com $i=1, \dots, n$.

Este coeficiente é uma medida não paramétrica de associação baseada em rangos, que pode ser utilizado para variáveis discretas ou contínuas, não necessariamente normais. O Infostat[®] pode apresentar o resultado como uma matriz $n \times n$ com os

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas

Nº	Estação	Localização		Altitude [m]
1	Fragosos (02649018)	26°09'17" S	49°22'50" W	790
2	Rio da Várzea dos Lima (02549003)	25°57'00" S	49°23'35" W	810
3	Vossoroca (02549008)	25°49'00" S	49°05'00" W	805
4	Garuva (02648027)	26°02'08" S	48°51'00" W	80
5	Pirabeiraba (02648033)	26°10'48" S	48°56'22" W	1
6	Campo Alegre (02649057)	26° 11'11" S	49°16'24" W	870
7	Corredeira (02649055)	26°25'10" S	49°34'23" W	750
8	Rio Negrinho (02649015)	26°14'52" S	49°34'48" W	862
9	Rio Novo (02649064)	26°24'35" S	09°19'52" W	800
10	Rio Preto do Sul (02649016)	26°12'58" S	09°36'12" W	780
11	Rio Negro* (02649021)	26°06'00" S	49°48'00" W	824
12	Quitandinha* (02549061)	25°51'51" S	09°30'46" W	820

Fonte: Autores (2012).

Nota: * usadas para plotar às isoietas por falta de dados em algumas estações próximas.

coeficientes de correlação de Spearman ou numa tabela. Pode-se escolher uma medida de distância baseada em medidas de similaridade S . Se a escolha for a opção em função do valor absoluto ($1-\text{abs}(S)$), os elementos da diagonal principal são iguais a zero, representando a maior similitude entre os parâmetros. Os dados também podem ser padronizados antes da análise.

Análise de coordenadas principais

A análise de coordenadas principais permite analisar a interdependência entre variáveis categóricas e encontrar uma representação gráfica dos n indivíduos, de maneira tal que reflita a distância entre eles. Com essa análise, determinaram-se os parâmetros mais influentes no agrupamento. A análise de coordenadas principais pode-se realizar com qualquer tipo de variáveis, inclusive com mistura de variáveis. O

Infostat© permite padronizar os dados antes de iniciar a análise.

Resultados e Discussão

No presente trabalho, adotaram-se quatorze eventos, cujas durações da tormenta e datas dos eventos de inundações foram obtidos da análise dos dados históricos e do mapeamento das inundações no município de Rio Negrinho, realizados por Giglio e Kobiyama (2011), juntamente com as séries de dados pluviométricos e com o resultado do mapeamento das isoietas da bacia em estudo (Tabela 2).

Isoietas

Foram geradas isoietas correspondentes a cada tormenta descrita na tabela 2. Na figura 2 apresentam-se unicamente os mapas de isoietas correspondentes aos dias de chuva mais intensa segundo tabela 3, as estações pluviométricas e as sub-bacias. Observa-se

Tabela 2 – Eventos correspondentes a inundações no Município de Rio Negrinho (1980-2010)

Evento	Data de inundação adotada	Duração [dias]
<i>a</i>	11/07/1983	06/07 a 13/07 [8]
<i>b</i>	15/06/1984	13/06 a 17/06 [5]
<i>c</i>	31/05/1992	27/05 a 31/05 [5]
<i>d</i>	08/07/1995	07/07 a 08/07 [2]
<i>e</i>	21/01/1997	20/01 a 23/01 [4]
<i>f</i>	24/04/1998	23/04 a 24/04 [2]
<i>g</i>	08/10/1999	08/10 [1]
<i>h</i>	25/10/2004	24/10 a 26/10 [3]
<i>i</i>	01/09/2005	31/08 a 02/09 [3]
<i>j</i>	13/09/2005	11/09 a 15/09 [5]
<i>k</i>	05/10/2008	04/10 a 05/10 [2]
<i>l</i>	29/09/2009	28/09 a 30/09 [3]
<i>m</i>	12/01/2010	08/01 a 18/01 [11]
<i>n</i>	27/04/2010	22/04 a 27/04 [6]

Fonte: Autores (2012).

que, nos casos dos eventos (a), (i), (j), (l) e (n), o dia da ocorrência da inundação difere do dia de chuva mais intensa (Tabela 2 e Tabela 3).

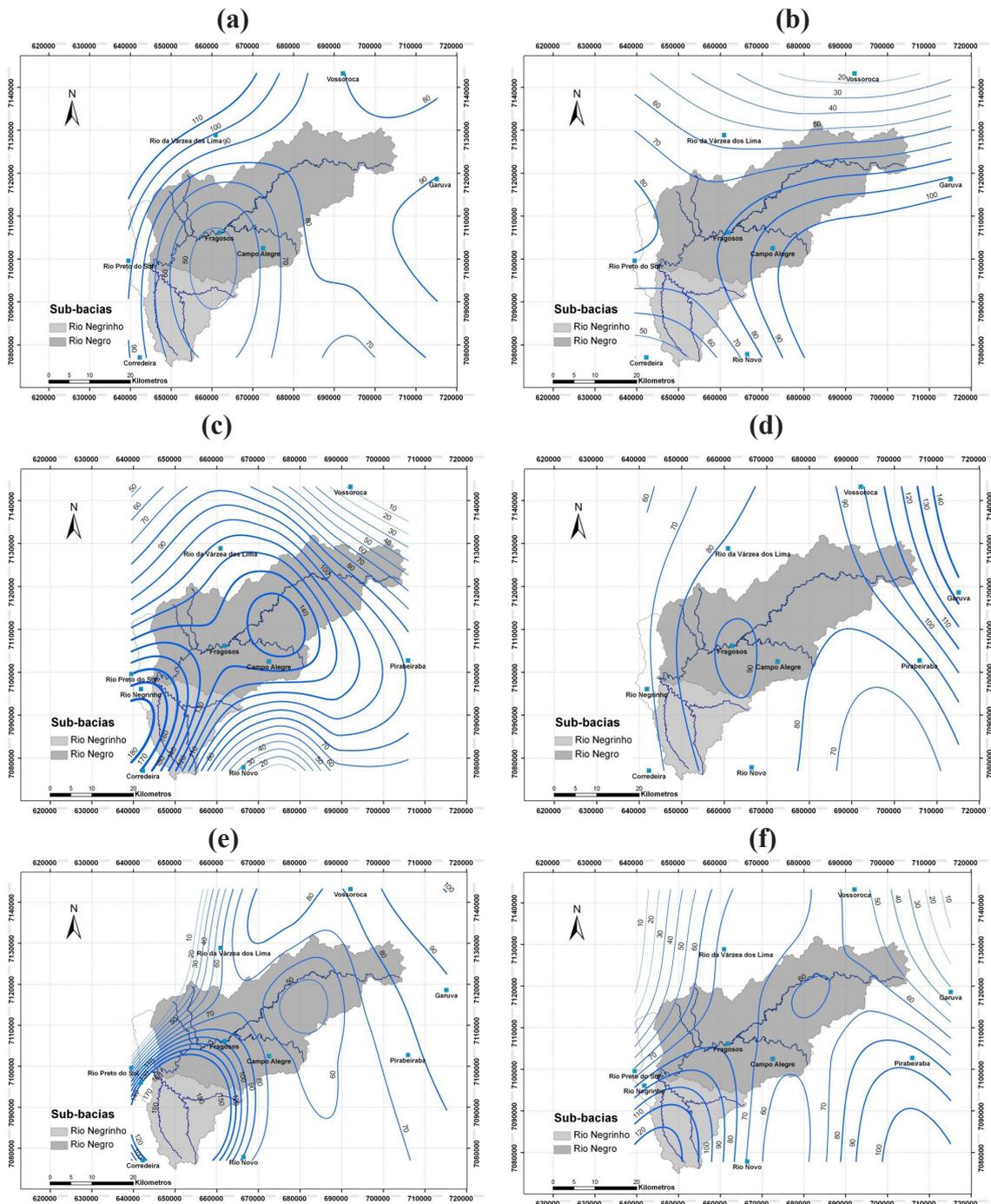
Cálculo dos parâmetros

A escolha dos parâmetros duração da chuva (D), dias de antecedência sem chuva (A), chuva média diária máxima (PmMax), tempo à PmMax (TPmMax), chuva total durante a tormenta (SPm) e a posição do núcleo da tormenta no dia de chuva mais intensa, possibilitaram ampliar a caracterização do hietograma dos eventos extremos. Nos trabalhos encontrados na literatura que tratam da caracterização de eventos extremos, podemos encontrar parâmetros como chuva média diária máxima (PmMax) e a duração da chuva (D), como nos estudos realizados por Kaspar e Müller (2007) e Beguería, Vicente-Serrano e López-Moreno (2008). Além dos parâmetros relacionados com o hietograma, neste trabalho, incorporou-se como variável a altitude do relevo correspondente ao núcleo de tormenta.

Os valores calculados de Pm da bacia superior do Alto Rio Negro e das sub-bacias do Rio Negro, e do Rio Negrinho organizados em função do dia de chuva mais intensa (TPmMax), estão demonstrados na tabela 3. Para melhor compreensão, o dia da ocorrência de TPmMax é considerado o dia zero. Dos 14 eventos, 11 apresentam valores maiores de Pm na sub-bacia do Rio Negrinho para o dia de chuva mais intensa. Da mesma maneira, na maioria dos casos, os valores de Pm são maiores nesta sub-bacia.

A figura 3 mostra os resultados obtidos da análise do conjunto do mapeamento das isoietas (Figura 2) e demonstra as posições dos núcleos de tormenta que representam os centros de massa das isoietas correspondentes ao dia de chuva mais intensa de cada evento e para cada (sub-)bacia. Na maioria das vezes, os núcleos de tormenta estavam sobre a sub-bacia do Rio Negrinho ou nas proximidades, e, podendo observa que, na maioria dos casos, as posições dos núcleos de tormenta coincidem, tendo em conta a bacia e sub-bacias. O evento (a) é o único que difere nos três casos, já os eventos (h) e (m) diferem

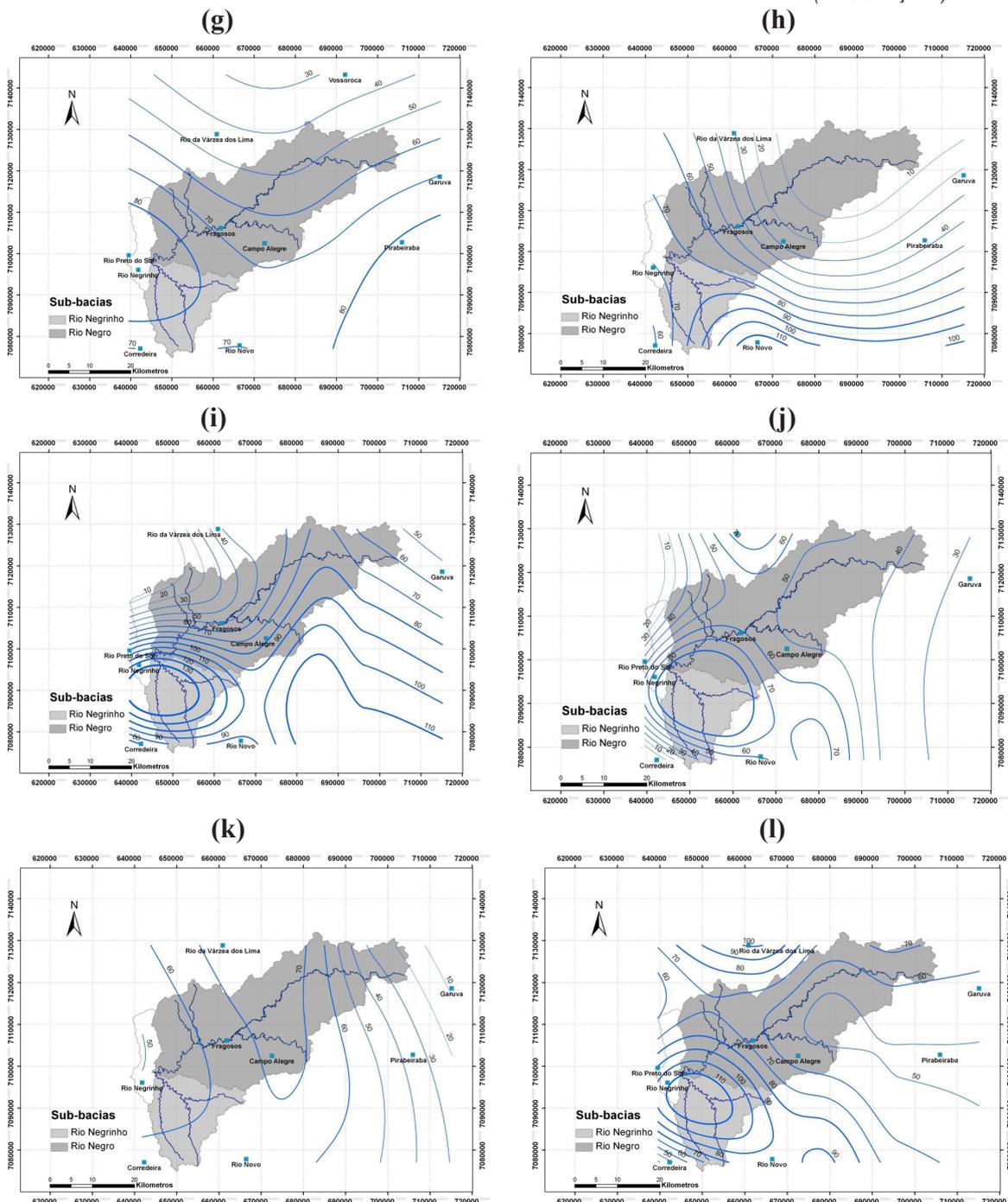
Figura 2 – Isoietas elaboradas: (a) (08/07/1983); (b) (15/06/1984); (c) (29/05/1992); (d) (08/07/1995); (e) (21/01/1997); (f) (24/04/1998); (g) (08/10/1999); (h) (25/10/2004); (i) (31/08/2005); (j) (12/09/2005); (k) (05/10/2008); (l) (28/09/2009); (m) (12/01/2010); (n) (26/04/2010)



(Continua...)

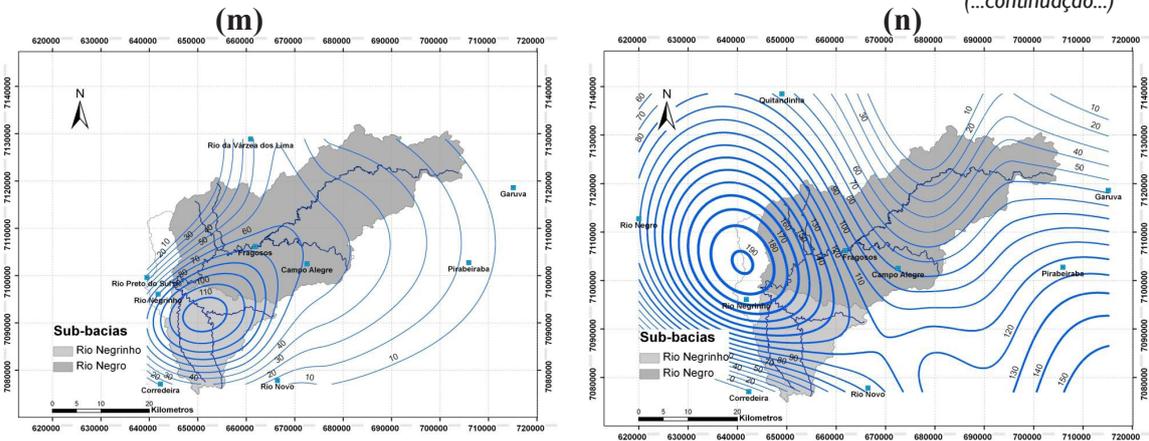
Figura 2 – Isoietas elaboradas: (a) (08/07/1983); (b) (15/06/1984); (c) (29/05/1992); (d) (08/07/1995); (e) (21/01/1997); (f) (24/04/1998); (g) (08/10/1999); (h) (25/10/2004); (i) (31/08/2005); (j) (12/09/2005); (k) (05/10/2008); (l) (28/09/2009); (m) (12/01/2010); (n) (26/04/2010)

(...continuação...)



(...continua...)

Figura 2 – Isoietas elaboradas: (a) (08/07/1983); (b) (15/06/1984); (c) (29/05/1992); (d) (08/07/1995); (e) (21/01/1997); (f) (24/04/1998); (g) (08/10/1999); (h) (25/10/2004); (i) (31/08/2005); (j) (12/09/2005); (k) (05/10/2008); (l) (28/09/2009); (m) (12/01/2010); (n) (26/04/2010) (...continuação...)



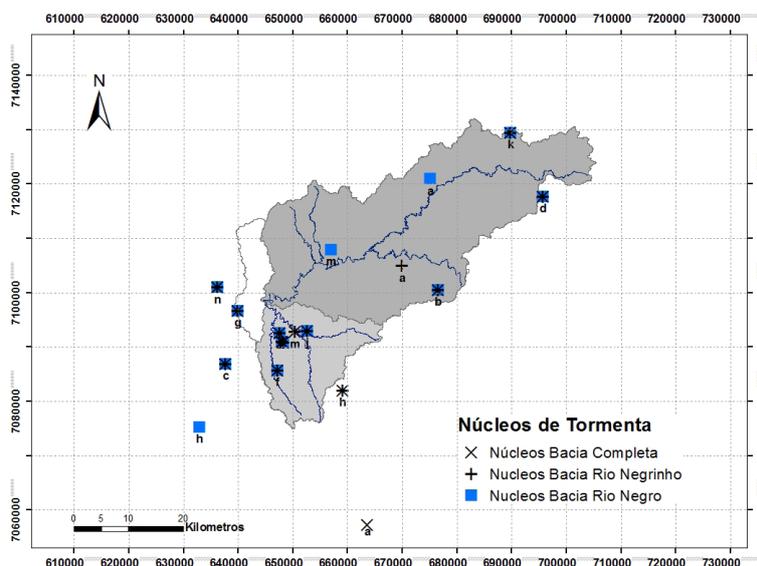
Fonte: Autores (2014)

unicamente no caso onde se leva em conta a sub-bacia de Rio Negro.

A tabela 4 apresenta os valores de PmMax [mm], TPmMax [dia], SPm [mm], da duração do evento D [dia] dos dias sem chuvas de antecedência A* [dia], das

coordenadas X e Y da posição da tormenta e da altitude Z do terreno correspondente à posição do núcleo da tormenta. Também a média e o coeficiente de variação (CV) dos parâmetros relacionados com o hietograma que foram calculados para (...conclusão.)

Figura 3 – Posição dos núcleos de tormenta no dia de chuva mais intensa



Fonte: Autores (2014).

Tabela 3 – Valores de Pm dos eventos correspondentes a inundações no Município de Rio Negrinho (1980-2010): (a) bacia do Superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho.

(a)

Evento	Pm [mm]										
a	32	54	69	70	50	13	21	19			
b		38	11	77	12	16					
c		36	39	128	43	77					
d			75	85							
e			29	88	21	8					
f			24	75							
g				67							
h			34	40	4						
i				76	53	9					
j			4	59	28	18	12				
k			20	61							
l				74	44	5					
m	8	8	13	17	56	28	49	6	4	12	13
n	11	38	26	37	93	31					
Dia	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

(b)

Evento	Pm [mm]											
a					28	55	70	69	47	14	19	21
b					38	12	79	14	17			
c					33	28	122	34	79			
d						73	87					
e						29	71	22	9			
f						18	68					
g							62					
h							31	28	3			
i							64	54	9			
j						4	53	24	18	11		
k						11	62					
l							65	50	5			
m	9	10	10	17	47	24	51	5	5	14	11	
n			9	34	28	35	79	26				
Dia	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5

(Continua...)

Tabela 3 – Valores de Pm dos eventos correspondentes a inundações no Município de Rio Negrinho (1980-2010): (a) bacia do Superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho.

(...continuação...)

(c)

Evento	Pm [mm]										
a	43	54	59	76	98	12	30	8			
b			36	5	67	9	15				
c			49	70	144	74	67				
d				78	80						
e				37	170	22	0				
f				48	106						
g					80						
h				46	77	5					
i					126	59	12				
j				3	87	42	25	16			
k				45	60						
l					104	28	5				
m	5	5	27	18	94	41	41	0	0	6	25
n	14	45	21	40	105	43					
Dia	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6

Fonte: Autores (2012).

(...conclusão...)

a bacia superior do Alto Rio Negro e as sub-bacias do Rio Negro e do Rio Negrinho.

Análise multivariada

Agrupamento de Eventos

Com o *software* Infostat®, os dados da tabela 4 foram padronizados, e as técnicas estatísticas de agrupamentos dendrogramas (*Complete Linkage – Euclidean Distances*) e *K-means* foram aplicadas aos mesmos. A figura 5 apresenta os dendrogramas correspondentes à bacia superior do Alto Rio Negro, da sub-bacia do Rio Negro e da sub-bacia do Rio Negrinho, correspondentes aos eventos analisados. Observa-se que o corte necessário para formar quatro grupos

se encontra a uma distância igual aos 57% aproximadamente da distância máxima no caso da bacia inteira, 84% no caso da sub-bacia do Rio Negro e 68% no caso da sub-bacia do Rio Negrinho.

Avaliando os resultados da figura 5, pode-se elaborar o resumo do agrupamento dos eventos para a bacia e para as sub-bacias, utilizando as técnicas *Complete Linkage – Euclidean Distances* (CL-ED) e *K-means* (K) (Tabela 5). Na análise da bacia superior do Alto Rio Negro e da sub-bacia do rio Negro, observa-se que existe uma correspondência nos grupos obtidos, onde os eventos (a) e (m) pertencem ao Grupo 1, os eventos (b), (d) e (k) ao Grupo 2, os eventos (c) e (n) ao Grupo 3 e os demais ao Grupo 4. O agrupamento da sub-bacia do Rio Negrinho apresenta

Tabela 4—Valores de PmMax, TPmMax, SPm, duração do evento D, antecedência A* e coordenadas X, Y e a altitude Z correspondentes aos núcleos de tormentas: (a) bacia do Superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho

(a)

Evento	PmMax	TPmMax	SPm	D	A*	X	Y	Z
a	70	4	328	8	3	663667	7057290	645
b	77	3	154	5	3	676620	7100450	1043
c	128	3	323	5	4	637792	7086883	808
d	85	2	160	2	3	695746	7117627	893
e	88	2	146	4	1	648344	7090808	841
f	75	2	99	2	6	647246	7085666	905
g	67	1	67	1	5	640006	7096666	852
h	40	2	78	3	2	659168	7081934	839
i	76	1	138	3	6	648069	7090955	835
j	59	2	121	5	6	652628	7092952	855
k	61	2	81	2	2	689810	7129431	950
l	74	1	123	3	3	647688	7092513	851
m	56	5	214	11	1	650464	7092752	809
n	93	5	236	6	10	636350	7100937	810
Média	75	3	162	4	4	-	-	853
CV	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	-	-	0,1

(b)

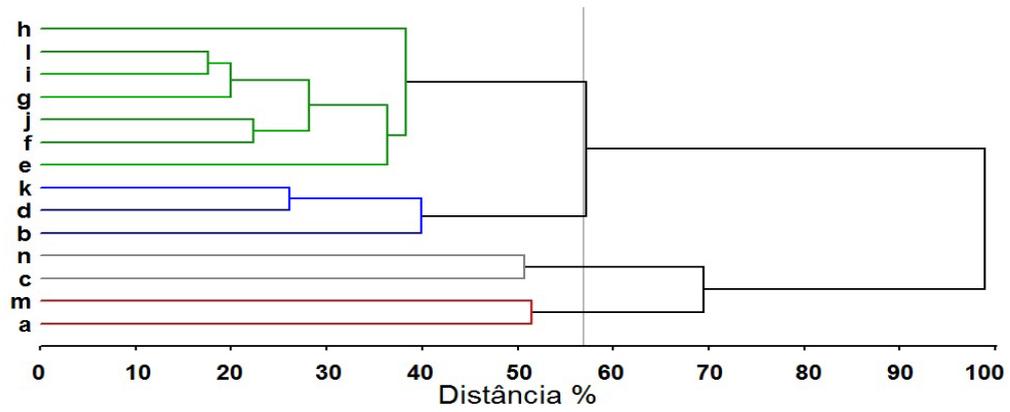
Evento	PmMax	TPmMax	SPm	D	A*	X	Y	Z
a	70	3	323	8	3	675169	7120915	850
b	79	3	160	5	3	676620	7100450	1043
c	122	3	296	5	4	637792	7086883	808
d	87	2	160	2	3	695746	7117627	893
e	71	2	131	4	1	648344	7090808	841
f	68	2	86	2	6	647246	7085666	905
g	62	1	62	1	5	640006	7096666	852
h	31	1	62	3	2	633010	7075230	931
i	64	1	127	3	6	648069	7090955	835
j	53	2	110	5	6	652628	7092952	855
k	62	2	73	2	2	689810	7129431	950
l	65	1	120	3	3	647688	7092513	851
m	51	7	203	11	1	657043	7107861	878
n	79	5	211	6	10	636350	7100937	810
Média	69	3	152	4	4	-	-	879
CV	0,3	0,7	0,5	0,6	0,6	-	-	0,1

(c)

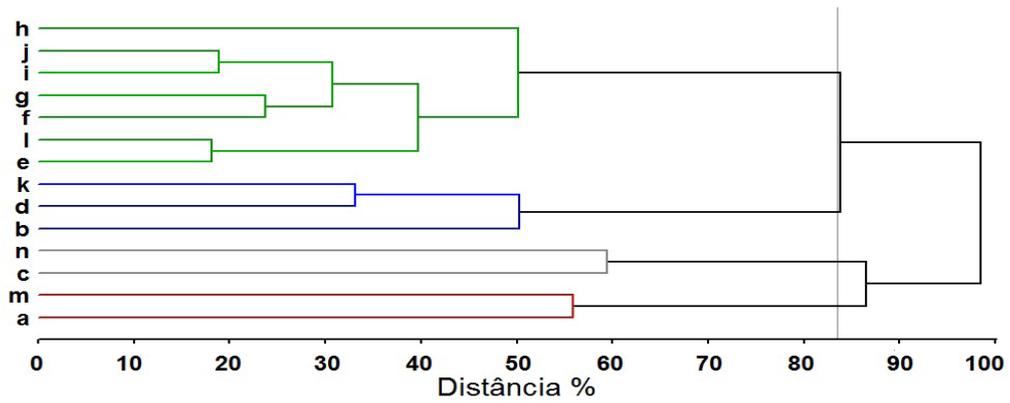
Evento	PmMax	TPmMax	SPm	D	A*	X	Y	Z
a	98	5	380	8	3	669976	7104915	872
b	67	3	132	5	3	676620	7100450	1043
c	144	3	404	5	4	637792	7086883	808
d	80	2	158	2	3	695746	7117627	893
e	170	2	229	4	1	648344	7090808	841
f	106	2	154	2	6	647246	7085666	905
g	80	1	80	1	5	640006	7096666	852
h	77	2	128	3	2	659168	7081934	839
i	126	1	197	3	6	648069	7090955	835
j	87	2	173	5	6	652628	7092952	855
k	60	2	105	2	2	689810	7129431	950
l	104	1	137	3	3	647688	7092513	851
m	94	5	262	11	1	650464	7092752	809
n	105	5	268	6	10	636350	7100937	810
Média	100	3	201	4	4	-	-	869
CV	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	-	-	0,1

Fonte: Autores (2012).

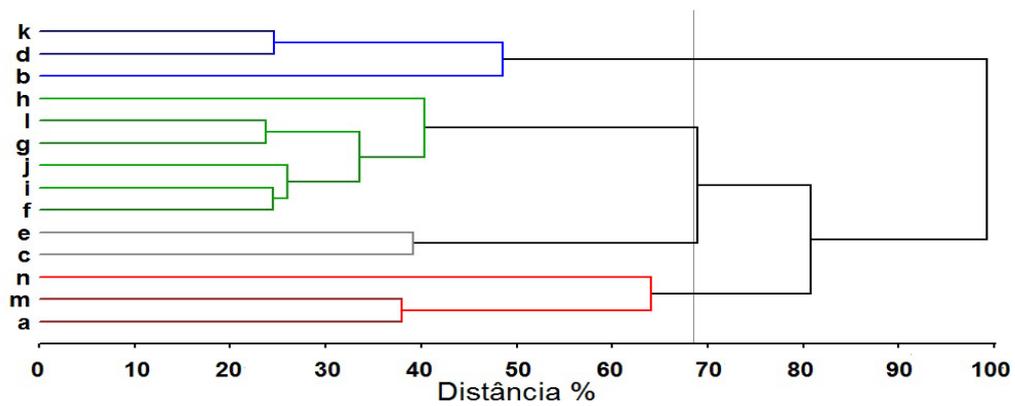
Figura 5 – Dendrograma dos eventos de inundação: (a) bacia superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores (2014).

Tabela 5 – Resultado do agrupamento utilizando *Complete Linkage – Euclidean Distances* (CL-ED) e *K-means* (K)

Evento	Superior Alto Rio Negro		Rio Negro		Rio Negrinho	
	CL-ED	K	CL-ED	K	CL-ED	K
a	1	1	1	1	1	1
b	2	2	2	2	2	2
c	3	3	3	3	3	3
d	2	2	2	2	2	2
e	4	4	4	4	3	3
f	4	4	4	4	4	4
g	4	4	4	4	4	4
h	4	4	4	4	4	4
i	4	4	4	4	4	4
j	4	4	4	4	4	4
k	2	2	2	2	2	2
l	4	4	4	4	4	4
m	1	1	1	1	1	1
n	3	3	3	3	1	1

Fonte: Autores (2012).

variações com respeito ao agrupamento da bacia inteira e da sub-bacia do Rio Negro. Essas variações estão no Grupo 1 que incorpora o evento (n) do Grupo 3 que, por sua vez, incorpora, do Grupo 4, o evento (e), e o Grupo 2 permanece igual. Apesar dessas variações, o agrupamento é consistente com respeito aos outros casos.

Parâmetros

Na figura 6, apresentam-se os dendrogramas correspondentes à bacia Superior do Alto Rio Negro, da sub-bacia do Rio Negro e da sub-bacia do Rio Negrinho, correspondentes aos parâmetros dos hietogramas e as coordenadas espaciais. O corte necessário para formar três grupos se encontra a uma distância igual a 82% da distância máxima no caso da bacia inteira, 87% no caso da sub-bacia do Rio Negro e 82% no caso da sub-bacia do Rio Negrinho. Igual à figura 5, este valor foi máximo no caso da sub-bacia do Rio Negro. O resultado mostra que não há forte relação entre os fenômenos de eventos extremos e as coordenadas.

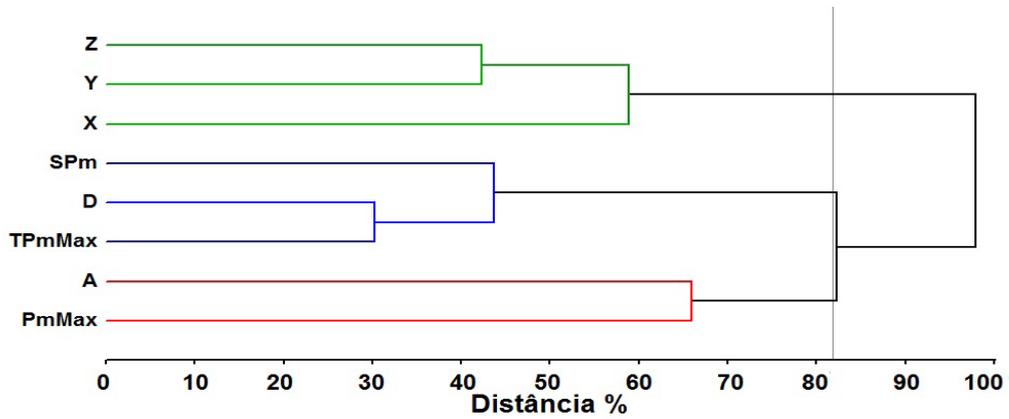
Na tabela 6, encontra-se o resumo do resultado do agrupamento dos parâmetros para a bacia e as sub-bacias utilizando as técnicas *Complete Linkage – Euclidean Distances* (CL-ED) e *K-means* (K). O agrupamento da sub-bacia do Rio Negro realizado com (CL-ED) apresenta a única diferença, onde o Grupo 1 incorpora o parâmetro SPm. Em todos os outros casos, o resultado foi sempre o mesmo: Grupo 1: PmMax e A*, Grupo 2: TPmMax, SPm e D e Grupo 3: X, Y e Z.

Análise de correlação – distâncias - similitudes

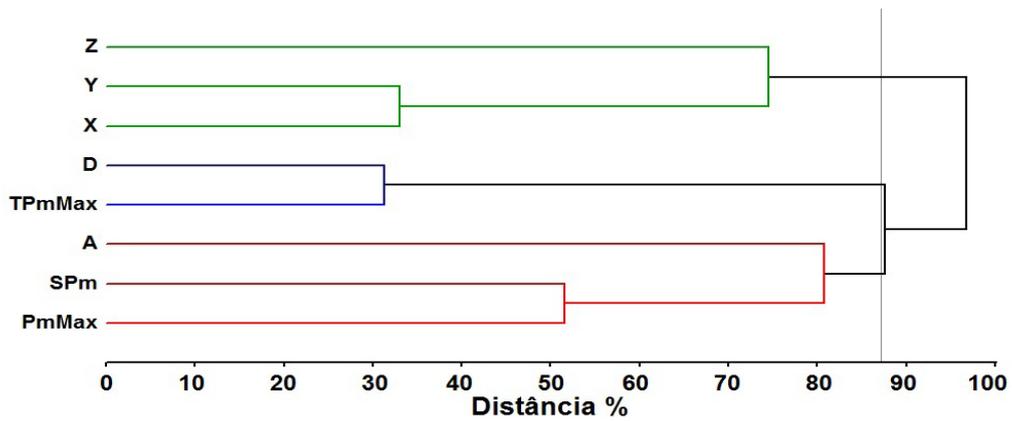
Após a padronização dos dados, foram aplicadas as técnicas estatísticas de análise multivariada: análise de correlação – distâncias – similaridade. O método escolhido foi a correlação de Spearman, utilizando a distância em função da similaridade ($1 - \text{abs}(S)$). Na tabela 7, apresentam-se o resultado da análise.

Os parâmetros que apresentam maior similaridade são TPmMax com D, TPmMax com SPm e SPm com D. Esses

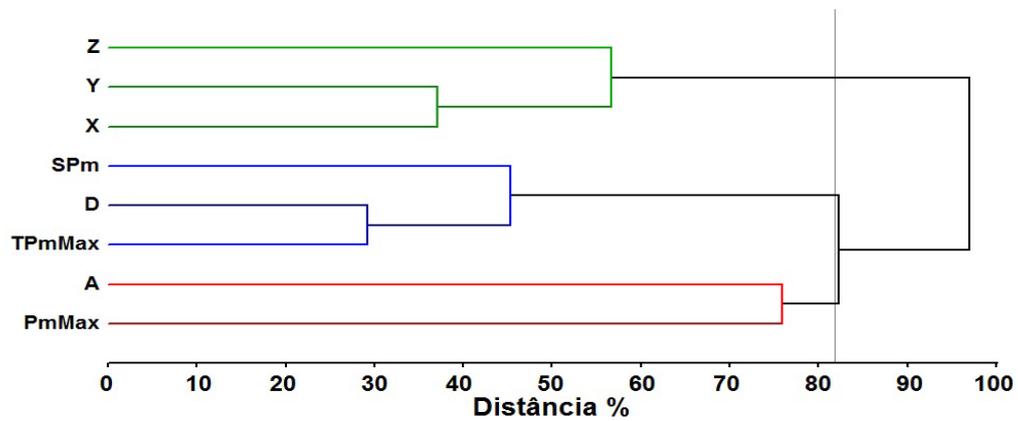
Figura 6 – Dendrogramas dos parâmetros do hietograma e as coordenadas espaciais: (a) bacia Superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores (2014).

Tabela 6 – Resultado do agrupamento utilizando Complete Linkage – Euclidean Distances (CL-ED) e K-means (K)

Parâmetro	Superior Alto Rio Negro		Rio Negro		Rio Negrinho	
	CL-ED	K	CL-ED	K	CL-ED	K
PmMax	1	1	1	1	1	1
TPmMax	2	2	2	2	2	2
SPm	2	2	1	2	2	2
D	2	2	2	2	2	2
A*	1	1	1	1	1	1
X	3	3	3	3	3	3
Y	3	3	3	3	3	3
Z	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autores (2012).

Tabela 7 – Resultado da análise correlação – distância - similaridade. Correlação de Spearman (1-abs(S))

Parâmetro		Superior Alto Rio Negro	Rio Negro	Rio Negrinho
PmMax	TPmMax	0,84	0,61	0,84
PmMax	SPm	0,46	0,36	0,46
TPmMax	SPm	0,27	0,22	0,27
PmMax	D	0,93	0,89	0,93
TPmMax	D	0,21	0,24	0,21
SPm	D	0,25	0,24	0,25
PmMax	A*	0,69	0,78	0,69
TPmMax	A*	0,87	0,93	0,87
SPm	A*	1,00	0,99	1,00
D	A*	0,91	0,91	0,91
PmMax	X	0,64	0,89	0,34
TPmMax	X	0,95	0,76	0,92
SPm	X	0,96	0,79	0,71
D	X	0,94	0,97	0,94
A	X	0,46	0,62	0,46
PmMax	Y	0,91	0,93	0,48
TPmMax	Y	0,99	0,57	0,76
SPm	Y	0,90	0,67	0,92
D	Y	0,78	0,82	0,96
A	Y	0,93	0,83	1,00
X	Y	0,77	0,29	0,53
PmMax	Z	0,91	0,64	0,44

Fonte: Autores (2012).

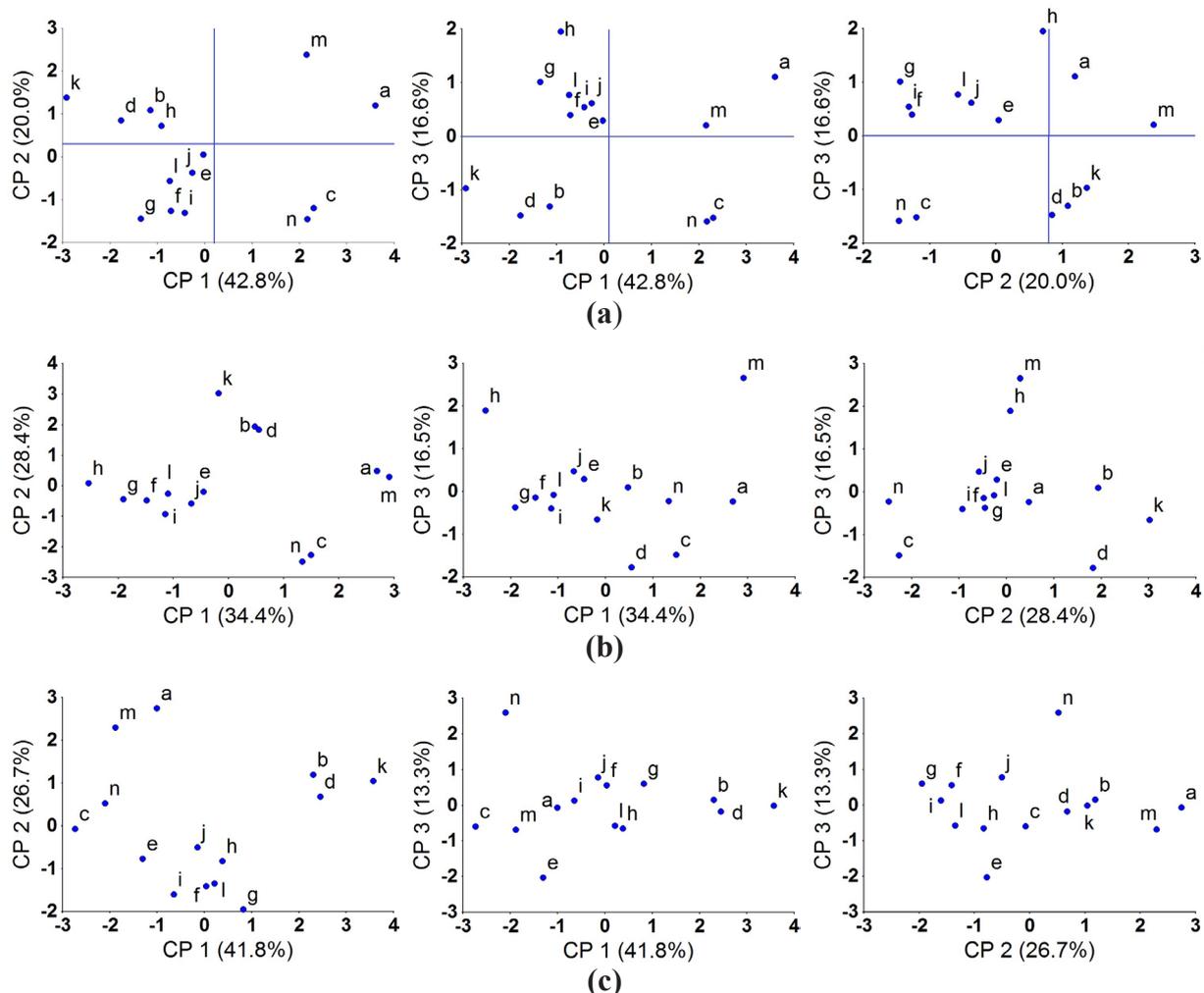
três parâmetros pertencem ao Grupo 2 do agrupamento. A menor similaridade se apresenta para os parâmetros SPm e A*.

Análise de coordenadas principais

Utilizando o *software* Infostat®, padronizaram-se os dados e se aplicaram as técnicas estatísticas de análise multivariada: análise de coordenadas principais. A figura 7 demonstra os resultados da análise com três eixos principais para a bacia superior do Alto

Rio Negro (a) e as sub-bacias do Rio negro (b) e do Rio Negrinho (c). A porcentagem da variância explicada acumulada dos dois primeiros eixos na análise de coordenadas principais da bacia Superior do Alto Rio Negro é de 62,8%. Agregando um terceiro eixo, essa porcentagem chega aos 79,4%, que é um valor mais aceitável. Por essa razão, analisou-se a combinação dos três eixos. Na figura 7, observa-se que os agrupamentos obtidos no ponto anterior se mantêm, os

Figura 7 – EMD: (a) bacia Superior do Alto Rio Negro; (b) sub-bacia do Rio Negro; (c) sub-bacia do Rio Negrinho



Fonte: Autores (2014)

eventos se aglomeram na mesma forma para os três eixos principais. Obtiveram-se valores similares nas análises das sub-bacias.

Conclusões

A metodologia apresentada permitiu chegar às seguintes conclusões:

Na maioria dos casos, os núcleos de tormenta se posicionaram na sub-bacia do Rio Negrinho para o dia de chuva mais intensa e ao longo da duração do evento.

A grande maioria dos eventos analisados de inundações que afetaram o município de Rio Negrinho derivou do volume de chuva caído localmente.

Da análise de agrupamentos obtiveram-se quatro grupos de eventos: Grupo 1: eventos (a) e (m). Grupo 2: eventos (b), (d) e (k). Grupo 3: eventos (c) e (n). Grupo 4: eventos (e), (f), (g), (h), (i), (j) e (l). Dessa análise de agrupamento relacionada com eventos extremos, as chuvas da sub-bacia do Rio Negro possuem as

mesmas características da bacia superior do Alto Rio Negro o que não acontece com a sub-bacia de Rio Negrinho que apresenta um comportamento distinto da bacia completa.

Com respeito à análise de agrupamento relacionada com os parâmetros, obtiveram-se três grupos: Grupo 1: parâmetros PmMax e A*. Grupo 2: TPmMax, SPm e D. Grupo 3: X, Y e Z. Dessa análise se pode concluir que as chuvas das sub-bacias do Rio Negro e do Rio Negrinho possuem as mesmas características

da bacia superior do Alto Rio Negro. Os parâmetros mais influentes no agrupamento de eventos são os do Grupo 2: TPmMax, SPm e D, sendo o mais importante o SPm. Os eventos do Grupo 1 apresentam valores dos parâmetros maiores que sua média.

Concluimos, com este trabalho, que é possível criar diferentes cenários com critérios mais objetivos baseados na caracterização das chuvas correspondentes a eventos extremos de inundações.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb, sistema de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 18 mar. 2011.
- BALDWIN, M. E.; KAIN, J. S. Development of an automated classification procedure for rainfall systems. **Monthly Weather Review**, v.133, p. 844-862, 2004.
- BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J. A.; ROBLEDO, C. W. **InfoStat: Manual del Usuario**. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, 2008.
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I. Distribución espacial y estacional de los eventos de precipitación en La Rioja: Intensidad, magnitud y duración. **Zubía Monográfico**, n.20, p.169-186, 2008. ISSN 1131-5423
- BLANCO, A.; BARBOZA, J.; RODRÍGUEZ, J. Determinación del tipo de régimen de lluvia anual en estaciones pluviométricas velezolanas, según análisis de Fourier y el análisis de grupo. **Terra**. v. XXVI, n.39, p.31-57, 2010.
- BOTHALE, R.; KATPATAL, Y. Spatial and Statistical Clustering Based Regionalization of Precipitation and Trend Identification in Pranhita Catchment, India. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**. (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) v.3, Issue 5, May 2014. ISSN: 2319-8753.
- BRIGODE, P.; BERNARDARA, P.; GAILHARD, J.; GARAVAGLIA, F.; RIBSTEIN, P.; MERZ, R. Optimization of the geopotential heights information used in a rainfall based weather patterns classification over Austria. **International Journal of Climatology**, p.1097-0088, 2012.
- CHECCHIA, T.; CHAFFE, P. L. B.; KOBAYAMA, M.; RIBAS Jr., U.; LANGA, R.; BASSO, S. Distribuição espacial e temporal da erosividade da chuva no Município de Rio Negrinho e região adjacente no estado de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA / REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORFOLOGY, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, UFG, 2006. [s.p.].
- EPAGRI CIRAM. Empresa de Pesquisas Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. **Mapoteca**. 2011. Disponível em: <<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M. Flood areas characteristics in Rio Negrinho city, southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 12., Porto Alegre. [S. I.], Porto Alegre: [S.I.], 2011. p. 1-8.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Mapas**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>. Acesso em: 20 set. 2010.

KADOYA, M.; CHIKAMORI, H.; ICHIOKA, T. Some characteristics of heavy rainfalls in the Yamato river basin found by the principal component and cluster analyses. Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993). **IAHS**, n.213, [s.p.], 1993.

KAŠPAR, M.; MÜLLER, M. Extreme large-scale precipitation events within Czech river basins. In: STŘELCOVÁ, K.; ŠKVARENINA, J.; BLAŽENEC, M. (Ed.). **Bioclimatology and natural hazards** - International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 - 20, 2007. [s.p.]. ISBN 978-80-228-17-60-8

KAŠPAR, M.; MÜLLER, M. Selection of historic heavy large-scale rainfall events in the Czech Republic. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, n.8, p.1359–1367, 2008.

KOBAYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRÖDER, P. H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G. M. P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2004. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.834-846.

KOBAYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B.; ROCHA, H. L.; CORSEUIL, C. W.; MALUTTA, S.; GIGLIO, J. N.; MOTA, A. A.; SANTOS, I.; RIBAS JUNIOR, U.; LANGA, R. Implementation of school catchments network for water resources management of the Upper Negro River region, southern Brazil. In: TANIGUCHI, M.; BURNETT, W. C.; FUKUSHIMA, Y.; HAIGH, M.; UMEZAWA, Y. (Ed.). **From headwaters to the ocean: hydrological changes and watershed management**. London: Taylor & Francis Group, 2009. p.151-157.

MUÑOZ-DÍAZ, D.; RODRIGO, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. **Annales Geophysicae**, v.22, p. 1435–1448, 2004. © European Geosciences Union.

NAZARIPOUR, H.; KHOSRAVI, M. Identification of precipitation types by cluster analysis method (Case Study: Zahedan. Iran). **Geography and Environmental Planning**, 21th Year, v. 40, n.4, p. 29-44, 2011.

SANTOS, C. A. G.; FREIRE, P. K. M. M. Analysis of precipitation time series of urban centers of Northeastern Brazil using wavelet transform. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering**, v.6, n.7, [s. p.], 2012.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas em América do Sul**. Associação Porto Alegre: Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. ISBN: 85-88686-07-4.

WIDER, J. **The impact of high magnitude precipitation events and sediment availability on the occurrence of debris floods in the Gratzental basin, Austria**. 2011. Master's Thesis Faculty of Science University of Bern, Bern, 2011.