

Suscetibilidade a inundações no município de Encantado/RS

João Paulo Brubacher ¹
Guilherme Garcia de Oliveira ¹
Laurindo Antonio Guasselli ¹
Renata Pacheco Quevedo ¹
Fabiana Sirângelo ¹

1 Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale - Agronomia. Caixa Postal: 15044. CEP 91501-970. Porto Alegre - RS, Brasil.
jp.brubacher@hotmail.com, g.g.oliveira@gmail.com, laurindo.guasselli@ufrgs.br, renatapquevedo@gmail.com, fabisirangelo@hotmail.com

Abstract. Floods are the most frequent type of disaster in Brazil, so that the use of GIS tools is extremely important for the study and evaluation of susceptibility to flooding because it assists in understanding the flow patterns and landforms. The city of Encantado/RS is one of the hardest hit by floods in river basin Taquari-Antas. The aim of this paper is to analyze the relationship between the morphology in sub-basins of the watershed Taquari-Antas and susceptibility to flooding in Encantado city. Initially, SRTM data were handled and six sub-basins were extracted, considering the sub-basins upstream from Encantado and influence in the city, and their morphometric indices (ranging altimetric, drainage density, circularity index, etc.). The upstream sub-basins are characterized by areas with low vegetation, shallowness and low permeability soils. In downstream sub-basins, sediment deposition and the formation of the plains occurs, favoring the accumulation of water. The city of Encantado is directly influenced of the sub-basins of the rio Antas, Carreiro, Guapore and Jacaré stream, with an contribution area of 19.300 km². As a result, it is found that the areas of the city in the Jacaré stream sub-basin are more susceptible to landslides due to steep slopes and small drainage area. In coming to the shores of Taquari river due to lower flow velocity and for being a flatter area, there is a greater susceptibility to gradual flooding.

Palavras-chave: modelo digital de terreno, análise morfométrica, SRTM, digital elevation model, morphometric analysis.

1. Introdução

Desastres naturais podem ser conceituados como o resultado do impacto de um fenômeno natural intenso ou extremo sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (Tobin e Montz, 1997). Conforme dados do EM-DAT (2007), dos desastres considerados de grande severidade, com grande número de óbitos e de desabrigados, os tipos mais frequentes no Brasil, no período de 1900 a 2006, foram as inundações, com 59% dos registros, seguido pelos escorregamentos (14%).

No ano de 2012, o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais da Presidência da República foi lançado como um plano de governo com ações coordenadas para o enfrentamento de desastres e prevenção de tragédias. Entre outras ações, este plano determina a prevenção, o monitoramento e o alerta e o mapeamento de áreas de alto risco de deslizamento, enxurradas e inundações.

O Plano foi desenvolvido para a sua aplicação em 821 municípios do território nacional, eleitos como prioritários, tendo como base em estudo desenvolvido pelo CEPED (Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres) da Universidade Federal de Santa Catarina, por representarem 94% das mortes e 88% das pessoas afetadas. De um total de 251 municípios com possível risco de desastres naturais (inundações e deslizamentos), a CPRM selecionou 56 e, posteriormente, 28 cidades que estão em situação de “alto risco e muito alto risco” e que tinham poucas informações. A maioria das cidades fica no Sul e Sudeste. Nesses municípios

foram definidas áreas de risco conforme a recorrência dos principais desastres, o número de pessoas desalojadas ou desabrigadas e o número de óbitos no período.

No Rio Grande do Sul, foram selecionados oito municípios, visando estabelecer uma metodologia para o mapeamento de vulnerabilidade, entre eles o município de Encantado. Encantado localiza-se na porção centro-oriental do Rio Grande do Sul e possui uma área de 140,88 km². O município está localizado a margem direita do rio Taquari, a cerca de 70 km da foz da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, que é um dos principais afluentes do rio Jacuí, que faz parte da Região Hidrográfica do Lago Guaíba (Figura 1).

Esse município foi escolhido por ser um dos mais atingidos por inundações na bacia hidrográfica Taquari-Antas. Segundo Bombassaro e Robaina (2010), as recorrentes inundações nos municípios da bacia fizeram com que, no período entre 1980 e 2007, 55% dos casos de inundações resultassem no decreto de Situação de Emergência Municipal. O município de Encantado foi um dos que apresentaram maior prejuízo econômico a partir desses eventos.

De acordo com Sirângelo (2014), o maior número de casos de inundações e enxurradas está localizado próximo à foz da bacia hidrográfica Taquari-Antas. Nesse trecho da bacia, a velocidade de escoamento perde intensidade, com uma maior planície de inundação, além do maior volume de água, drenado pela montante da bacia.

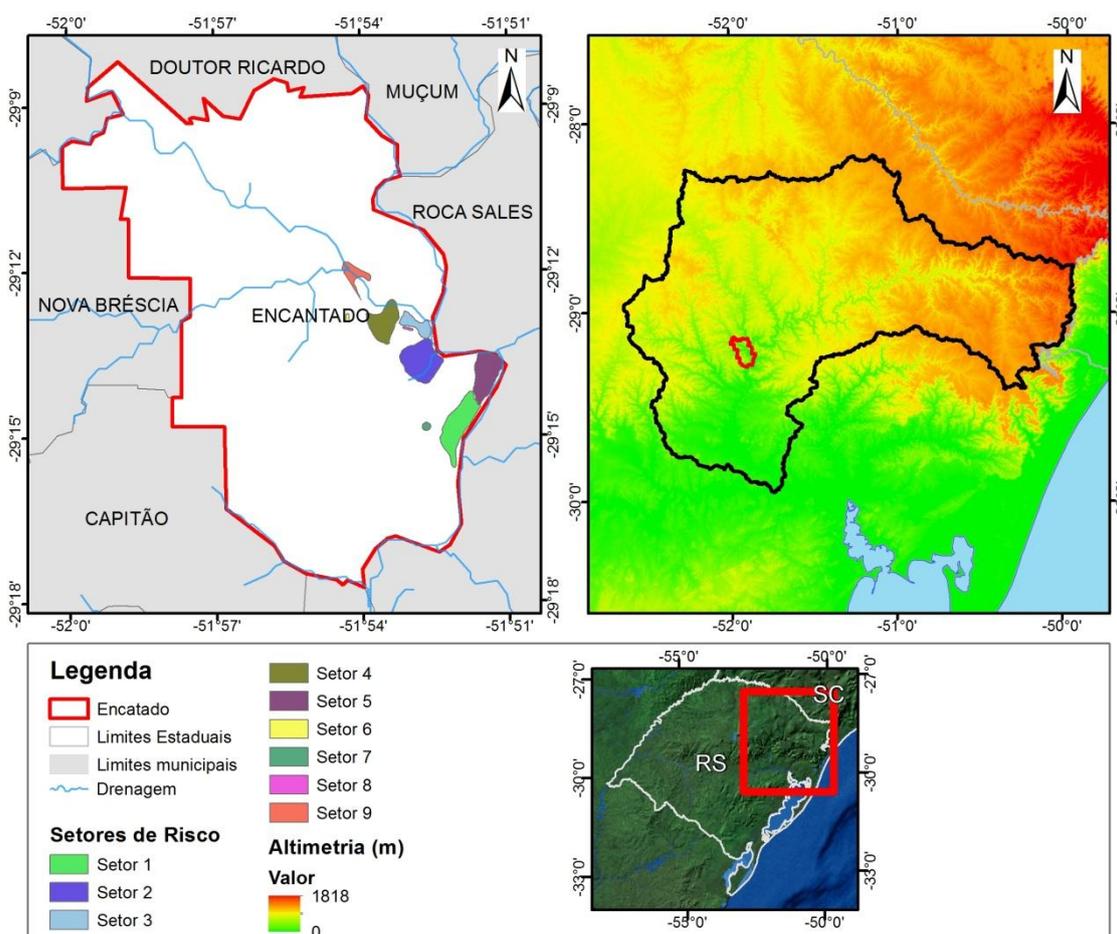


Figura 1: Localização dos setores de risco, município de Encantado, bacia hidrográfica Taquari-Antas - RS.

De acordo com Marchi *et al.* (2010), Santos *et al.* (2012), Brubacher *et al.* (2011) e Tonello *et al.* (2006), a utilização de ferramentas de SIG para a análise das variáveis

morfométricas se caracteriza como uma boa alternativa para a avaliação de suscetibilidade a inundações, colaborando na identificação de padrões de escoamento e formas de relevo, facilitando a identificação de áreas suscetíveis.

Conforme Lima (2011), a suscetibilidade expressa uma condição potencial, não uma certeza de que ocorrerá um desastre em nosso tempo histórico. No entanto, torna-se importante esse tipo de mapeamento principalmente visando o conhecimento e o bem-estar dos moradores de localidades envolvidas, já que muitas vezes um evento pode levar anos e até décadas para ocorrer.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é analisar a relação entre a morfometria em sub-bacias da bacia hidrográfica Taquari-Antas e a suscetibilidade a inundações no município de Encantado.

2. Materiais e métodos

Foram utilizados no trabalho os seguintes materiais: a) Dados SRTM, modelo de elevação com resolução espacial de 90 m, disponibilizados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e adaptados para o estado do Rio Grande do Sul por Weber *et al.* (2004); b) Dados da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), órgão de apoio da Secretaria de Tecnologia da Informação para superintender os assuntos ligados à cartografia nacional; c) software ArcGIS 10.2.

O trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) manipulação dos dados SRTM; b) divisão de sub-bacias; c) extração dos índices morfométricos por sub-bacias; d) análise da relação entre a morfometria das bacias a montante de Encantado e a suscetibilidade a inundações no município.

Através da extensão do software ArcGIS, aplicativo ArcMap, ferramentas de Hidrologia, foram processados os dados SRTM. A primeira etapa compreendeu o preenchimento da superfície, por meio do comando “preencher”. Esse processo compreendeu a filtragem do modelo de elevação para a remoção de informações discrepantes (variações abruptas e inconsistentes), o que garante a continuidade do fluxo de drenagem no modelo, imprescindível para a extração de variáveis morfométricas mais coerentes. Os comandos aplicados em seguida foram “Direção de fluxo” e “Acumulação de fluxo”. O método utilizado para obtenção das direções de fluxo foi proposto por Jenson e Domingues (1988), que utiliza a lógica da maior declividade, dando uma direção de fluxo para cada pixel do modelo, considerando uma janela móvel com dimensão 3x3. Já a grade com áreas acumuladas de fluxo representa a soma das áreas dos pixels que deságuam em cada unidade (pixel), através da rede de drenagem. A partir disso, foram localizados os pontos referentes à foz de cada sub-bacia, e aplicado o comando “Ajustar ponto de escoamento”. O comando “Vertente” permite a delimitação de cada sub-bacia, que, em seguida, são convertidas para o formato vetorial através da ferramenta de conversão “Raster para polígono”.

A segunda etapa compreendeu a fragmentação da bacia hidrográfica Taquari-Antas em seis sub-bacias, com objetivo de verificar a influência da bacia no município de Encantado, de forma que, embora delimitadas, as sub-bacias do rio Taquari e do rio Forqueta ficaram fora da análise. As sub-bacias foram nomeadas de acordo com a cartografia da DSG, sendo que o critério para a delimitação das sub-bacias considerou os principais rios com influência em Encantado. Portanto, as seis sub-bacias delimitadas são as seguintes: rio das Antas, rio Taquari, rio Carreiro, rio Guaporé, rio Forqueta e arroio Jacaré.

Para cada sub-bacia foram extraídas sete variáveis morfométricas: área (A), amplitude altimétrica (H); densidade de drenagem (Dd); índice de circularidade (Ic); relação do relevo (Rr); declividade (G) e sinuosidade (Is). A amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. A densidade de drenagem, definida por Horton (1945), relaciona o comprimento da drenagem e a área da bacia (Eq. 1). O índice de circularidade,

proposto por Müller (1953), relaciona a área da sub-bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro (Eq. 2). A relação do relevo foi concebida por Schumm (1956) e utiliza a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal da sub-bacia (Eq. 3). O índice de sinuosidade, proposto por Schumm (1963), relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal (Eq. 4).

$$Dd = \frac{C}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: C é o comprimento total da drenagem; A é a área da sub-bacia.

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: A é a área da sub-bacia; Ac é a área de um círculo de perímetro igual à sub-bacia.

$$Rr = \frac{\Delta a}{L} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: Δa é a amplitude altimétrica da sub-bacia; L é o comprimento do canal principal da sub-bacia.

$$Is = \frac{L}{dv} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: L é o comprimento do canal principal; dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal.

Quanto à influência dessas variáveis nas inundações em cada sub-bacia, e no município de Encantado, foram considerados os seguintes critérios: i) a área corresponde à variável morfométrica mais importante, já que define de modo geral o volume de água que será escoado pela sub-bacia; ii) amplitude altimétrica, relação do relevo e declividade: definem, em parte, a velocidade de escoamento. Quanto maiores forem os valores, mais rápido é o escoamento, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia e favorecendo a concentração de água a jusante, em áreas mais planas. Geralmente, no interior de sub-bacias com elevados valores desses índices, ocorrem poucas enchentes, predominantemente de rápida duração; iii) densidade de drenagem é proporcional à velocidade com a qual a água atinge o rio, ou seja, quanto maior o índice, maior o efeito de inundações a jusante da bacia; iv) índice de circularidade: a forma da sub-bacia influencia na retenção da água das chuvas. Quanto mais circular, maior a retenção de água na sub-bacia, aumentando a suscetibilidade às enchentes na sub-bacia e reduzindo os efeitos a jusante; v) índice de sinuosidade: a relação entre o comprimento verdadeiro do canal e o seu comprimento vetorial permite identificar a sinuosidade. Quanto maior o índice, menor a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, menor a influência nas enchentes a jusante da sub-bacia (maior retenção de água no interior da sub-bacia).

3. Resultados e discussões

3.1 Análise morfométrica

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos por cada variável morfométrica nas nove sub-bacias delimitadas na bacia hidrográfica Taquari-Antas, e a Figura 2 apresenta a divisão das sub-bacias.

Tabela 1. Valores dos índices morfométricos nas sub-bacias

Sub-bacias	A (km ²)	H (m)	Dd (km/km ²)	Ic	Rr	Is	G(%)
Rio Guaporé	2489.02	789	0.32	0.31	3.98	2.07	17.12
Rio das Antas	13618.87	1234	0.29	0.24	2.88	2.36	15,01
Arroio Jacaré	539.46	741	0,26	0.41	1.08	0.77	24.03
Rio Carreiro	2564.84	851	0.30	0.35	4.67	2.1	15.92

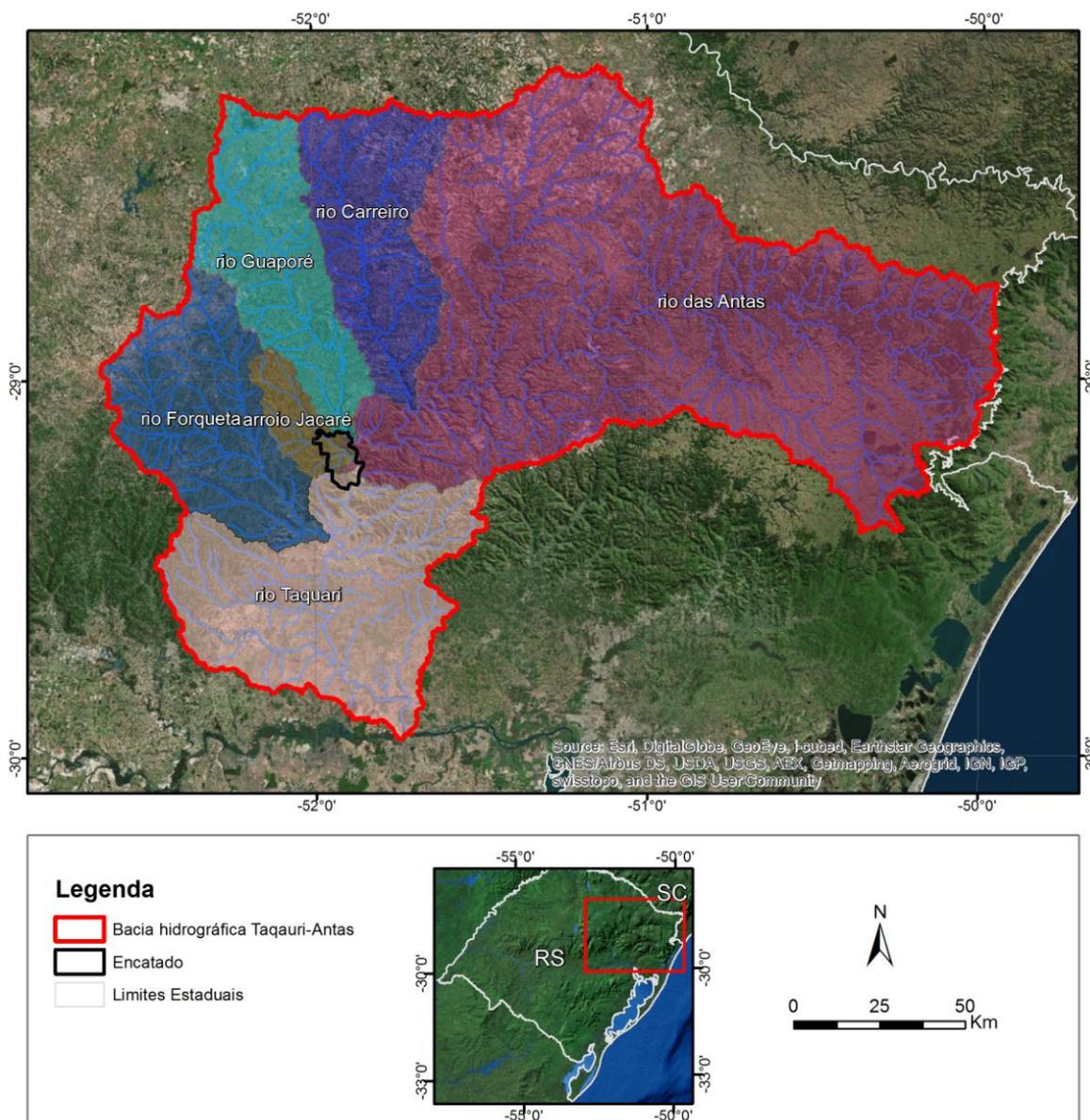


Figura 2 - Divisão das sub-bacias da bacia hidrográfica Taquari-Antas

De acordo com a divisão proposta, a bacia do rio das Antas apresenta uma área que representa praticamente metade da área total da bacia hidrográfica Taquari-Antas, com 13618,87 km². A menor sub-bacias delimitada foi a do Arroio Jacaré, com 539,46 km², no entanto, a área do município de Encantado se encontra diretamente influenciada pelo que acontece nessa sub-bacia.

A área pode ser considerada uma das variáveis morfométricas mais importantes para a análise de suscetibilidade a inundações, uma vez que define de modo geral o volume de água

que será escoado pela sub-bacia, ou seja, quanto maior for a área da sub-bacia, maior será o volume de água que passará pelo seu exutório.

O índice de circularidade (I_c) possui influência na retenção da água das chuvas e apresenta, como resultado, que a sub-bacia mais circular é a do arroio Jacaré (0,41) e a menos circular é a sub-bacia do rio das Antas (0,24).

Em relação aos índices que tratam da velocidade de escoamento (amplitude altimétrica, relação de relevo e declividade), a sub-bacia do rio das Antas apresenta uma amplitude altimétrica de 1234 m. A bacia possui suas nascentes na região do Planalto Médio, em altitudes superiores a 1000 m, o que define, em parte, o formato e o escoamento dos rios. A declividade média da bacia não se apresenta de modo muito acentuado, pois a mesma vai ficando mais plana em direção à foz. Com relação à declividade, as sub-bacias oscilam de ondulado (com variação de 8 a 20%), exceto a sub-bacia do arroio Jacaré, que apresenta um relevo fortemente ondulado, com um valor 24,03%. Os valores de declividade acima de 15% na maior parte da bacia, associados à rede de drenagem densa, pouca cobertura vegetal, pouca profundidade e baixa permeabilidade dos solos, possibilita a ocorrência de enxurradas.

A sub-bacia do médio rio das Antas apresenta um valor de 925 m de amplitude altimétrica a sub-bacia do médio Antas, 851 m e o rio Turvo, de 834 m. A relação de relevo aponta para os maiores valores nas sub-bacias do baixo e médio rio das Antas (5,9 e 5,74), e Rio Taquari (5,5).

A sub-bacias apresentaram valores relativamente baixos de densidade de drenagem (D_d). Embora o índice de sinuosidade (I_s) se apresente como tortuoso nas sub-bacias do rio das Antas, do rio Guaporé e do rio Carreiro, e de forma mais retilínea na bacia do arroio Jacaré, com um valor de 0,77.

De forma geral, os valores de declividade nas sub-bacias a montante de Encantado são relativamente baixos, no entanto, esse fator tem influência à ocorrência de inundações a jusante da bacia, além do fato de que a área drenada corresponde a mais da metade da área total da bacia hidrográfica Taquari-Antas. A alta declividade do arroio Jacaré evidencia a possibilidade de enxurradas nessa sub-bacia e um incremento à possibilidade de inundações a partir da confluência do arroio Jacaré com o rio das Antas.

3.2 Suscetibilidade a inundações em Encantado

O município de Encantado tem a sua área localizada entre a foz da sub-bacia do arroio Jacaré e do rio Taquari. Nesse ponto, o município sofre influência de toda a área das sub-bacias do rio das Antas, rio Guaporé, rio Carreiro e arroio Jacaré. A área total de contribuição que chega ao município é de 19212 km².

A área mais urbanizada do município se localiza próximo ao arroio Jacaré e o rio Taquari, que faz a divisa entre os municípios de Encantado e Roca Sales. O arroio Jacaré, apesar de não contar com uma área de contribuição muito extensa, a alta declividade da sub-bacia e a baixa sinuosidade do canal contribuem para as ocorrências de enxurradas a jusante da sub-bacia. Os bairros do município que se localizam próximos aos arroios Jacarezinhos (afluente do arroio Jacaré) e o próprio arroio Jacaré, são os que mais sofrem os efeitos desse tipo de desastre.

Na parcela do município que se encontra as margens do rio Taquari, a suscetibilidade a inundações se destaca nas áreas de terraços e as planícies fluviais. Nesse trecho, conforme o Modelo Digital do Terreno, o Vale como feição geomorfológica deixa de ser tão encaixado, como acontece principalmente a montante das sub-bacias do rio das Antas, rio Carreiro e rio Guaporé, e passa a dar espaço para áreas mais planas.

A partir da confluência entre o rio Taquari e o rio Guaporé, o relevo fica mais plano e as águas perdem velocidade, ocorrendo a deposição de sedimentos e a formação das planícies e terraços. Com a perda de velocidade, ocorre o acúmulo de água nessas áreas mais planas, algo

que pode ser agravado com o efeito de remanso que pode ocorrer na jusante da bacia hidrográfica Taquari-Antas, pela elevação do nível do rio Jacuí.

O município é diretamente influenciado pelo comportamento das sub-bacias a montante. A sub-bacia do rio das Antas possui uma grande área de contribuição e elevada amplitude altimétrica, que se soma a contribuição das sub-bacias dos rios Carreiro e Guaporé. Na bacia do rio das Antas, devido à grande área de contribuição dessa sub-bacia e a baixa declividade que o rio Taquari apresenta ao chegar ao ponto onde está Encantado, associa-se um gradual aumento da planície de inundação nesse trecho do rio. No interior do município, é mais elevada a suscetibilidade a enxurradas, tendo em vista as características da sub-bacia do arroio Jacaré. Conforme pode ser observado na Figura 2, é justamente nesse trecho que foram delimitados os setores de risco do município.

4. Conclusões

A fragmentação de bacias hidrográficas em sub-bacias, associada à extração dos valores das variáveis morfométricas, auxiliam na compreensão da dinâmica no interior da bacia e em como os eventos pluviométricos mais intensos podem se comportar nas sub-bacias de montante e de jusante. A bacia Taquari-Antas é caracterizada, nas áreas de montante, por áreas de pouca cobertura vegetal, pouca profundidade e baixa permeabilidade dos solos, com vales bastante encaixados que favorecem a ocorrência de enxurradas. Quanto mais a jusante da bacia Taquari Antas, percebe-se que a declividade vai diminuindo e a planície de inundação aumentando, favorecendo as inundações graduais.

O município de Encantado está localizado em um trecho do rio Taquari com influência direta das sub-bacias dos rios das Antas, Carreiro, Guaporé e arroio Jacaré. Devido à localização, recebe uma área de contribuição de 19.300 km². As áreas com maior suscetibilidade a enxurradas ocorrem na sub-bacia do arroio Jacaré, devido à alta declividade e pequena área de drenagem. A maior suscetibilidade a inundações ocorre às margens do rio Taquari, onde o rio encontra uma área mais plana e já possui menor velocidade de fluxo, causando retenção de água nos trechos mais a jusante da bacia Taquari-Antas, incluindo o município de Encantado.

5. Referências

- Bombassaro, M.; Robaina, L.E.S. **Contribuição geográfica para o estudo das inundações na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS**. Geografias. Belo Horizonte 06(2) 69-86 julho-dezembro de 2010.
- Brubacher, J.P.; Oliveira, G.G.; Guasselli, L.A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1279.
- EM-DAT - Emergency Events Database. **The OFDA/CRED International Disaster Database**. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>> Acesso em: 06 mar. 2014.
- Horton, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v.56, n.3, p. 275-370, 1945.
- Jenson, S. K.; Domingue, J. O. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54 (11), p. 1593-1600, 1988.
- Lima, M.M.L. 2010. **Mapeamento da suscetibilidade a inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre/RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRGS, 174p.
- Marchi, L.; Borga, M.; Preciso, E.; Gaume, E. - **Characterization of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management**. Journal of Hydrology 394. Pg 118-133. 2010.

Müller, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area.** New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology, n.3, p. 30, 1953.

Santos, R.F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA. 192 p. 2007.

Sirangelo, F. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil.** 2014. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

Schumm, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin, n.67, p. 597-646, 1956.

Schumm, S. A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains.** Geological Society of America Bulletin, v.74, n.9, p. 1089-1100, 1963.

Tobin, G. A.; Montz, B. E. **Natural Hazards: explanation and investigation.** New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

Tonello, K.C.; Dias, H.C.T.; Souza, A.L.; Alvares, C.A.; Ribeiro, S.; Leite, F.P. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG.** Revista Árvore, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

Weber, E.; Hasenack, H.; Ferreira, C.J.S. 2004. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação.** Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.