

Mapeamento da planície de inundação do rio Sapucaí para a área urbana do município de Itajubá (MG)

João Bosco Coura dos Reis ¹
André Luis da Silva Bertoncini ¹
Camilo Daleles Rennó ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{joao.reis, andre.bertoncini}@inpe.br
camilo@dpi.inpe.br

Abstract. Combination of climate, natural conditions and irregular occupation of river basins makes Brazil one of the countries most affected by floods in the world. While economic and population growth push the population to live in areas prone to flood events, it is important to adopt necessary measures to reduce disaster risk. Land use planning and disaster prevention involve the concept of susceptibility to flooding which can be understood as the set of natural conditions that increase the likelihood of a region to be flooded and can be observed before the occurrence of a disaster. In this context, the aim of this work is to delimitate the floodplain of the Sapucaí River in the Itajubá urban area, located in southern Minas Gerais (MG) State, Brazil, and classify the main land use classes present within the floodplain. The methodology used presented satisfactory results, allowing the delimitation of the floodplain through the topographic variable, to delimit the floodplain of the Sapucaí River in the region of the urban area of Itajubá. The intersection between land use information and the mapped floodplain indicates the exposure of the Itajubá urban area to potential losses of lives and material assets, which highlights the need for risk prevention measures.

Palavras-chave: DEM, SRTM, image processing, topographic height, Sapucaí River, MDE, processamento digital de imagens, altura topográfica, rio Sapucaí.

1. Introdução

A ocorrência de desastres constitui um tema de relevantes discussões cada vez mais presentes no meio da comunidade técnica e científica, das autoridades governamentais e da sociedade civil. Dentre os tipos de desastres, os de origem hidrológica, como inundações e movimentos de massa, representam a maior parte do número de desastres registrados no mundo, sendo responsáveis por um grande número de vítimas e prejuízos econômicos (GUHA-SAPIR *et al.*, 2014).

No Brasil, a combinação do clima, condicionantes naturais e a ocupação irregular de bacias hidrográficas faz com que o país seja um dos mais afetados por inundações (RODRIGUEZ *et al.*, 2009), no qual, baseado em um levantamento de dados entre os anos de 1991 e 2010, apontou-se um aumento no número de ocorrências de inundações bruscas (6771 casos) e graduais (3673 registros) (UFSC, 2012). Entre os muitos fatores, Kundzewicz *et al.* (2013) relacionam o aumento do risco de inundações ao crescimento econômico e populacional, visto que pressiona a população a viver em áreas propensas a ocorrência do evento, aumentando sua exposição a potenciais perdas de vidas e bens materiais.

Embora haja dificuldade em padronizar as definições de inundações e de processos hidrológicos correlatos, no Brasil, de acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), as inundações fazem parte dos desastres do tipo hidrológico, junto com as enxurradas e alagamentos (BRASIL, 2012b). De forma resumida, a inundação representa a elevação do nível d'água provocado pelo aumento da vazão, transbordando a cota máxima do canal principal e atingindo a planície de inundação (CARVALHO *et al.*, 2007).

Muñoz (2014) desenvolveu uma metodologia para a delimitação de planícies de inundação a partir da topografia, utilizando como recurso dados de elevação da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resultados satisfatórios para a bacia do rio Itajaí, em Santa Catarina. O trabalho destacou a utilidade deste tipo de abordagem na avaliação da

exposição a inundações e no mapeamento da susceptibilidade, como uma contribuição metodológica à redução do risco de desastres por inundações.

Tendo em vista a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e promove a adoção de medidas necessárias à redução dos riscos de desastre por meio da identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres (BRASIL, 2012a), o objetivo deste trabalho foi delimitar a planície de inundação do rio Sapucaí na área urbana de Itajubá, município localizado no Sul do estado de Minas Gerais (MG), e classificar as principais classes de uso e cobertura da terra presentes dentro da planície de inundação. Dessa forma, espera-se que os resultados do trabalho contribuam com os estudos e conhecimentos necessários para a tomada de medidas preventivas de desastres na região.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

O município de Itajubá (MG) está localizado na região Sul do estado de MG (Figura 1), tendo população estimada para o ano de 2016 de aproximadamente 96523 habitantes em uma área de 295 km² (IBGE, 2010). Seguindo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da área é caracterizado pelo tipo *Cwb* (PEEL *et al.*, 2007), sob influência da altitude da região. Apresenta temperaturas médias anuais entre 18°C e 19°C e precipitação média anual de aproximadamente 1500 mm, com os maiores volumes nos meses de dezembro a fevereiro, podendo ocorrer 1 ou 2 meses sem chuva.

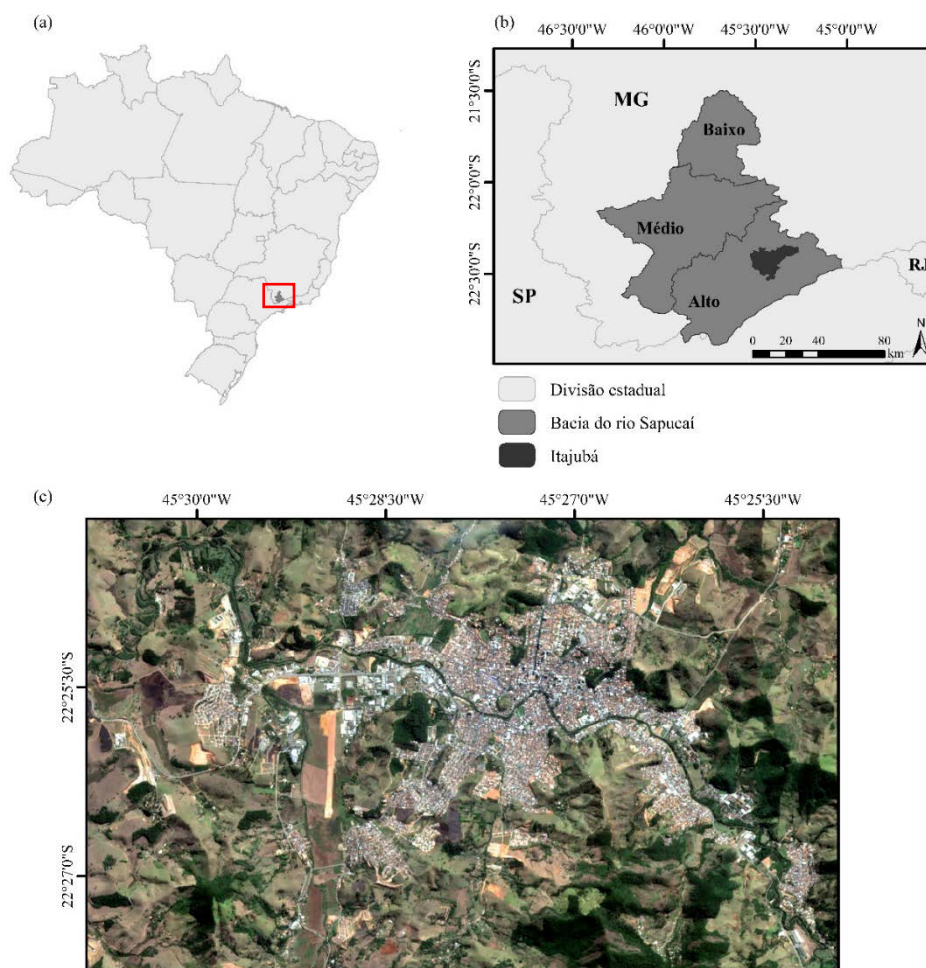


Figura 1. Área de estudo. (a) Localização da bacia hidrográfica do rio Sapucaí na região Sudeste do Brasil (retângulo vermelho). (b) Bacia do rio Sapucaí dividida nos trechos Alto,

Médio e Baixo, com destaque para a localização do município de Itajubá. (c) Composição colorida R4G3B2 do Sentinel-2 sobre a área de estudo, área urbana de Itajubá.

Itajubá está inserida na bacia hidrográfica do rio Sapucaí, mais precisamente no trecho do Alto Sapucaí (Figura 1). Como resultado da característica histórica de ocupação desordenada da planície de inundação do rio Sapucaí, que atravessa a área urbana de Itajubá em seu percurso, o município tem sido recorrentemente atingido por eventos de inundações, sendo registrado 74 eventos entre os anos de 1821 e 2003 (PINHEIRO, 2005).

2.2 Material

Para execução deste trabalho foram utilizadas:

- Imagens oriundas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8. As imagens correspondem a órbita/ponto 218/76, adquiridas no dia 19 de janeiro de 2015, com resolução espacial de 30 metros (exceto para a banda pancromática de 15 metros), adquiridas com resolução radiométrica de 12 bits e disponibilizadas em 16 bits (IRONS *et al.*, 2012);
- Imagens oriundas das bandas do visível do Sentinel-2, de 10 metros de resolução espacial e radiométrica de 12 bits, do dia 26 de julho de 2016 (ESA, 2016).
- Modelo digital de elevação (MDE) SRTM, com resolução de 1 arco-segundo, aproximadamente 30 m (NASA SRTM, 2016);
- Mancha de inundação do rio Sapucaí do evento de janeiro de 2000 (REIS e PONS, 2013).

2.3 Metodologia

O desenho experimental do trabalho apresentou três etapas: (i) classificação de uso e cobertura da terra para a área de estudo (Figura 1c) e validação do resultado; (ii) delimitação da planície inundável a partir dos dados de elevação e comparação com a mancha de inundação do rio Sapucaí do evento de 2000; e (iii) extração das classes de uso e cobertura da terra presentes na planície de inundação.

2.3.1 Classificação e validação de uso e cobertura da terra

As classes de uso e ocupação da terra foram extraídas por meio de classificação supervisionada por *pixel* seguindo as orientações propostas por Xu (2007), que encontrou melhores resultados na classificação quando se utiliza os índices MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDBI (*Normalized Difference Built-up*), gerados a partir das imagens do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8. Foram definidas as classes (i) área urbana, (ii) solo exposto, (iii) campo e (iv) floresta para a classificação.

O desempenho da classificação foi avaliado pelo Índice *Kappa* e pela Exatidão Total. Para esta finalidade, foram gerados 100 pontos amostrais distribuídos de forma aleatória, sendo estes considerados como dados de referência. A classe relativa a cada amostra foi obtida através da imagem do Sentinel-2 e *Google Earth*.

2.3.2 Mapeamento da planície inundável

O mapeamento da planície inundável foi realizado por meio das características topográficas extraídas a partir de um MDE. Para este propósito fez-se uso da metodologia desenvolvida por Muñoz (2014), que indica o uso da altura topográfica como variável para delimitação automática da planície inundável.

A altura topográfica é a distância vertical entre um ponto na superfície da terra e sua projeção numa superfície de elevações mínimas. A geração da altura consiste no cálculo da diferença aritmética entre o MDE e um modelo de cotas mínimas obtidas a partir do mesmo MDE, como descrito em Muñoz e Valeriano (2013). Com a altura topográfica, a delimitação automática foi realizada pelo fatiamento em 2, 3, 4, 5 e 6 metros e pela aplicação de filtros morfológicos, como o filtro denominado *closing* (VINCENT, 1992) e o filtro de moda 3x3. O resultado desta operação é um mapa para cada fatiamento com duas categorias: planície de inundação e não planície. A escolha do melhor limiar de corte baseou-se na comparação visual com a mancha de inundação observada no evento ocorrido em janeiro de 2000 em Itajubá e pelo índice de qualidade *Critical Success Index* (CSI), utilizado para análise de dados binários (MUÑOZ, 2014).

2.3.2 Cruzamento da planície de inundação com as classes de uso e cobertura da terra

Através do cruzamento do resultado da classificação de uso e cobertura da terra com cada mapa delimitando a planície de inundação na área de estudo, foram extraídas a área de cada classe presente dentro da planície de inundação, visando identificar áreas de exposição ao perigo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultados da classificação e validação do uso e cobertura da terra

A área total estudada corresponde a aproximadamente 71 km². Como resultado do processo de classificação, a área urbana representa 15,2% (10,8 km²) da área total, o solo exposto compreende 26,6% (18,9 km²), a classe floresta corresponde a 7,9 % (5,6 km²) e a pastagem, que predomina na área de estudo, ocupa 50,2% (35,7 km²) da área (Figura 3).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, o índice *Kappa* para a classificação da imagem foi de 0,7 e o valor da Exatidão Total de 79%. As maiores confusões foram encontradas entre as classes solo exposto e pastagem e floresta e pastagem. Áreas que apresentam degradação da pastagem torna difícil a separação entre o que é pastagem e o que é solo exposto, ao mesmo tempo que a fragmentação da floresta pode confundir com a classe pastagem.

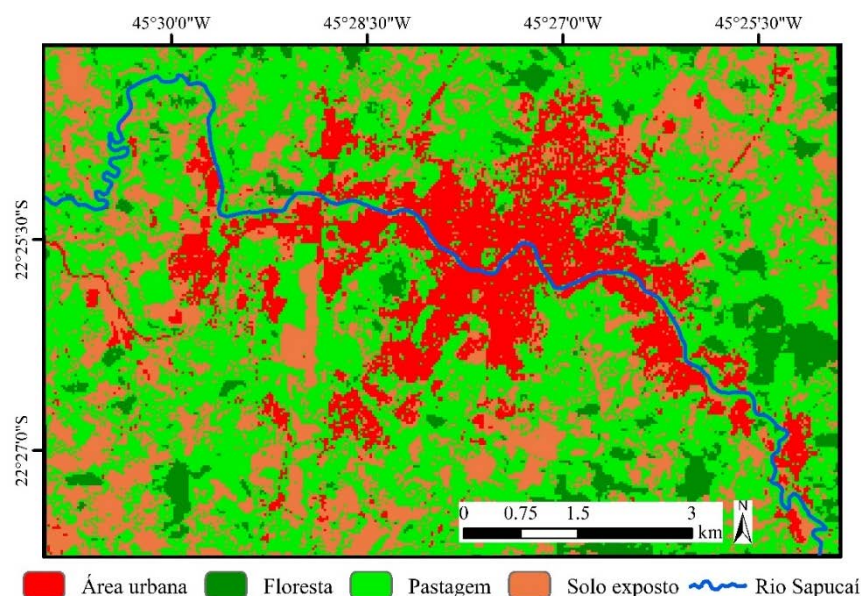


Figura 3. Mapa de uso e cobertura da terra para a área de estudo e vetor do Rio Sapucaí.

Tabela 1. Matriz de confusão da classificação supervisionada por *pixel* e os índices *Kappa* e Exatidão Total.

Classificação	Referência				
	Pastagem	Solo exposto	Área urbana	Floresta	Total
Pastagem	34	8	0	7	49
Solo exposto	4	16	1	1	22
Área urbana	0	0	17	0	17
Floresta	0	0	0	12	12
Total	38	24	18	20	100
Índice <i>Kappa</i> = 0,7			Exatidão Total = 0,79		

3.2 Mapeamento da planície de inundação

A Figura 4 apresenta o resultado do processo de geração da altura topográfica a partir dos dados de elevação do SRTM. Conforme indicado por Muñoz (2014), a altura topográfica consegue descrever a topografia regional de modo a facilitar a delimitação automática da planície de inundação. Comparando visualmente, a Figura 4b, referente à altura topográfica, possibilita uma melhor distinção das áreas de planície associados à rede de drenagem do que o MDE original do SRTM (Figura 4a).

Com base nos resultados da Tabela 2, os valores de CSI encontrados para cada limiar de fatiamento foram superiores a 0,9, o que indica o bom resultado do mapeamento da planície inundável do rio Sapucaí na região da área urbana de Itajubá. Os valores de CSI aumentam progressivamente conforme aumenta o valor do limiar utilizado para o fatiamento. Isto se dá pelo aumento da área mapeada como planície de inundação conforme maior o limiar de corte, consequentemente, reduzindo os casos de omissão de áreas inundadas no evento de janeiro de 2000 definidas no trabalho de Reis e Pons (2013).

Tabela 2. Resultados para avaliação do fatiamento para delimitação da planície de inundação.

	Fatiamento (metros)				
	2m	3m	4m	5m	6m
CSI	0,926	0,958	0,968	0,983	0,991

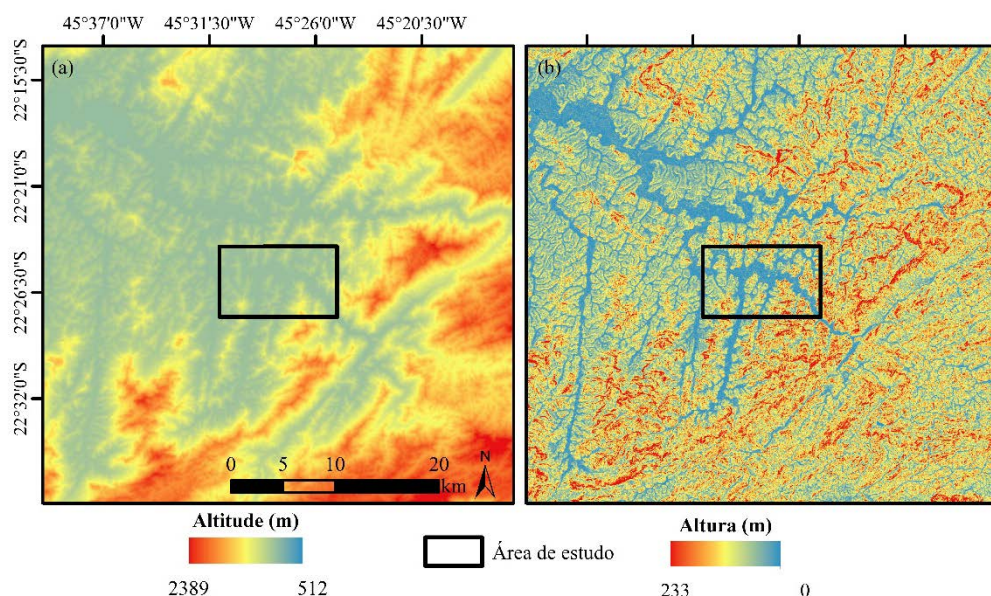


Figura 4. Variáveis topográficas regionais. (a) MDE do SRTM. (b) Altura topográfica obtida a partir do MDE do SRTM.

Importante ressaltar que a escala utilizada na delimitação da mancha de inundação adquirida do trabalho de Reis e Pons (2013) apresenta maior nível de detalhes do que a escala esperada nos produtos gerados no presente trabalho. Além disso, a mancha de inundação de 2000 foi gerada a partir da cota atingida apenas pelo rio Sapucaí, desconsiderando seus tributários e a cota atingida por eles, o que limitou uma melhor análise estatística de cada mapeamento da planície de inundação.

Baseado na análise visual e no valor de CSI, indica-se como melhor resultado o fatiamento em 2m, como o melhor mapa descritivo da planície de inundação na área de estudo, com resultado apresentado na Figura 5. Embora a área mapeada como planície de inundação seja maior do que a área inundada pelo evento de 2000, assim como encontrado por Saavedra *et al.* (2015), este fato já é esperado, visto que a planície de inundação não é necessariamente preenchida durante os eventos de inundações, que podem subestimar a área potencialmente inundável da região.

3.3 Cruzamento da planície de inundação com as classes de uso e cobertura da terra

Para identificar quanto da área urbana de Itajubá encontra-se nas áreas de planície de inundação do rio Sapucaí, foi realizado o cruzamento entre os planos de informação: planície de inundação (cota de 2m) e classificação do uso e cobertura da terra. Foi observado, para o fatiamento de 2m, considerado o mais representativo para a planície de inundação da área de estudo, que a classe área urbana ocupa 36,7% (6,7 km²) da área total da planície inundável mapeada (18,5 km²) (Tabela 3). Esta informação é particularmente interessante pois expressa a parcela da população e infraestrutura de Itajubá susceptíveis aos efeitos causados pela ocorrência de eventos de inundações.

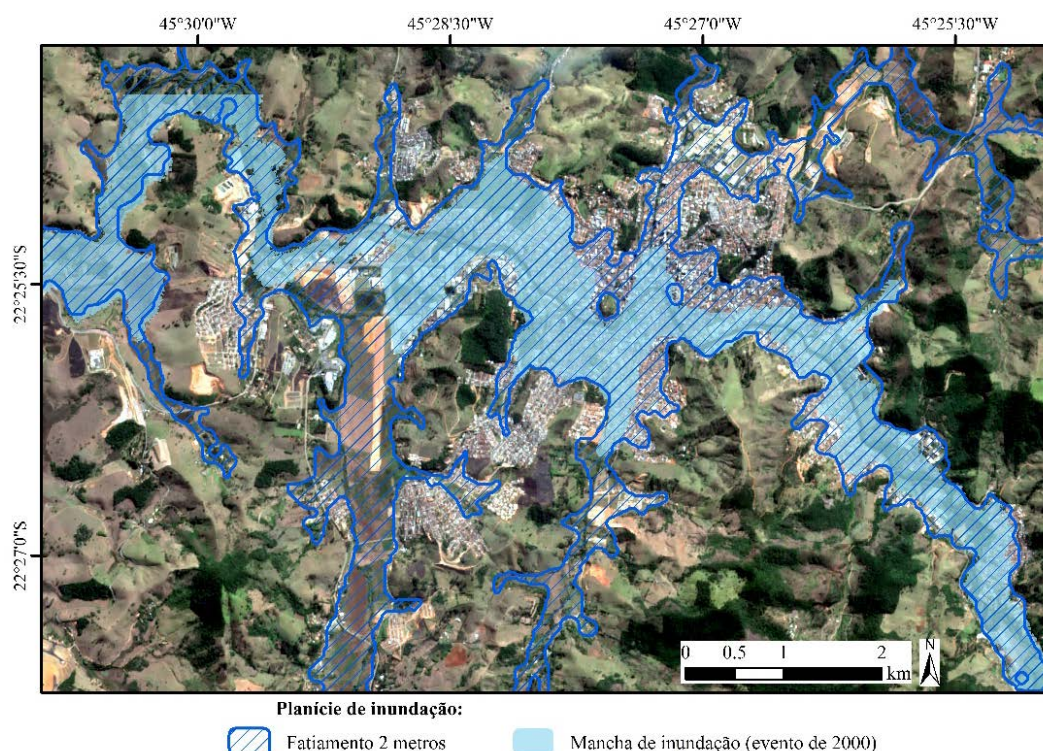


Figura 5. Imagem resultante da composição colorida R4G3B2 do Sentinel-2 com a planície de inundação referente ao fatiamento da altura topográfica em 2 metros sobre a mancha de inundação ocorrida no evento de janeiro de 2000.

Tabela 3. Cálculo das áreas e porcentagem em relação à área total da planície de inundação referente ao fatiamento em 2 metros.

	Classes				Área total
	Área urbana	Solo exposto	Pastagem	Floresta	
Km ²	6,7	4	7,6	0,2	18,5
%	36,7	21,8	41,2	1	100

4. Conclusões

O mapeamento da planície de inundação constitui uma informação importante para o zoneamento de áreas de susceptibilidade à inundações, sendo esta uma importante fonte de informação para nortear o planejamento territorial e a gestão de redução de riscos de desastres. Neste âmbito a metodologia utilizada no trabalho apresentou resultados satisfatórios, permitindo, através da variável altura topográfica, delimitar a planície inundável do rio Sapucaí na região da área urbana de Itajubá. Como foi constatado, a mancha de inundação ocorrida em 2000 subestimou a planície de inundação mapeada, pois esta representa a área potencialmente inundável. Com o cruzamento entre informações de uso e ocupação da terra com a área mapeada como planície inundável, identificou-se a exposição da população e da infraestrutura encontrada na área urbana de Itajubá aos perigos hidrológicos.

Os resultados encontrados neste trabalho respondem a mapeamento em escala compatível com a resolução do dado do SRTM. Outra questão importante a se destacar, que apesar do resultado satisfatório, a metodologia utilizada simplifica os processos hidrodinâmicos associados às áreas potencialmente inundáveis. Como alternativa dessa limitação, Nobre *et al.* (2016) fez uso do Hand (*Height Above the Nearest Drainage*), desenvolvido por Rennó *et al.* (2008), que utiliza a drenagem (e áreas saturadas) como referência no cálculo da diferença altimétrica, para mapear áreas inundáveis, obtendo bons resultados e contribuindo nos estudos sobre inundações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão das bolsas e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio através da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

Referências bibliográficas

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 11 abr. 2012a.

BRASIL. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres** (COBRADE). 2012b. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960> Acesso em: nov. 2016.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. **Mapeamento de riscos de encostas e margens de rios**. Brasília, DF: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2**. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2;jsessionid=5334FF024649E2633C0738FD08C19B44.jvm2>> Acesso em: nov. 2016.

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P. H.; BELOW, R. **Annual Disaster Statistical Review 2013: The Numbers and Trends**. Brussels: CRED; 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: Itajubá. 2016. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/HB5>> Acesso em: nov. 2016.

IRONS, J. R.; DWYER, J. L.; BARSÍ, J. A. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. **Remote Sensing of Environment**, 122, p. 11–21, 2012.

KUNDZEWICZ, Z. W.; KANAE, S.; SENEVIRATNE, S. I.; *et al.* Flood risk and climate change: global and regional perspectives. **Hydrol. Sci. J.**, v. 59 (1), p. 1-28, 2013.

MUÑOZ, V. A. Mapeamento de planícies de inundação a partir de dados SRTM: contribuição para análise da exposição a inundação na bacia do rio Itajaí. 2014. 112 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.14.19.05-TDI). **Tese** (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014.

MUÑOZ V. A.; VALERIANO M. M. Mapping of floodplain by processing of elevation data from Remote Sensing. In: PARDO-IGÚZQUIZA, E.; GUARDIOLA-ALBERT, C.; HEREDIA, J.; *et al.* (Eds.). **Mathematics of Planet Earth: Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences**. Berlin: Springer-Verlag. part XV. Quantitative hydrology: working across scientific disciplines and time-space scales. p. 481-484, 2013.

NASA SRTM. Shuttle Radar Topography Mission. 2016. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso em: nov. 2016.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; *et al.* HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, v. 30, p. 320-333, 2016.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. I.; MCMAHON, T. A. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hidrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PINHEIRO, V. M. 2005. **Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia), UNIFEI. 2005.

REIS, J. B. C.; PONS, N. A. D. Uso de geotecnologia para o mapeamento de área de risco no município de Itajubá (MG). In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves - RS. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; *et al.* HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

RODRIGUEZ, J.; VOS, F.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D. **Annual Disaster Statistical Review 2008: The Numbers and Trends**. Brussels: CRED; 2009.

SAAVEDRA, O. F. C.; MUNOZ, V. A.; REIS, J. B. C. Delimitação da planície inundável e avaliação a partir de um evento de inundação ocorrido no município de São Borja (RS). In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa - PB. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6290-6297.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012. 94 p.

XU, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **Int. J. Remote Sens.**, 27, p. 3025-3033, 2006.

VIDA

VINCENT, L. Morphological area openings and closings for greyscale images. In: NATO Shape in Picture Workshop, 1992, Driebergen, The Netherlands. **Proceedings...** Springer-Verlag, p. 197-208, 1992.