

Mapeamento de planícies inundáveis a partir de MDE e avaliação da exposição à inundação na bacia do rio Itajaí

Viviana Aguilar Muñoz^{1,2}

Márcio de Morisson Valeriano^{1,3}

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
viaguila@dsr.inpe.br

² Bolsista da CAPES/CNPq – IEL Nacional – Brasil

³ Bolsista do CNPq

Abstract. This work aims to show a methodology to extract floodplains with tools of geographical information systems from SRTM digital elevation model. It is showed that, among other geomorphometric features, topographic height highlights as an indicator of floodplains. Experiment was development in the Itajaí basin, from Santa Catarina State, southeast region of Brazil. In order to evaluate the urban exposure to floods, Itajaí floodplains were compared with urban grade. It was observed that at least 24 cities in the Itajaí basin are exposed to floods or urban floods in some level of severity, which cannot be determined in the extent of this research, but we conclude that study is priority for disaster prevention on basin.

Palavras-chave: floodplain, SRTM-DEM, topographic height, urban exposure to floods; planície de inundação SRTM-DEM, altura topográfica, exposição urbana a inundação.

1. Introdução

As planícies de inundação (*floodplain* em inglês; várzeas na toponímia popular brasileira) são unidades homogêneas da paisagem que bordejam os canais fluviais e conformam seu leito maior. A morfologia das planícies está relacionada com o desenvolvimento do canal principal que lhe deu origem e com processos de deposição e erosão, ocorridos na sua gênese. Dentro do sistema fluvial, a planície está localizada na zona de deposição dos sedimentos transportados pelos rios, onde a declividade do terreno e a velocidade do fluxo diminuem (Huggett, 2007; Charlton, 2008).

As planícies desempenham um importante papel ambiental. Quando não deflorestadas ou urbanizadas, sua configuração morfométrica permite a dissipação das forças erosivas do escoamento superficial; a água e os sedimentos transportados pelos rios distribuem-se na superfície e criam condições favoráveis ao desenvolvimento de ecossistemas terrestres e aquáticos. Assim, estes ambientes se constituem em corredores ecológicos e fornecedores de grande diversidade de serviços e de recursos naturais (Charlton, 2008; Gupta e Ahmad, 1999). A riqueza natural desses ambientes atrai sua exploração, e, ao mesmo tempo sua topografia plana estimula a urbanização. Em consequência, apresentam-se situações de conflito entre o potencial de uso do solo e seu uso efetivo, que afetam os ciclos naturais e se constituem em perigo de desastre para a sociedade, em contraste com a necessidade de preservar esses ecossistemas (Pinedo-Vasquez e Sears, 2011).

Se comparadas com outros tipos de eventos deflagradores de desastres, as inundações causaram a maior proporção de perdas materiais e humanas, em âmbito global, no período 1900 - 2014. Nesse período foram registrados no Brasil 121 eventos de inundação, que representaram perdas por quase nove bilhões de dólares, mais de 19 milhões de pessoas afetadas e quase oito mil óbitos (CRED, 2014). O impacto das inundações sobre a população no Brasil foi constatada no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2012a; 2012b) e no Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (Ministério da Integração Nacional, 2012; 2013).

Nesses documentos se observa ainda que as regiões sul e sudeste foram as mais afetadas por inundações no período 1991 - 2012.

Esta tendência dos desastres pode estar relacionada com a ocupação urbana das planícies inundáveis (Gupta; Ahmad, 1999). Uma verificação sucinta desta hipótese pode ser executada pela sobreposição de mapas da malha urbana e mapas de planícies de inundação. No Brasil, mapas da malha urbana são gratuitamente disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entre tanto, mapas de planícies inundáveis de cidades em risco ainda devem ser elaborados.

Mapas de áreas inundadas podem ser obtidos por processamento de produtos de sensoriamento remoto como imagens LANDSAT, na faixa do espectro ótico (por exemplo, Xu, 2006), ou RADARSAT, na faixa das microondas (por exemplo, Marinho et al., 2012). Este mapeamento baseia-se na classificação das imagens para extração de áreas úmidas e espelhos da água (Serpico et al., 2012; Wang et al., 2002). Técnicas de processamento de imagens óticas para mapeamento destas áreas são baseadas em algoritmos de classificação que focalizam no aproveitamento das bandas do infravermelho próximo e médio pela análise mono ou multi banda (Li et al., 2013). No processamento de imagens de radar os algoritmos focam na avaliação do retro espalhamento do sinal, que varia linearmente com a constante dielétrica dos materiais (Novo; Costa, 2005). Esta abordagem não seria a mais adequada se o objetivo for discriminação de toda a planície, pois um mapa de espelhos da água pode subestimar o polígono da planície devido a que é uma raridade que a planície esteja totalmente preenchida. Nesse caso, mapas de planícies de inundação podem ser obtidos pela classificação da bacia de drenagem em unidades fisiográficas homogêneas passíveis de ser delimitadas pelo relevo. Dados do relevo para tal fim podem ser obtidos por processamento de modelos digitais de elevação (MDE).

O preenchimento total ou parcial de água na planície inundável depende do escoamento superficial (em inglês *run-off*), e varia ao longo do ano entre os níveis de estiagem, cheia (preenchimento do leito vazante) e enchente (preenchimento do leito menor), e em períodos mais longos (mais de 50 anos) pode chegar a níveis de inundação (preenchimento do leito maior) (Wisler; Brater, 1959). Na Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (Ministerio da Integração Nacional, 2012) não foi considerado o conceito de enchente, embora até sua publicação em 2012 este termo foi bastante utilizado pela comunidade científica e por entidades oficiais. Em resumo, a COBRADE considera: (i) **Inundação**. Transbordamento gradual do canal fluvial e submersão das áreas de planície; (ii) **Enxurrada**. Transbordamento brusco do canal fluvial; e (iii) **Alagamento**. Transbordamento do canal em área urbanizada, acúmulo de água em ruas, calçadas ou outra infraestrutura urbana.

Apresentam-se neste documento resultados do desenvolvimento de uma metodologia para mapeamento de planícies de inundação a partir de MDE, e sua utilidade para análise da exposição a inundações (grau de ocupação urbana das planícies inundáveis). Em estudos do risco de desastres naturais, o termo “exposição” refere-se à correlação espacial entre o elemento exposto (neste caso a malha urbana) e o perigo (neste caso inundação) (SGCA, 2009).

2. Área de Estudo

A bacia do rio Itajaí ocupa uma área de aproximadamente 15000 km² no território do Estado Santa Catarina (SC), sul do Brasil, entre as longitudes 50°11'53"W e 48°36'54"W, e as latitudes 26°22'33" S e 27°52'32"S. Na Figura 1 foram destacadas as cinco subáreas onde foi executado o experimento, localizadas nas planícies de inundação da bacia.

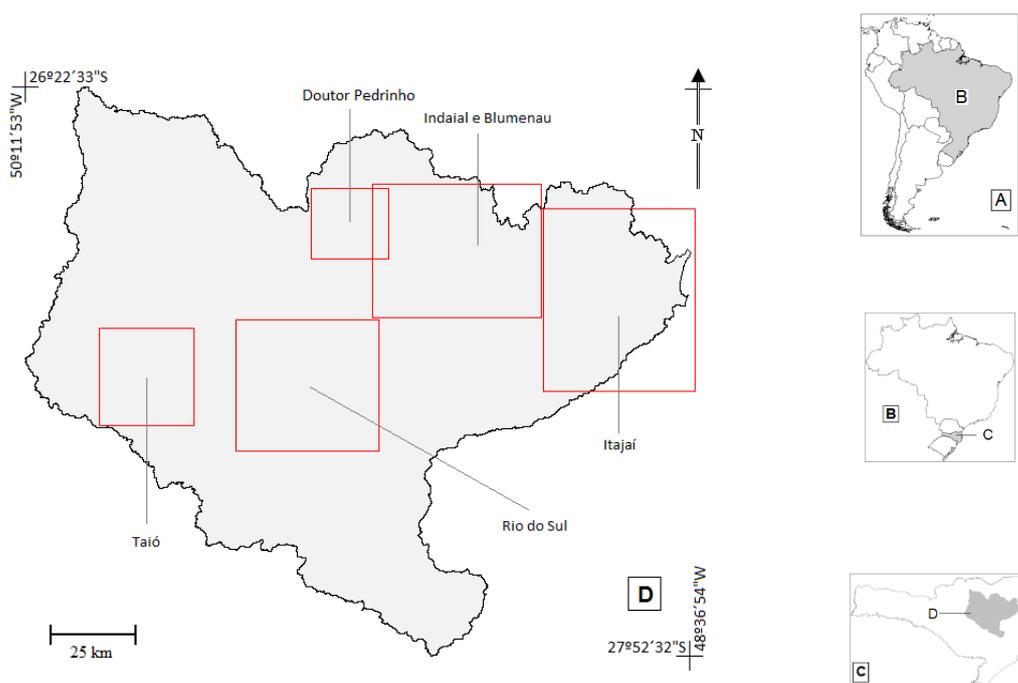


Figura 1 – Localização da bacia do rio Itajaí. A) América do Sul. B) Brasil. C) Estado Santa Catarina. D) Bacia hidrográfica do rio Itajaí, com destaque em vermelho das cinco subáreas do experimento.

O clima nesta região é subtropical ou mesotérmico-úmido (GPCG, 1986), com quatro estações bem marcadas, temperaturas e precipitações condicionadas pela latitude e a altitude, e influenciadas pelas massas tropical e polar atlântica (Monteiro, 2001). A maior parte da precipitação está concentrada nos meses de verão, quando há maior probabilidade de inundações, embora haja vários sistemas meteorológicos que geram precipitação intensa e podem deflagrar episódios de inundação em qualquer estação do ano (Severo, 1994).

A base litoestratigráfica da bacia é composta por rochas do embasamento cristalino, da sequência sedimentar gondwânica e por sedimentos cenozoicos. A região apresenta marcada expressão estrutural, onde se destacam o lineamento do Rio Itajaí do Norte, o lineamento Blumenau, a falha Perimbó e o lineamento de Major Gercino (Aumond, 2005; GPCG, 1986). Predominam nesta bacia solos Cambissolo Háplico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico e Gleissolo Háplico (EMBRAPA Solos, 2006).

A bacia do rio Itajaí foi selecionada como área de estudo pela quantidade de desastres decorrentes de inundações ocorridas ao longo de sua história de ocupação (Aumond et al., 2009; CEPED, 2012b). Os primeiros registros datam de 1850; em um período de 160 anos foram registradas mais de 70 ocorrências, entre as que sobressaem os episódios de 1911, 1983, 2008 e 2011. Dados da Defesa Civil mostram que, somente em 2011, 43 dos 50 municípios da bacia foram afetados por inundação e 32 deles decretaram situação de emergência, com alagamentos em mais de 50% de sua área urbana. Na atualidade, a bacia é habitada por aproximadamente 1.244.592 pessoas, com densidade populacional de 80,8 hab/km² (IBGE, 2010a). Na bacia, a malha urbana se distribui predominantemente nas planícies, o que significa alto grau de exposição à inundação.

3. Materiais e Método

A delimitação de planícies foi desenvolvida em três etapas: delimitação manual, delimitação automática, e avaliação do ajuste entre os dois produtos. A delimitação manual foi feita por fotointerpretação de imagens óticas em ambiente *Google Earth*. Quando necessário

foram utilizados os produtos declividade em seis classes (SC) e curvatura vertical em cinco classes (V5) de Topodata (INPE, 2008). Os segmentos traçados foram exportados em formato KML (*Keyhole Markup Language*), importados em sistemas de informação geográfica, SIG, transformados em polígonos e depois em raster, tipo booleano. O produto final deste processamento foi utilizado como controle para os produtos da delimitação automática.

A delimitação automática se refere à detecção das planícies pela classificação de uma variável topográfica regional (não local) reconhecida como indicadora. A metodologia consistiu em: obtenção de variáveis topográficas regionais a partir de MDE-SRTM, com base nos desenvolvimentos de Muñoz (2009), escolha da variável indicadora por fotointerpretação e análise da dispersão desses produtos, e classificação booleana da variável escolhida. O limiar de corte para a determinação dos polígonos qualificados como “planície” foi determinado pelo melhor ajuste entre os dados de controle e o resultado obtido a partir de 15 diferentes limiares. Este ajuste foi determinado pelo *score* “viés” da tabela de contingência para dados dicotômicos (Wilks, 2006). Os dados de altitude utilizados para a obtenção de variáveis regionais foram coletados do Topodata (INPE, 2008). Como recursos de análises foram utilizados ENVI (*Exelis Visual Information Solutions*, 2009), Global Mapper (*Blue Marble Geographics*, 2011), *Google Earth* (Google Inc., 2013), Idrisi (Clark Labs, 2000) e *R-statistics* (R Core Team, 2013).

A exposição à inundação foi analisada de forma sucinta com base na metodologia proposta pela *Secretaria General de la Comunidad Andina* (SGCA, 2009). Foi avaliada a distribuição espacial de elementos urbanos nas planícies suscetíveis a inundação, obtidas no desenvolvimento desta pesquisa. Os elementos urbanos considerados foram a malha de setores censitários, os polígonos de área construída e trechos rodoviários, todos estes disponíveis no site do IBGE (2010b; 2011).

4. Resultados e Discussão

4.1 Delimitação das Planícies

Na fotointerpretação das variáveis topográficas regionais observou-se o potencial da altura topográfica para delimitação automática das planícies de inundação. Esse potencial foi verificado na dispersão dos valores. Note-se na Figura 2 o comportamento regional da altura: a classe “planície” pode ser bem diferenciada do resto da imagem estabelecendo-se um limiar de corte comum às cinco subáreas do experimento. A altura topográfica representa a distância vertical entre um ponto na superfície topográfica e sua projeção numa superfície de elevações mínimas regionais (Muñoz e Valeriano, 2013).

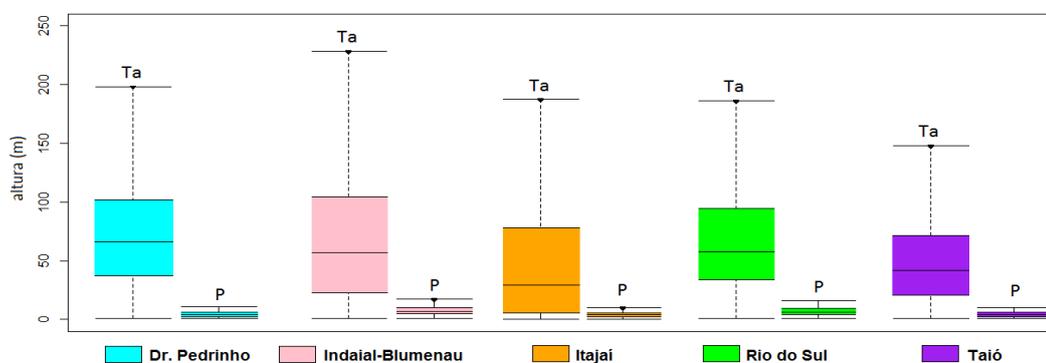


Figura 2 – Dispersão da altura topográfica nas cinco subáreas do experimento. Ta: dados de toda a subárea, P: dados apenas nas planícies.

Uma vez escolhida a altura topográfica como variável indicadora, seguiu-se o processo de classificação booleana. Os resultados da tabela de contingência indicaram a faixa de corte para separação das planícies entre 8m e 11m. Na Figura 3 apresenta-se um resumo de todo o experimento de delimitação automática, exemplificado na região Taió.

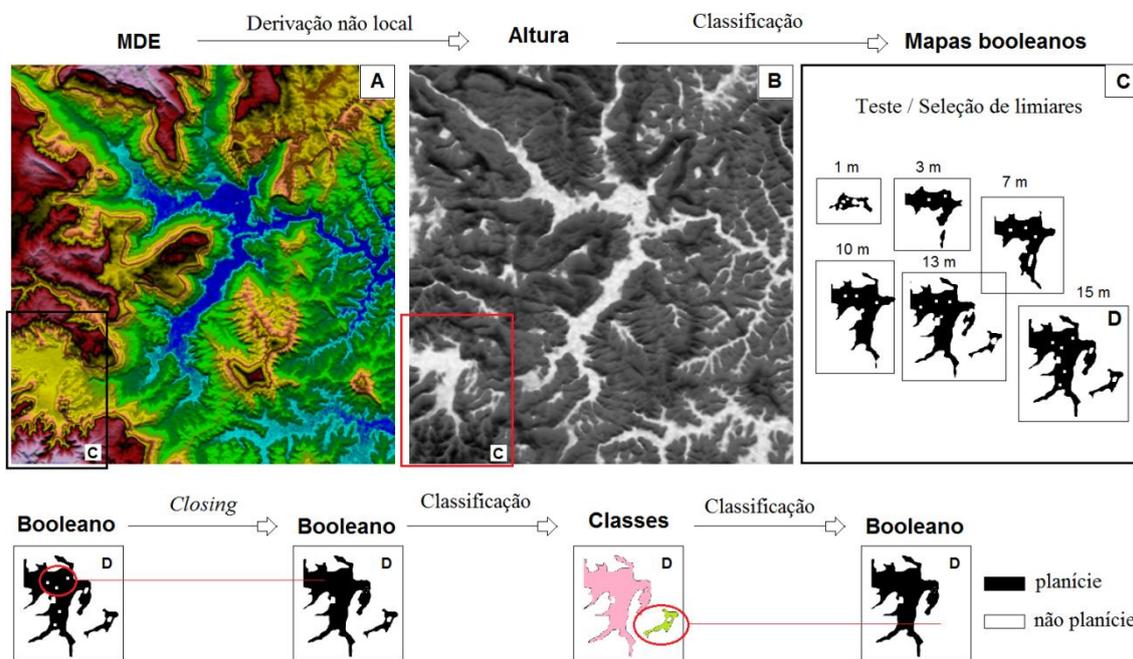


Figura 3 – Resumo de processamento para delimitação de planícies de inundação. A) MDE. B) altura topográfica obtida por processamento em SIG do MDE. C) excerto da altura para exemplificar os seguintes processamentos e testes para seleção de limiar de corte, entre 1m e 15m. D) mapa booleano utilizado para exemplificar o pós-processamento: 1. Aplicação do filtro morfológico *closing* para eliminar discontinuidades dentro da classe “planície”; 2. Individualização de polígonos pela designação de um ID, e cálculo de sua área dos polígonos. A partir dessa área estabelece-se um limiar de área para eliminar os polígonos muito pequenos, mal classificados como planície; 3. Classificação e obtenção de mapa final booleano de planícies de inundação.

O padrão de qualidade que é exigido a fornecedores de imagens de sensoriamento remoto no ambiente *Google Earth* sugere boa qualidade cartográfica de produtos derivados. Como verificado no trabalho de Silva e Nazareno (2009) e outros, imagens do *Google Earth* podem atender um padrão de exatidão cartográfica (PEC) classe A na escala 1:5000, com 90% de confiança. Da mesma forma, é de se esperar que o produto da delimitação manual aqui conduzida atenda esse mesmo PEC. Pelo tanto, considera-se que esse produto seja adequado como controle dos produtos da delimitação automática. Na Figura 4 observa-se o ajuste entre o dado de controle e a planície obtida por delimitação automática, em um detalhe da área de estudo e três resoluções. A melhor definição do polígono de controle se deve a que seu traçado executou-se na escala mais detalhada possível à escala das imagens óticas no *Google Earth*; entre tanto, o produto da delimitação automática responde à escala do MDE-SRTM. Note-se que, por um lado, o produto da delimitação manual é adequado para controle em termos de detalhamento e localização dos polígonos de planície. Por outro lado, ao contrário de outras métricas derivadas da topografia, reconhecidamente dependentes de escala, o ajuste entre esses dois produtos independe do tamanho do pixel; isto foi constatado por tabela de contingência, com valores de viés na ordem de 0,95.

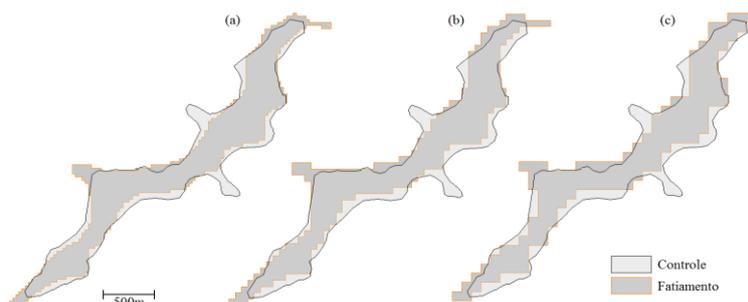


Figura 4- Detalhe de escala na delimitação de planícies de inundação: resolução 30 m (a), 60 m (b); e 90 m (c).

4.2 Avaliação da Exposição

Na bacia do rio Itajaí há 24 cidades localizadas próximas aos canais principais das sub-bacias. Este fato é em si mesmo forte indicador de exposição a inundações. A Figura 5 sugere um panorama geral da exposição a inundações na bacia. Nos mapas se observa uma marcada correspondência entre a cartografia urbana e os polígonos de planícies de inundação, gerados no desenvolvimento desta pesquisa. Dessa ocupação decorrem intervenções no sistema natural que afetam o ciclo hidrológico e criam ou intensificam os cenários de risco. A exposição de solos pouco profundos e com limitações de drenagem (como no caso dos Cambissolos no Alto Vale do Itajaí) implica em forte diminuição da taxa de infiltração, com decorrente aumento do volume de escoamento superficial e redução do tempo de concentração.

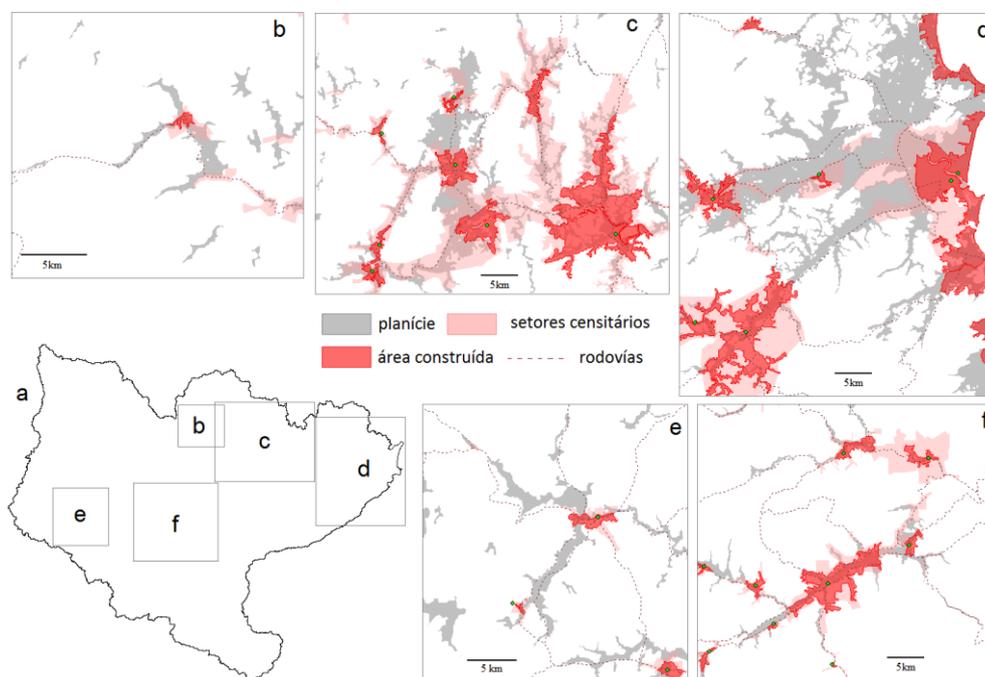


Figura 5 – Área exposta à inundação nas subáreas. Localização das subáreas na bacia do rio Itajaí (a); Doutor Pedrinho (b); Indaial-Blumenau (c); Itajaí (d); Taió (e); Rio do Sul (f).

5. Conclusões

Os resultados da delimitação manual de planícies de inundação na área de estudo mostraram-se adequados para sua utilização como controle de produtos cartográficos na escala 1:100.000. Em paralelo, observou-se o potencial da altura topográfica para delimitação automática dessas planícies. A metodologia proposta mostra-se interessante para aplicação

extensiva sobre dados SRTM e pode contribuir operacionalmente com melhorias ao estudo e mapeamento do risco de inundação, em relação às informações até então disponíveis.

O fato de ter predominantemente Cambissolos nas nascentes da sub-bacias do rio Itajaí, junto à alta densidade da drenagem, implica em aumentos rápidos da vazão na rede de toda a bacia. Os lineamentos morfoestruturais e a presença de Gleissolos nas planícies apontam para predisposição ao acúmulo de água e de sedimentos nesses locais. E a distribuição da malha urbana sobre as planícies inundáveis sugere exposição da população a esses processos naturais. Foi observado que pelo menos 24 cidades da bacia do Itajaí estão expostas a inundações e alagamentos. Nesta análise, é notável sua proximidade em relação aos canais principais e sua localização em áreas de concentração de deflúvio. Estas observações levam a supor que devem ser consideradas prioritárias investigações mais detalhadas de exposição a inundações na bacia do Itajaí.

Referências Bibliográficas

- Aumond, J. J. Geologia e paleoambiente. In: Frank, B.; Refosco J.C. (Ed). **Bacia do Itajaí: formação, recursos naturais e ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2005. Cap.II, p.20-47.
- Aumond, J. J. Sevegnani, L. Tachini, M. Bacca, L. E. Condições naturais que tornam o vale do Itajaí sujeito aos desastres. In: Frank, B.; Sevegnani, L. (Ed). **Desastre de 2008 no vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau, Sc: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. Cap.2. p.22-37. Disponível em <<http://189.73.116.32/xmlui/handle/123456789/710>>. Acesso em 19.jan.2014.
- Centro Universitário de Estudos e pesquisas sobre desastres, CEPED. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**. Volume Brasil. Florianópolis, Sc., 2012a. 93p. Disponível em <<http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil%20Rev.pdf>>. Acesso em 14.02.2014
- _____. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**. Volume Santa Catarina. Florianópolis, Sc., 2012b. 89p. Disponível em <<http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Santa%20Catarina.pdf>>. Acesso em 14.02.2014.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED. EM-DAT. The OFDA/CRED International Disaster Database. ©CRED 2014. Université Catholique de Louvain – Brussels – Belgium. Disponível em <<http://www.emdat.be/>>. Acesso em: 26.06.2011.
- Charlton, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. New York: Routledge. 2008. 234p. Isbn 0-203-37108-9.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, GPCG, Santa Catarina. **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis, Sc., 1986. 173p.
- Gupta, A., Ahmad, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**, v.31, 1999. p. 133-149.
- Huggett, R.J. **Fundamentals of geomorphology**. London: Routledge, Taylor and Francis Group. 2007. 483p. Isbn 0-203-94711-8.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ibge). **Geociências**. Mapeamento sistemático. Base continua ao milionésimo. 2_bcim_v3.04_dados. Shapefile. Rio de Janeiro, 2010a. Disponível em <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em 15.jan. 2014.
- _____. **Censos- censo demográfico 2010**. Sinopse. Agregados por setores censitários: base informações setores 2010 sinopse Sc. Brasília, 2010b. Disponível em <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em 05.04.2014.
- _____. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/d_detalhes.php?id=249230>. Acesso em 15.jan.2014.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais: folhas 26S51, 26S495, 27S51 e 27S495. São José dos Campos, 2008. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 03.02.2014.

- Li, W.; Du, Z.; Ling, F.; Zhou, D.; Wang, H.; Gui, Y.; Sun, B.; Zhang, X. A comparison of land surface water mapping using the Normalized Difference Water Index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*. 2013, 5, p. 5530-5549.
- Marinho, R. R.; Paradella, W. R.; Rennó, C. D.; Oliveira, C. G. Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do itajaí, SC. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 64, n.3. 2012. p. 317-330. ISSN: 1808-0936.
- Ministério da Integração Nacional. Centro Nacional de Gerenciamento de Risco de Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais 2011**. Brasília: CENAD, 80p. 2012. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e3cab906-c3fb-49fa-945d-649626acf790&groupId=185960>. Acesso em 14.02.2014.
- _____. _____. **Anuário brasileiro de desastres naturais 2012**. Brasília: CENAD, 84p. 2013. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960>. Acesso em 14.02.2014.
- Monteiro, A. M. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v.16, n.31, p 69-78, jan./jun. 2001. Disponível em <<https://journal.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/14052/12896>>. Acesso em 19.jan.2014.
- Muñoz, V. A. **Análise geomorfológica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. 2009. 112 p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/352GPK2>>. Acesso em: 14 fev. 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., Moreno-Merino, L. Durán, J. J., Vargas-Guzmán, J.A. (Eds.). **Mathematics of Planet Earth**: Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences. Berlin: Springer-Verlag, 2013. part XV. Quantitative hydrology: working across scientific disciplines and time-space scales. p. 481-484. ISBN 9783642324079.
- Novo, E. M. L. M.; Costa, M. P. F. Fundamentos e aplicações de radar no estudo de áreas alagáveis. In: Souza, Ronald Buss (Ed.). **Oceanografia por satélites**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2005. v. Cap. 16, p. 236-258.
- Pinedo-Vasquez, M. A.; Sears, R. R. Várzea forests: multifunctionality as a resource for conservation and sustainable use of biodiversity. In: M. Pinedo-Vasquez et al. (Eds.), **The Amazon Varzea: The Decade Past and the Decade Ahead**, DOI 10.1007/978-94-007-0146-5_14. New York: Springer Science plus Business Media B.V. 2011.
- Secretaria General de la Comunidad Andina, SGCA. Atlas de las dinámicas del territorio andino: población y bienes expuestos a amenazas naturales. Cali: Corporación OSSO, 2009. 185p. Isbn: 978-958-99179-0-9.
- Serpico, S. B.; Dellepiane, S.; Boni, G.; Moser, G.; Angiati, E.; Rudari, R. Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation. **Proc. IEEE**, v. 100, N.10, pp. 2946–2970, 2012.
- Severo, D. L. **Estudos de casos de chuvas intensas no Estado de Santa Catarina**. 1994. 118 p. (INPE-5682-TDI/568). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.17.51>>. Acesso em: 17 jan. 2014.
- Silva, L. A.; Nazareno, N. R. X. Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1723-1730.
- Wang, Y.; Colby, J. D.; Mulcahy, K. A. An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 18, p. 3681-3696, 2002. DOI: 10.1080/01431160110114484.
- Wilks, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. ed. San Diego: Elsevier Inc., 2006. 649p. ISBN 13: 978-0-12-751966-1. ISBN 10: 0-12-751966-1.
- Wisler, C. O.; Brater, e. f. **Hidrology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, I., 1959. 484p.
- Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **Int. J. Remote Sens.**, 27, 2006, p. 3025–3033.