

Mapas de Suscetibilidade a Inundação para o Município de Iguape - SP

Caio Arlanche Petri¹
Lucas Maia de Oliveira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515-12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{caio.petri, lucas.maia}@inpe.br

Resumo: As inundações são os desastres naturais mais frequentes e que causam maiores danos econômicos, sociais e ambientais no mundo. Para este trabalho, entende-se inundação como a elevação do nível de água de um corpo hídrico para além do seu nível normal, alagando a planície aluvial deste corpo. As inundações são causadas devido às características ambientais tais como chuvas, formato da bacia hidrográfica, cobertura vegetal, escoamento superficial; e antrópicas; como a impermeabilização dos solos e o descarte de lixo em locais inadequados. O município de Iguape, localizado no Estado de São Paulo, faz parte da bacia hidrográfica do Rio Ribeira do Iguape. Devido às características desta bacia, o município registra inundações frequentemente. Assim, torna-se pertinente a produção de um mapa de suscetibilidade a inundações para o município, a fim de apontar as localidades com maior risco de sofrer inundações. Para isso, foram comparadas duas fontes de dados topográficos: curvas de nível e pontos cotados (criando um MDE) adquiridos no site do Sistema de Informações Geográficas da Bacia do Ribeira do Iguape e Litoral Sul (SIGRB), e dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos através do TopoData. O uso e ocupação da terra foram integrados ao MDE para criar o mapa de suscetibilidade, adotando pesos para cada variável. Os mapas gerados estão em escala 1:400.000, considerando a área do município de 1.977,957 km². Os resultados apresentam a variação dos mapas de suscetibilidade de acordo com a fonte e dos dados topográficos utilizados. O mapa com curvas de nível e pontos cotados apontou riscos de inundação maiores e mais generalizados do que o SRTM.

Palavras-chave: Inundação; Iguape; Bacia do Ribeira do Iguape, Suscetibilidade.

1. Introdução

A interação entre diferentes elementos naturais e antropicos em áreas tropicais úmidas podem levar a eventos destrutivos, como inundações em planícies aluviais e movimentos de massas nas encostas. Marcelino (2008) afirma que as inundações são os desastres naturais mais frequentes e que geram maiores danos ao Brasil, seja estes naturais, econômicos ou em número de mortes. No século passado cerca de 60% dos desastres naturais registrados no país foram inundações, com destaque para a região sudeste do país, atingida por 40% do total de inundações, isso ocorre devido as características geoambientais desta região, tornando-a mais propicias a inundações.

Elorza (2008) diferencia as inundações em dois tipos: continentais e litorâneas. As continentais ocorrem as margens dos rios, devido ao aumento do nível das águas e a

quantidade de chuva nas áreas inundadas e a montante. As segundas são vinculadas ao aumento das marés e das chuvas orográficas ou de relevo.

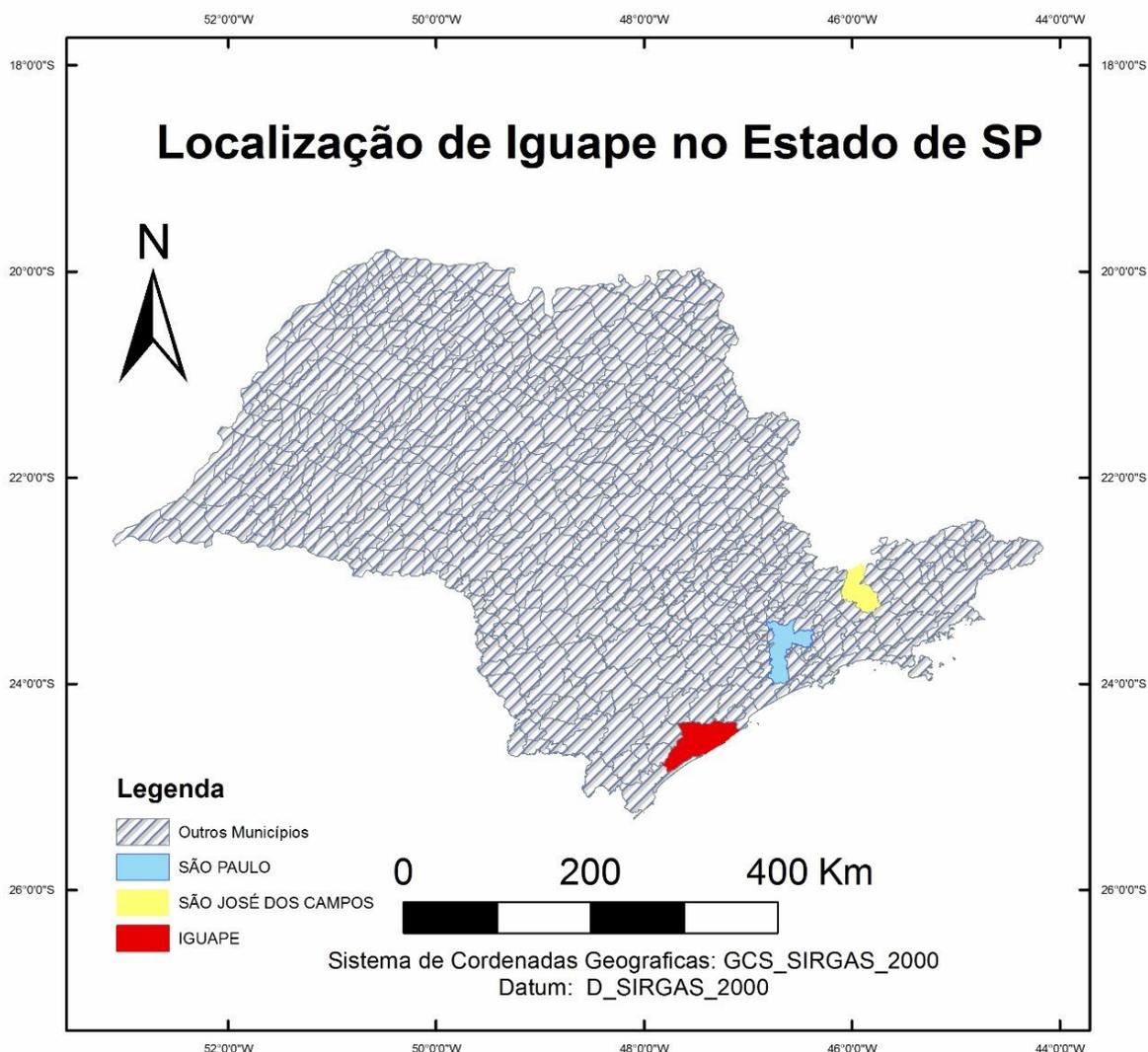
O município de Iguape está localizado na região do Vale do Ribeira, uma região no sudeste do Estado de São Paulo que se caracteriza como a mais pobre do Estado, e esta suscetível aos dois tipos de inundações. Este tem uma área de 1.977,957 km² e uma população de 30.124 habitantes (IBGE, 2017). Devido às características climáticas Iguape-SP e os municípios ao entorno apresentam altos índices pluviométricos, assim as ocupações urbanas e rurais da região sofrem com as inundações.

Para tomar medidas preventivas e planejar possíveis resgates torna se necessário identificar as áreas do município com maior ou menor possibilidade de inundação, mapas de suscetibilidade se apresentam como ferramentas fundamentais nestes planejamentos. Diferentes métodos podem ser utilizados para elaborar esses mapas, trazendo resultados mais ou menos verossímeis. Este trabalho buscou identificar as diferenças ao aplicar o mesmo método de análise de dados em modelos digitais de elevação diferentes, sendo um destes fornecido pelo TopoData (BRASIL, 2011) elaborada a partir de imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), e de um modelo digital de elevação TIN elaborado a partir das curvas de níveis disponíveis no Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (SIGRB). Pretendeu se assim analisar o impacto de métodos diferentes ao se representar uma mesma realidade.

2. Descrição da Área

Iguape-SP (Figura 1) é um grande município localizado no sudeste do Estado de São Paulo. Possui uma área de 1.977,957 km² e uma população estimada em 2016 de 30.519 pessoas (IBGE, 2017). É o município com maior área do Estado de São Paulo. A título de comparação, o município de São José dos Campos - SP possui uma área de 1.099,409 km² e uma população estimada em 2016 de 695.992 pessoas (IBGE, 2017). Ou seja, Iguape possui quase o dobro de área, porém menos de 5% da população, quando comparado a São José dos Campos. Faz fronteira com os municípios de Peruíbe, Itariri, Pedro de Toledo, Miracatu, Juquiá, Pariquera-Açu, Ilha Comprida e Cananeia. Iguapé é cortada no sentido sudoeste-nordeste pela rodovia SP-222 - Rodovia Prefeito Casimiro Teixeira. Está localizada a cerca de 200 km da capital do estado.

Figura 1: Localização do município de Iguape – SP.



Fonte: Os autores. Dados: IBGE, 2015.

A fundação do município remete ao século XVI, por ser um ponto de passagem entre portugueses, espanhóis e franceses, se destacava como ponto de interesse por diversos povos europeus por estar sob o meridiano de Tordesilhas, e era um reduto de aventureiros que buscavam encontrar riquezas. O primeiro núcleo se estabeleceu por volta de 1537, no estuário do rio que deu nome a cidade “IGUAPE”, que em tupi significa “na enseada do rio”. O núcleo se desenvolveu a partir da descoberta do ouro na região dos afluentes do rio Ribeira do Iguape. A partir do século XVI a região cresceu como um lugar de convergência entre os mineradores, até o século XVIII, quando a exploração e atividades relacionadas ao ouro declinou, o crescimento retornou a partir do século XIX, quando a economia do município se reestruturou a partir da plantação de arroz. Até os dias de hoje o Porto do mar pequeno se

destaca como um meio de escoamento de produção ribeirinhas da região. A riqueza obtida a partir do arroz propiciou a cidade a construção de residências de grande porte, engenhos, jornais, igrejas e etc. (IBGE, 2017)

Nas últimas décadas população do município cresceu à taxa muito menores que as do estado e do país, cerca de 3%, enquanto a do Estado de São Paulo e do Brasil 30%. Atualmente 85% das pessoas vivem em regiões urbanas. (Figura 2)

Figura 1: Evolução Populacional e População Residente de Iguape, SP e Brasil.

Evolução Populacional				População residente, por situação do domicílio e sexo - 2010		
Ano	Iguape	São Paulo	Brasil		Urbana	Rural
1991	27.937	31.588.925	146.825.475	Total	24687	4154
1996	25.871	33.844.339	156.032.944	Homens	12230	2232
2000	27.427	37.032.403	169.799.170	Mulheres	12457	1922
2007	28.977	39.827.570	183.987.291			
2010	28.841	41.262.199	190.755.799			

Fonte: IBGE, 2017 – Adaptado pelos Autores

A indústria e os serviços se destacam como principais atividades econômicas do município, assim como no Estado e no Brasil (Figura 3), isso é justificado uma vez que a maior parte da área municipal não urbana é coberta por florestas (Figura 5). Apesar de uma forte indústria, o setor de serviços é o que mais ocupa pessoas. (Figura 3)

Figura 3: PIB de Iguape, SP e Brasil/ Pessoas ocupadas por setor em Iguape

Produto Interno Bruto (Valor Adicionado)				Pessoas ocupadas por setor 2007 - 2013							
Variável	Iguape	São Paulo	Brasil		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Agropecuária	74.730	11.265.005	105.163.000	Agricultura	263	274	280	219	208	199	237
Indústria	962.921	193.980.716	539.315.998	Comércio	529	559	585	637	657	677	732
Serviços	509.467	406.723.721	1.197.774.001	Indústria	129	195	221	237	306	297	257
				Serviços	1240	1295	1297	1320	1415	1391	1367

Fonte: IBGE, 2017 - Adaptado pelos Autores

O município possui 57 escolas, sendo destas 14 do nível pré-escolar, 35 fundamentais e 8 do nível médio e 13 estabelecimentos de saúde, sendo 2 privados e 11 municipais (Figura 4).

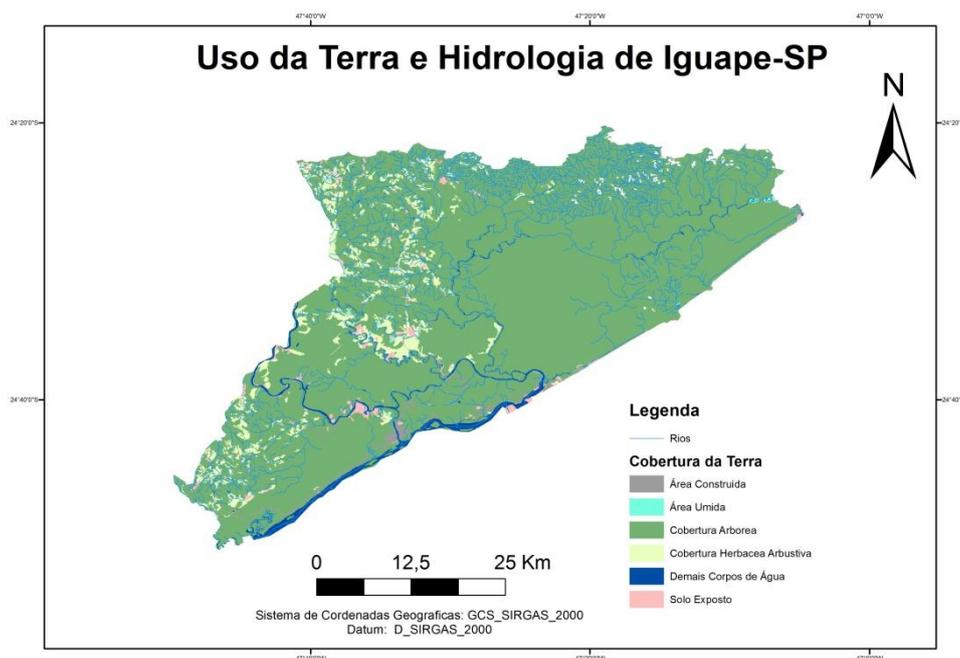
Figura 4: Número de escolas e estabelecimentos de saúde em Iguape-SP

Números de escolas por nível				Estabelecimentos de saúde			
Variável	Iguape	São Paulo	Brasil	Variável	Iguape	São Paulo	Brasil
Pré-escolar	14	122,48	1.050,40	Federais	0	29	950
Fundamental	35	148,17	1.340,77	Estaduais	0	181	1.318
Médio	8	64,32	279,93	Municipais	11	5.640	49.753
				Privados	2	8.365	42.049

Fonte: IBGE, 2017 - Adaptado pelos Autores

O uso da terra é predominantemente coberto por árvores, seguido de arbustos e áreas de solo exposto. A drenagem segue um padrão dendrítico onde a maior parte dos canais é de primeira e segunda ordem, todavia podem alcançar ordens maiores devido seus afluentes virem de toda bacia hidrográfica (Figura 5).

Figura 5: Uso da Terra e Hidrologia do município de Iguape – SP.



Fonte: Os autores. Dados: SIGRB.

3. Metodologia

Os procedimentos metodológicos do presente estudo se deram em duas principais fases: a busca pelos dados necessários para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a inundações e metodologias já publicadas; e o processamento dos dados em um sistema de

informação geográfica. Além disso, a revisão bibliográfica pode ser citada como etapa importante para o embasamento do estudo como um todo.

3.1 Obtenção dos Dados

Para a obtenção de dados sobre o município de Iguape – SP, a principal fonte foi o Sistema de Informações Geográficas da Bacia do Ribeira de Iguape e Litoral Sul do CBH – RB (SIG-RB), plataforma mantida pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul e que fornece uma extensa base de dados para tal região. Assim, dela foram extraídos os seguintes dados:

- Limites Municipais (vetorial);
- Hidrografia (vetorial);
- Curvas de Nível (vetorial, 20 metros);
- Pontos Cotados (vetorial);
- Uso da Terra (vetorial).

Como uma segunda base de dados, esta apenas topográfica, foi utilizada a cena correspondente à região do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (USGS, 2017), obtida através do TopoData (BRASIL, 2011), com resolução espacial de 30 metros.

A variação na fonte dos dados teve como intenção a comparação do impacto nos resultados finais obtido a partir da utilização das curvas de nível e pontos cotados e do dado de levantamento por radar.

3.2 Processamento dos Dados

Após o download de todos os dados necessários, os mesmos foram processados utilizando o *software* ArcGIS 10.5, utilizando as etapas a seguir.

3.2.1 Extração de Dados para o Município

Primeiramente, toda a base de dados precisou sofrer o procedimento de corte pelos limites do município. Os dados do SIG-RB abrangem toda a bacia hidrográfica do Ribeira de Iguape. Assim, toda a informação desnecessária para o estudo localizada ao longo da bacia e fora do município foi removida, possibilitando um processamento mais rápido da base de dados. Um procedimento semelhante também fora realizado com a cena do SRTM.

3.2.2 Geração de MNT e Declividade

A geração de um modelo numérico de terreno (MNT) a partir das curvas de nível e pontos cotados é uma das etapas mais importantes de todo o estudo. É sabido que a informação topográfica de uma região exerce grande influência no risco de inundação.

Para criar o MNT, as curvas de nível e os pontos cotados foram utilizados para criar uma superfície triangular TIN. A escolha da modelagem numérica por grades triangulares se deu por estas apresentarem uma melhor representação de relevo complexo e possibilitar a incorporação de restrições como linhas de crista. Nesta fase, a hidrografia também foi utilizada como linha de quebra para a criação da superfície triangular, buscando impedir erros hidrológicos do modelo. A partir da superfície TIN, foi criada uma grade retangular correspondente ao modelo numérico de terreno do município. A declividade é um produto derivado de forma direta e exclusiva de modelos numéricos de terreno, sendo representada também por uma superfície matricial. Desta forma, foi possível obter a declividade em graus para a área do município através do modelo obtido.

A base de dados SRTM passou pelo procedimento *Fill* antes de ser adotada como o segundo MNT utilizado no estudo. Este procedimento corrige imperfeições hidrológicas provindas do levantamento por radar e que poderiam prejudicar a qualidade do dado. Posteriormente, também foi extraída uma camada de declividade desta base de dados.

3.2.3 Ponderação dos Dados e Criação dos Mapas de Suscetibilidade

Para reunir os dados coletados e criados em mapas de suscetibilidade à inundação para o município de Iguape – SP foi necessário elaborar um sistema de pesos para cada dado utilizado. Este procedimento é conhecido como método AHP (*analytic hierarchy process*), e é largamente utilizado para diagnósticos ambientais e mapas de risco como o abordado no presente estudo. Para o desenvolvimento deste método foram utilizados como base os trabalhos de Santana *et al.*, 2014; Freitas *et al.*, 2012 e Saaty, 1990. Os pesos adotados foram a combinação que mais se alinhou com as características físicas, biológicas e sociais levantadas no estudo. Com tal ponderação, cada classe presente em cada camada representa um peso a ser multiplicado para a obtenção do mapa final (Tabelas 1, 2 e 3). Os dados de uso e ocupação, nesta etapa, passaram por um procedimento de “rasterização” para permitir a integração direta aos outros dados já em formato matricial.

Tabela 1: Peso atribuído à suscetibilidade a inundação relativo às cotas.

Cota (m)	0-5	5-10	10-20	20-50	50-100	100-200	200-500	> 500
Peso	8	7	6	5	4	3	2	1

Tabela 2: Peso atribuído à suscetibilidade a inundação relativo à declividade.

Declividade em Graus	0-2	2-4	4-8	> 8
Peso	4	3	2	1

Tabela 3: Peso atribuído à suscetibilidade relativo ao uso e ocupação da terra.

Uso	Cobertura Arbórea	Cobertura Arbustiva	Solo Exposto	Área Construída	Área Úmida	Corpo d'água
Peso	2	3	6	8	9	10

Após a atribuição dos pesos, foi adotado um procedimento de álgebra de mapas para realizar a junção das diferentes camadas, seguindo a expressão:

$$\text{Suscetibilidade} = \text{MNT}(\text{fonte}) + \text{Declividade}(\text{fonte}) + \text{Uso e Ocupação} \quad (1)$$

Onde a variável “(fonte)” corresponde à fonte do dado topográfico utilizado (SRTM ou curvas de nível), e Suscetibilidade corresponde ao mapa final de suscetibilidade à inundação.

3.2.4 Comparação dos Mapas pela Diferença

Como uma forma de aprimorar a comparação direta entre os dois mapas gerados, foi criado um mapa de diferenças observadas entre os riscos de inundação apresentados. Desta forma, é possível inferir diretamente sobre onde se localizam as principais variações dentre os dados topográficos escolhidos e sua respectiva combinação com o uso da terra. Para realizar o procedimento, foi necessária a seguinte expressão de álgebra de mapas:

$$\text{Diferença} = \sqrt{\{(X_1 - X_2) \times (X_1 - X_2)\}} \quad (2)$$

Onde “ X_1 ” e “ X_2 ” representam os mapas de suscetibilidade à inundação, e “Diferença” corresponde ao mapa de diferenças observadas.

4. Resultados

Os resultados obtidos podem ser divididos em parciais e finais, sendo os parciais representados pelos modelos digitais de elevação e declividade do município, enquanto que os finais são representados pelos mapas de suscetibilidade à inundação com duas fontes de dados topográficos.

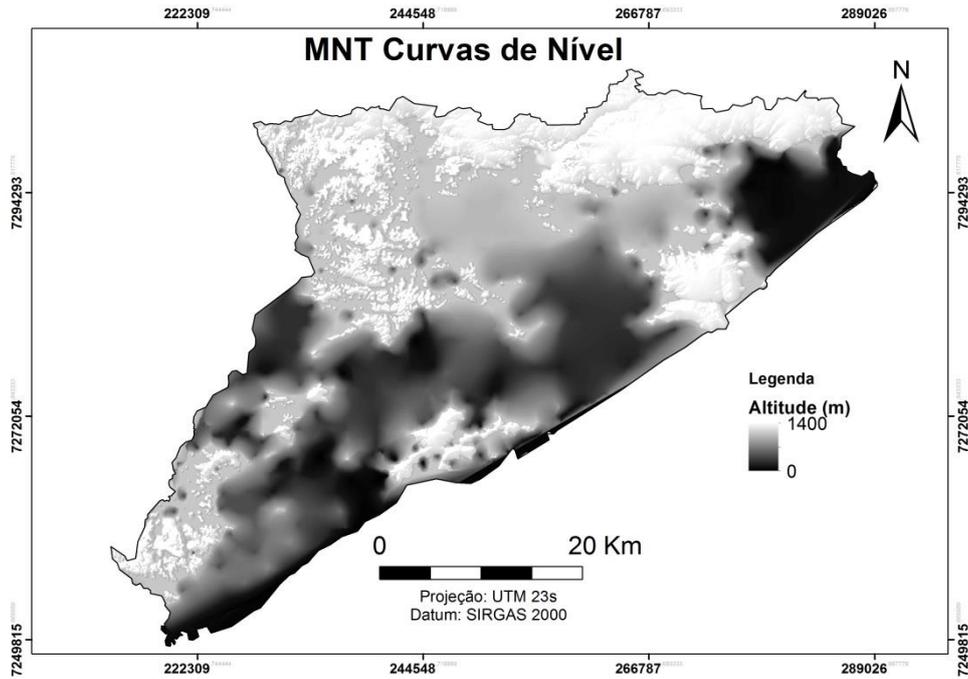
4.1 Resultados Parciais

Os resultados parciais evidenciam que existem diferenças entre os dados topográficos utilizados. As curvas de nível acabaram por gerar mapas mais homogêneos dentro das classes, apesar da mesma resolução espacial de saída ter sido utilizada (30 metros). Ainda o MNT baseado nas curvas de nível (Figura 6) apresenta mais áreas com menor altitude, sem seguir os padrões de drenagem, com uma transição menos abrupta entre um ponto e seus vizinhos.

O MNT baseado no SRTM (Figura 7) apresenta uma melhor distinção entre as altitudes, com transições mais abruptas, e seguindo padrões de drenagem. Acredita-se que esta melhor distinção de altitude aconteça devida à capacidade do radar em emitir e captar sinais que atravessam facilmente corpos d'água sem grande profundidade. Percebe-se, portanto, uma melhor sensibilidade dos mapas baseados no SRTM em representar corpos d'água. Além disso, pode ser observada uma diferença entre a altitude máxima registrada para cada modelo. Esta diferença pode ser explicada pela diferenciação nos métodos de levantamento em cada caso. Enquanto o modelo com curvas de nível considera os pontos cotados levantados em campo como locais de altitude máxima, o SRTM se utiliza de um levantamento único.

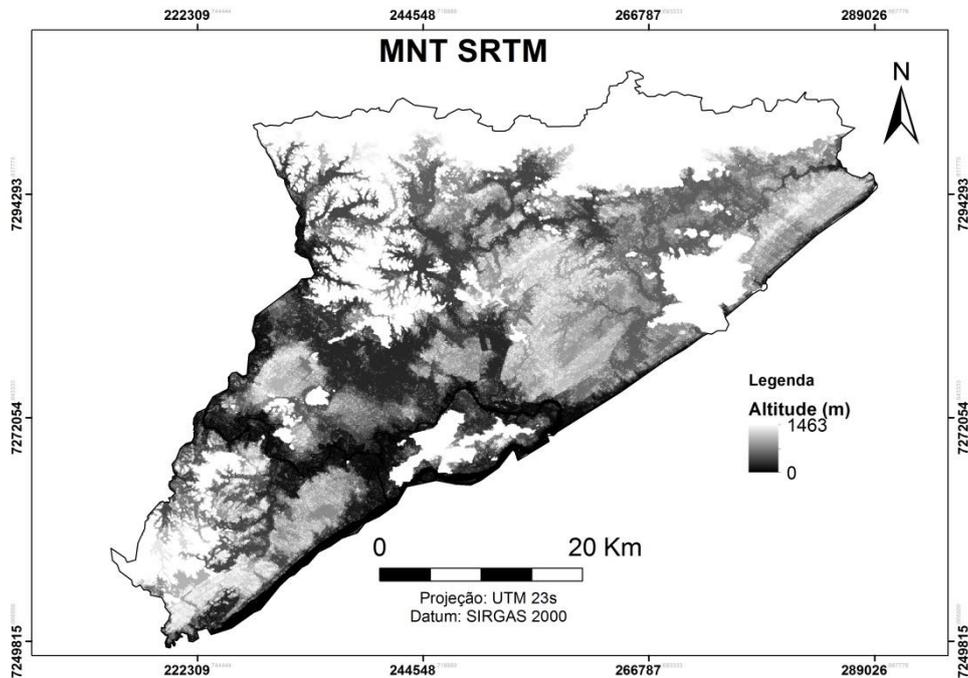
Em relação à declividade, o mapa baseado nas curvas de nível (Figura 8) apresenta áreas mais homogêneas e transições mais abruptas, enquanto o mapa baseado no SRTM apresenta áreas menos homogêneas, com transições menos abruptas. Percebe-se que, em áreas planas, a baixa quantidade de curvas de nível impede que seja desenvolvido um modelo de declividade detalhado, representando um espaço subamostrado. O mesmo pode ser afirmado, de maneira geral, para o modelo de terreno baseado em curvas de nível. Já em altitudes maiores, a maior densidade de curvas de nível permite que a modelagem seja mais precisa e muito próxima ao SRTM para a declividade, mas ainda com diferenciação nos mapas de altitude.

Figura 6: Modelo numérico de terreno (elevação) obtido a partir das curvas de nível e pontos cotados.



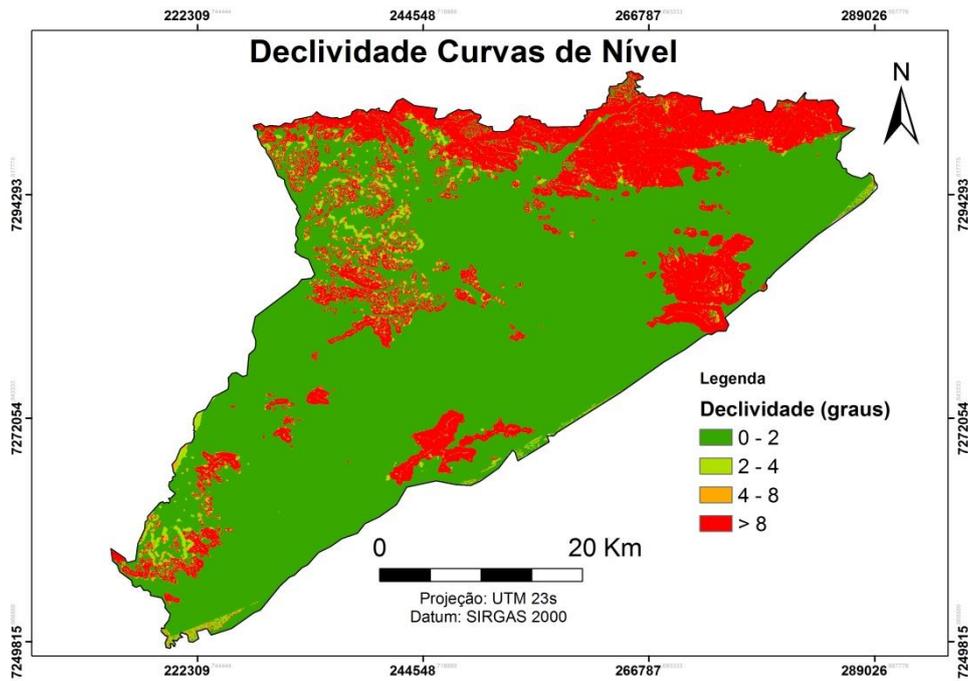
Fonte: Os autores. Dados: SIGRB.

Figura 7 Modelo numérico de terreno (elevação) aprimorado a partir dos dados SRTM



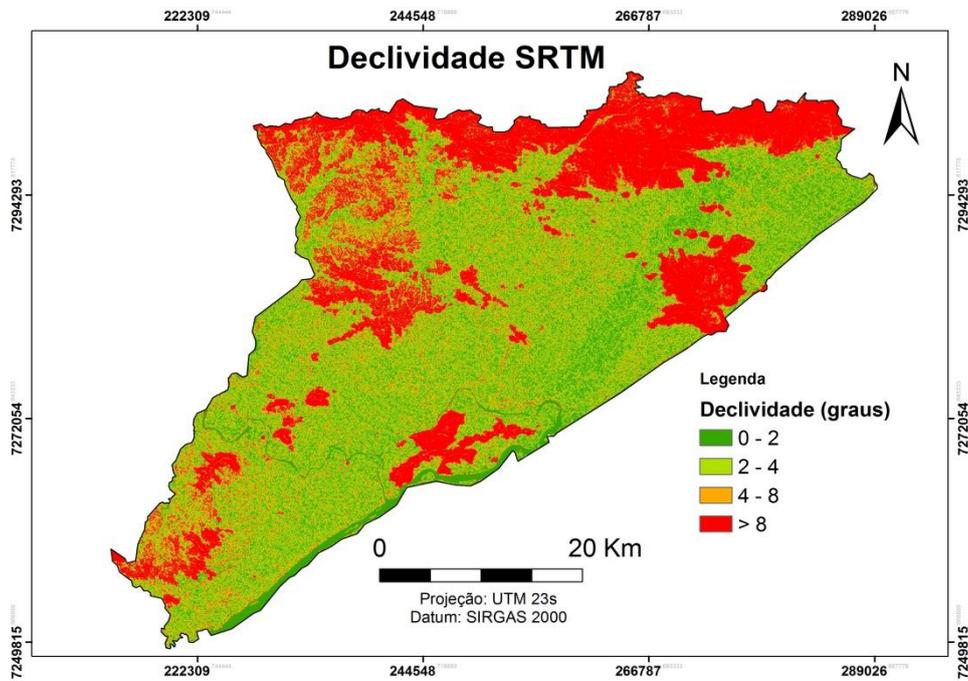
Fonte: Os autores. Dados: TopoData.

Figura 8 Declividade obtida a partir das curvas de nível e pontos cotados.



Fonte: Os autores. Dados: SIGRB.

Figura 9 Declividade obtida a partir dos dados SRTM.



Fonte: Os autores. Dados: TopoData.

4.2 Resultados Finais

Para os resultados finais, é importante apresentar a classificação final obtida pela álgebra de mapas, e a interpretação utilizada para os intervalos de valores obtidos (Tabela 4).

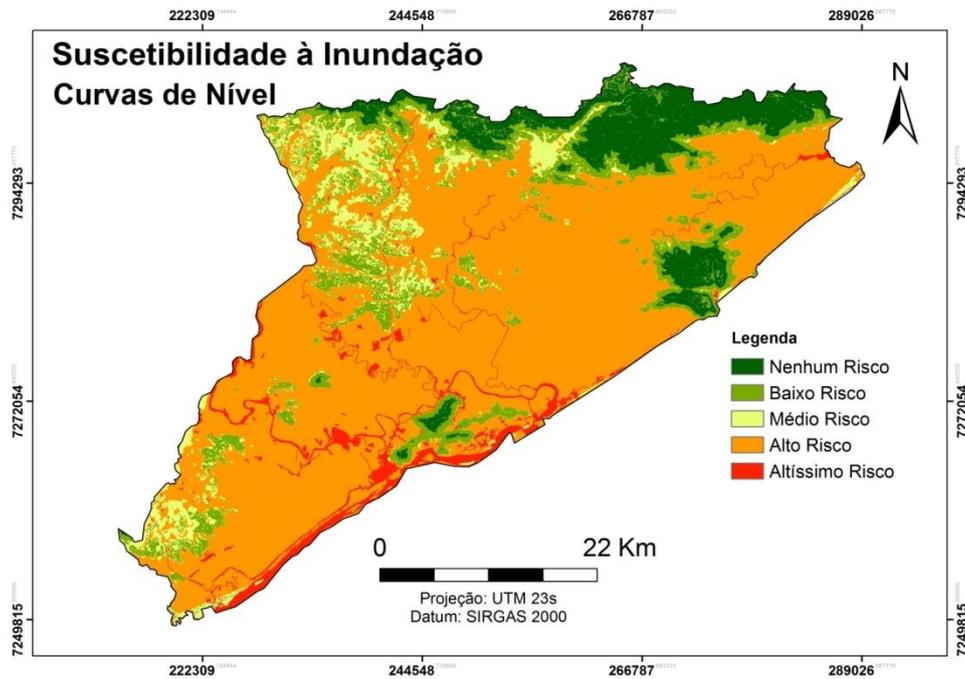
Tabela 4: Classe de risco de inundação adotada de acordo com os pesos somados.

Classe	Nenhum Risco	Baixo Risco	Médio Risco	Alto Risco	Altíssimo Risco
Soma de Pesos	3-7	7-10	10-14	14-19	19-22

Ao observar os mapas de suscetibilidade às inundações resultantes (Figuras 10 e 11), é visível que a diferença entre dados topográficos influenciou significativamente a distribuição do risco de inundação, sendo que o SRTM deu origem a um mapa com riscos mais localizados na beira dos grandes corpos d'água. Nas curvas de nível, devido ao efeito de homogeneização da declividade e da altimetria, houve um aumento no risco de inundação em áreas planas e de baixa altitude, representando um mapa com alto risco dominante no município. Este resultado pode ser associado ao fato de que as curvas de nível mais escassas em áreas planas geraram declividades muito baixas, em um modelo pouco sensível a pequenas variações de altitude.

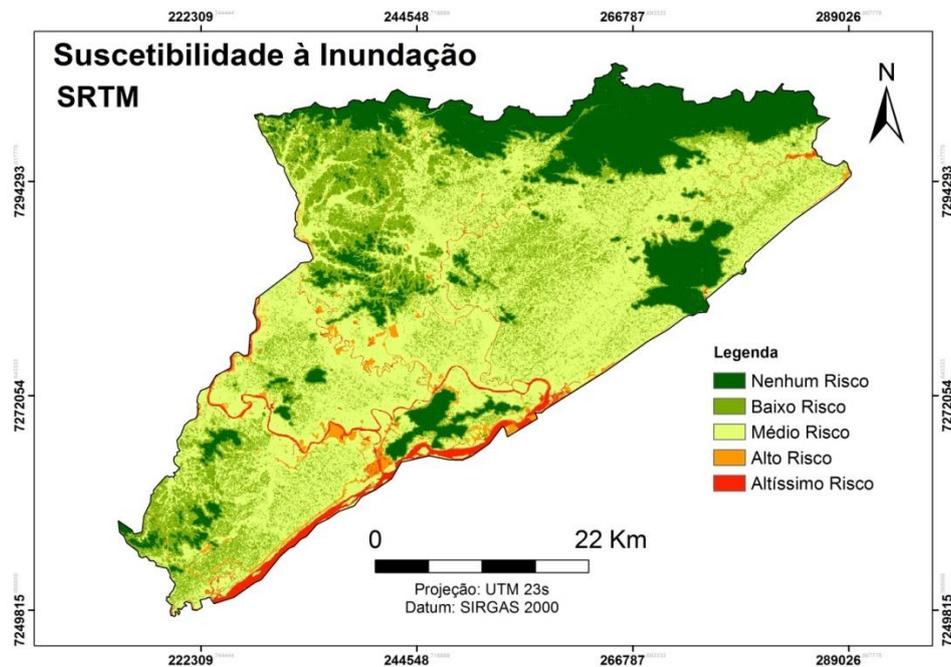
Sobre as características em comum, ambos os mapas apresentam baixo ou nenhum risco de inundação em altitudes maiores, efeito este que se combina com a alta declividade naturalmente presente nestas regiões. Assim, em grandes altitudes, o risco de inundação é reduzido pelas características físicas do terreno. Também em comum, os dois mapas coincidiram na maior parte das regiões de altíssimo risco, localizadas muito próximas aos corpos d'água. A metodologia adotada apresenta os corpos d'água como áreas de altíssimo risco de inundação, mesmo sendo estas áreas já naturalmente inundadas.

Figura 10 Suscetibilidade à inunda o para o município de Iguape – SP utilizando curvas de nível e pontos cotados como dados topográficos.



Fonte: Os autores. Dados: SIGRB.

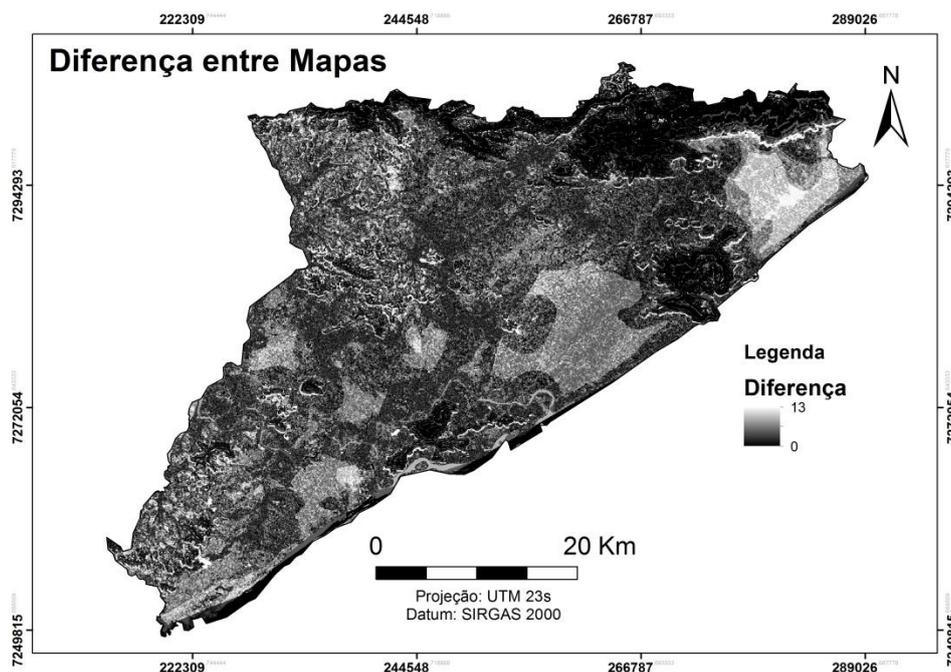
Figura 11 Suscetibilidade   inunda o para o município de Iguape – SP utilizando SRTM como dado topográfico.



Fonte: Os autores. Dados: TopoData e SIGRB.

A Figura 12 apresenta o mapa de diferenças observadas entre o mapa de suscetibilidade à inundação utilizando dados SRTM e as curvas de nível com pontos cotados. A análise deste mapa confirma a observação de que grande parte das diferenças entre os dois métodos se concentraram em baixas altitudes, na planície aluvial do rio Ribeira de Iguape. Porém, também se observam diferenças nas médias altitudes, onde foram previstos, para ambos os mapas, riscos variantes entre baixo e médio. A diferença calculada se baseia nos pesos adotados.

Figura 12 Diferenças entre Mapas de Suscetibilidade à inundação para o município de Iguape – SP



Fonte: Os autores. Dados: TopoData e SIGRB.

5. Conclusão

De forma geral, os mapas de suscetibilidade representam uma importante ferramenta para o planejamento ambiental, ressaltando possíveis riscos e sua localização espacial ao longo da área de interesse. Ao considerar tal fato, torna-se pertinente que toda a informação produzida a respeito tenha confiabilidade e qualidade, a ponto em que sejam úteis para a efetiva prevenção de riscos. O trabalho desenvolvido apresentou, de forma bastante prática, como a variação na fonte dos dados utilizados pode criar incerteza sobre o diagnóstico de suscetibilidade à inundação. Apesar das diferenças observadas, ambos os dados topográficos utilizados provêm de fontes confiáveis, são atualizados e devidamente corrigidos. Assim, uma reflexão importante sobre o desenvolvimento do trabalho é de que, de toda forma, é preciso que o usuário dos mapas desenvolva boa capacidade de interpretação da informação,

procurando sempre conhecer as variáveis utilizadas para construir o mapa e sua adequabilidade para o fim desejado.

6. Referências

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Dados de altitude numérica. São José dos Campos, 2011.

ELORZA, M. **Geomorfología**. 1ed. Madrid; PEARSON EDUCACIÓN, 2008.

FREITAS, D. F.; MARTINS, I. V. F.; TULER, V. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. D.; SANTOS, A.R. Vulnerabilidade para a Ocorrência de Fasciolose na Área Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES, Alegre, ES. **Instituto Biológico**, São Paulo, v.79, n.4, p.533-540, out./dez., 2012.

IBGE CIDADES. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso entre 01/04/2017 e 06/06/2017.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. 40p. **INPE, Santa Maria, Brasil**. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18>, v. 80, n. 2008, p. 07.02, 2008.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SANTANA, F.C.; RIBEIRO, W.C.; PAULINO, G.M.; GOMES, M.A. Mapeamento das Áreas de Risco de Inundação no Município de João Monlevade - MG, com a Utilização de Sistemas de Informações Geográficas. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IBEAS, 2014.

SIGRB. Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. Disponível em: <http://www.sigrb.com.br/>. Acesso entre 01/04/2017 e 06/06/2017.

USGS – United States Geological Survey. **Earth Explorer**. Plataforma disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 de maio de 2017.