

## MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES POR MEIO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRO GEOMORFOLÓGICAS DO MUNICÍPIO DE SOROCABA\*

Admir José Giacon Junior<sup>1</sup>  
Alexandre Marco da Silva<sup>2</sup>

### Políticas públicas, Legislação e Meio

#### *Resumo*

O evento natural de inundação é um fenômeno complexo, somado a seu potencial danoso, proporciona a esse assunto relevância na sociedade, que por sua vez procura entender os mecanismos que regem tal acontecimento a fim de minimizar os impactos negativos. Deste modo, o presente artigo tem como premissa mapear áreas suscetíveis a inundações do município de Sorocaba a partir das características hidro geomorfológicas. O mapeamento ocorreu através de atribuição de pesos variando em escala de 0 a 1, sendo 1 características com maior suscetibilidade a inundações. As características adotadas foram, altimetria, curvatura, distância interfluvial, grupos hidrológicos do solo e uso e ocupação do solo. A validação da carta de suscetibilidade a inundações do município de Sorocaba realizou-se através de pontos históricos de inundações inventariados. Como resultado, verificou-se a carta de suscetibilidade gerada poderá ser utilizada como ferramenta de gestão pública de ordenamento e planejamento territorial.

---

\* Parte da Tese de doutorado em desenvolvimento pelo primeiro autor.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, MSc, doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Estadual Paulista - UNESP (Multicampus). Contato: [admir.giacon@unesp.br](mailto:admir.giacon@unesp.br)

<sup>2</sup> Professor Associado (orientador). Departamento de Engenharia Ambiental. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – UNESP. Contato: [alexandre.m.silva@unesp.br](mailto:alexandre.m.silva@unesp.br)

## INTRODUÇÃO

O evento natural de inundação demonstra ser um dos perigos de comum ocorrência que mais afetam severamente a sociedade (KHOSRAVI et al., 2019). Sua ocorrência por vezes é associada a impactos negativos sociais, ambientais e tecnológicos (RAZAVI TERMEH et al., 2018; ZHAO et al., 2018). Somado a isso, a inexistência ou a inconsistência de dados de áreas suscetíveis a danos ambientais e ao crescimento desordenado, aliado ainda, a falta de planejamento e de ordenamento territorial fazem com que os riscos associados as inundações se maximizem.

No Brasil, no período entre 1900 a 2003, o Banco de Dados de Desastres Internacionais (EM-DAT) registrou 261 desastres naturais, ao todo, foram 3.157 vítimas fatais, 966.654 desabrigados e 41.919.471 afetados. Desses 261 desastres, 61,80% correspondem a inundações (MARCELINO; NUNES; KOBİYAMA, 2006).

Em Sorocaba, município brasileiro localizado no interior do estado do São Paulo, conforme Figura 1, com uma área de 450,382 km<sup>2</sup> e 671.186 habitantes (IBGE, 2018), os eventos de inundações demonstra-se recorrentes (G1, 2016; FRANCO, 2019; JORNAL CRUZEIRO DO SUL, 2020).

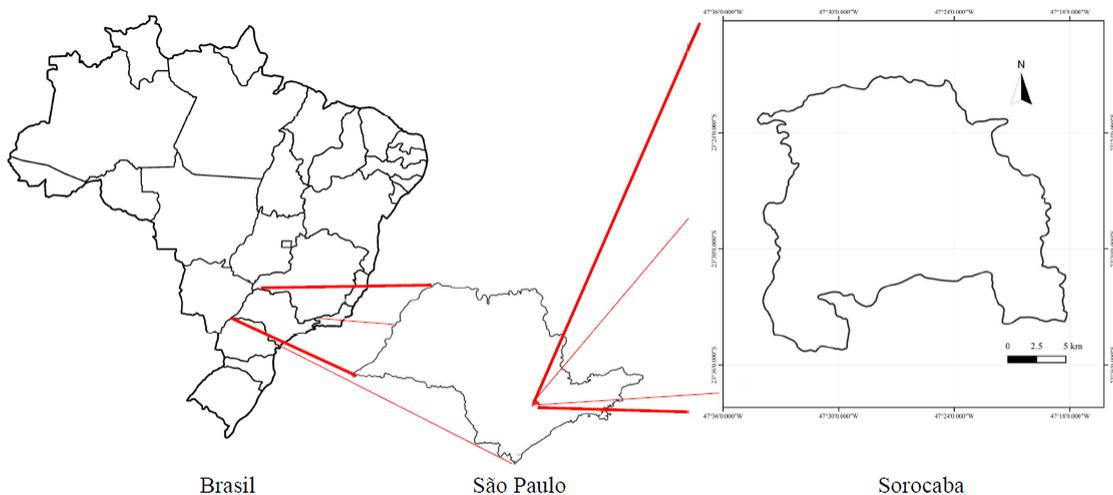


Figura 1 - Localização do município de Sorocaba.

O evento natural de inundação quase sempre é atribuído a fenômenos hidrológicos, como precipitações pluviométricas, que podem ocorrer em níveis elevados e em curtos

períodos (RAMOS, 2013). Fundamentado nesse princípio, Sorocaba apresenta índice pluviométrico definido em torno de 1.224 mm/ano e um clima classificado como subtropical úmido (Cwa), conforme a classificação climática proposta por Köppen-Geiger. O clima Cwa tem como característica precipitações de níveis altos na estação de verão (CLIMATE, 2020), o que corrobora com os eventos de inundações no município de Sorocaba.

De maneira geral, os danos ambientais em função do evento de inundações são correlacionados ao meio, como altitude, distância de corpos hídricos, superfícies acidentadas que apresentem concavidades e do uso e ocupação do solo, que por vezes possa impermeabilizá-los. Na geotecnia ambiental, a verificação que determinado meio demonstra propensão ou predisposição à ocorrência do evento natural se caracteriza como suscetibilidade (DIAS; TRENTIN; DE SOUZA ROBAINA, 2019).

Neste contexto, o presente trabalho mapeou áreas suscetíveis a inundações através das características hidro geomorfológicas do município de Sorocaba, validando o resultado através de pontos inventariados de inundações históricos locais. O resultado obtido poderá ser utilizado como uma ferramenta científica de gestão pública, capaz de fornecer prognósticos para aplicação de políticas públicas de remediação em áreas já urbanizadas e de planejamento em áreas não urbanizadas, direcionando o ordenamento territorial e, consequentemente, evitando danos e impactos negativos.

## METODOLOGIA

O roteiro metodológico deste estudo consistiu em definir por meio de revisão na literatura as características hidro geomorfológicas do município de Sorocaba, com intuito de confeccionar mapas temáticos. As características definidas foram:

- Altimetria: considerado um fator relacionado diretamente com a inundação (CHOUBIN et al., 2019), o mapa temático de altimetria realizou-se por meio do mapa de elevação digital (Digital Elevation Map – DEM), obtido através Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA, com

resolução de 30 metros;

- Curvatura: a curvatura da superfície terrestre pode ser classificada em côncava, convexa e plana. Esse dado foi obtido a partir do DEM;
- Distância interfluvial: corpos hídricos que apresentem fluxos são as principais vias de descargas de inundações, alguns estudos enfatizam que essa é uma das características com maior influência na suscetibilidade a inundações (MAHMOUD; GAN, 2018A; CHOUBIN et al., 2019). A carta se baseia no mapa hidrográfico do Estado de São Paulo, realizado pelo IBGE no ano de 1982 com escala de 1:50.000;
- Grupos hidrológicos do solo (Soil Hydrological Groups – SHG): indica a taxa de infiltração de água no solo. Os grupos hidrológicos do solo são classificados em quatro grupos: A, B, C e D (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005). A carta foi baseada de acordo com o mapeamento do tipo de solo do Estado de São Paulo, elaborado em 2017, com escala de 1:250.000 (ROSSI, 2017);
- Uso e ocupação do solo: tem um papel significativo na velocidade de escoamento, interceptação e infiltração. A construção do mapa de uso e ocupação de solo tem por base, imagens do satélite Sentinel-2 (SENTINEL, 2020) com resolução de 20 metros, as imagens foram obtidas através da plataforma web Google Earth Engine (GOOGLE, 2020). A confecção do mapa contou com visitas técnicas realizadas no município de Sorocaba para identificação das classes de uso e ocupação do solo.

A atribuição de pesos das características hidro geomorfológicas foi realizado conforme a correlação com a suscetibilidade a inundações, onde o peso é atribuído por coloração, quanto maior é a suscetibilidade, tons mais escuros são atribuídos, conforme Figura 2.

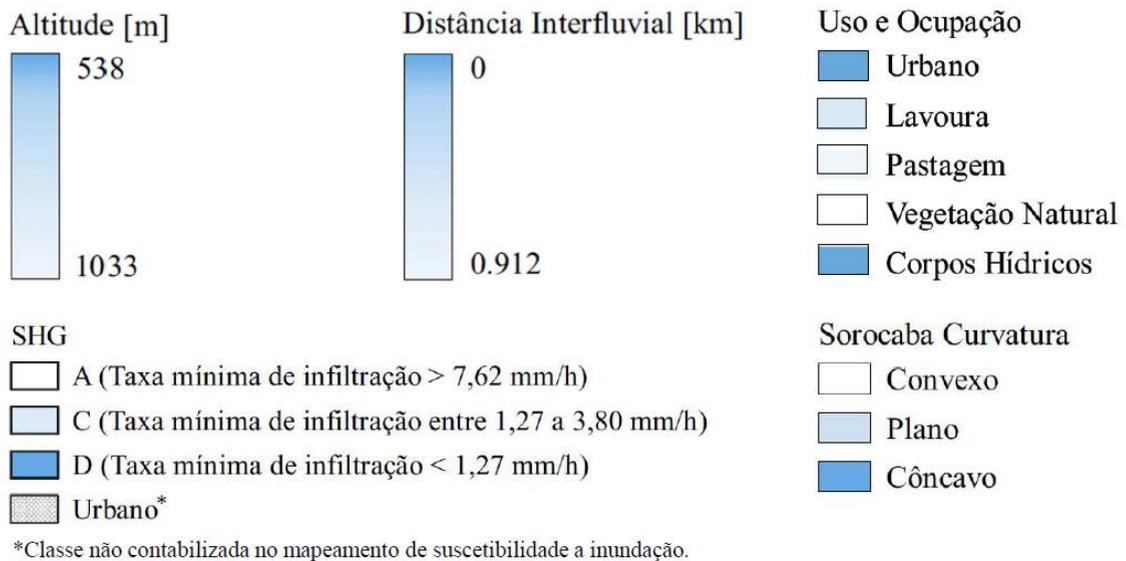


Figura 2 - Atribuições de pesos em função das características hidro geomorfológicas.

Para adequação dos mapas temáticos e possibilidade de conversão em um único mapa, sendo esse o mapa de suscetibilidade a inundação, as classes que representam cada tonalidade foram transformadas na escala de 0 a 1. A escala assumida procurou definir quanto mais próximo de 1 maior a suscetibilidade a inundação. A classificação da suscetibilidade a inundação em função das características hidro geomorfológicas pode ser observada na Figura 3.

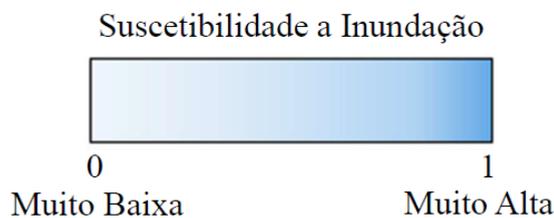


Figura 3 - Classes de suscetibilidade a inundação.

Por fim, o mapa de áreas suscetíveis a inundações obtido foi validado por meio de pontos históricos de inundações que ocorreram no município de Sorocaba. O levantamento histórico realizou-se com auxílio do Banco de Dados de Desastres Naturais do Instituto Nacional de Meteorologia (IPMet). Elaborado no ano de 2015, na plataforma web do IPMet, o banco de dados detalha e quantifica eventos severos ocorridos em municípios do Estado de São Paulo e Paraná. Os dados obtidos através do Banco de Dados de Desastres Naturais do IPMet foram filtrados com base na qualidade da informação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características hidro geomorfológica do município de Sorocaba são georreferenciados no Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum: World Global Sytem – 1984. As coordenadas do município de Sorocaba são alocadas entre as longitudes 47°18'8.16" e 47°34'11,27 a oeste de Greenwich e latitudes 23°21'3,01" e 23°35'16,65" ao sul do Equador.

Os mapas temáticos das características hidro geomorfológicas foram elaborados através do software livre QGIS (TEAM, 2015).

A altimetria do município de Sorocaba encontra-se entre 538 a 1033 metros em relação ao nível do mar. A característica da altimetria é relacionada inversamente entre maior altitude e menores suscetibilidade a inundações, a carta altimétrica é observada na Figura 4 (A).

A curvatura consiste em três categorias: superfície côncava, convexa e plana. É um fator condicionante de escoamento superficial, correlacionando diretamente com a vulnerabilidade de áreas inundáveis, visto que áreas côncavas tendem a concentrar os escoamentos oriundos de precipitações. O mapa temático de curvatura do município de Sorocaba pode ser observado na Figura 4 (B).

A distância interfluvial demonstra relativa importância na suscetibilidade a inundações, observado que corpos hídricos que demonstrem fluxos apresentam-se como as principais vias de descargas de precipitações. Outro ponto é que áreas de várzeas tendem a ser suscetíveis a inundações. As distâncias interfluviais são demonstradas através do mapa da Figura 4 (C).

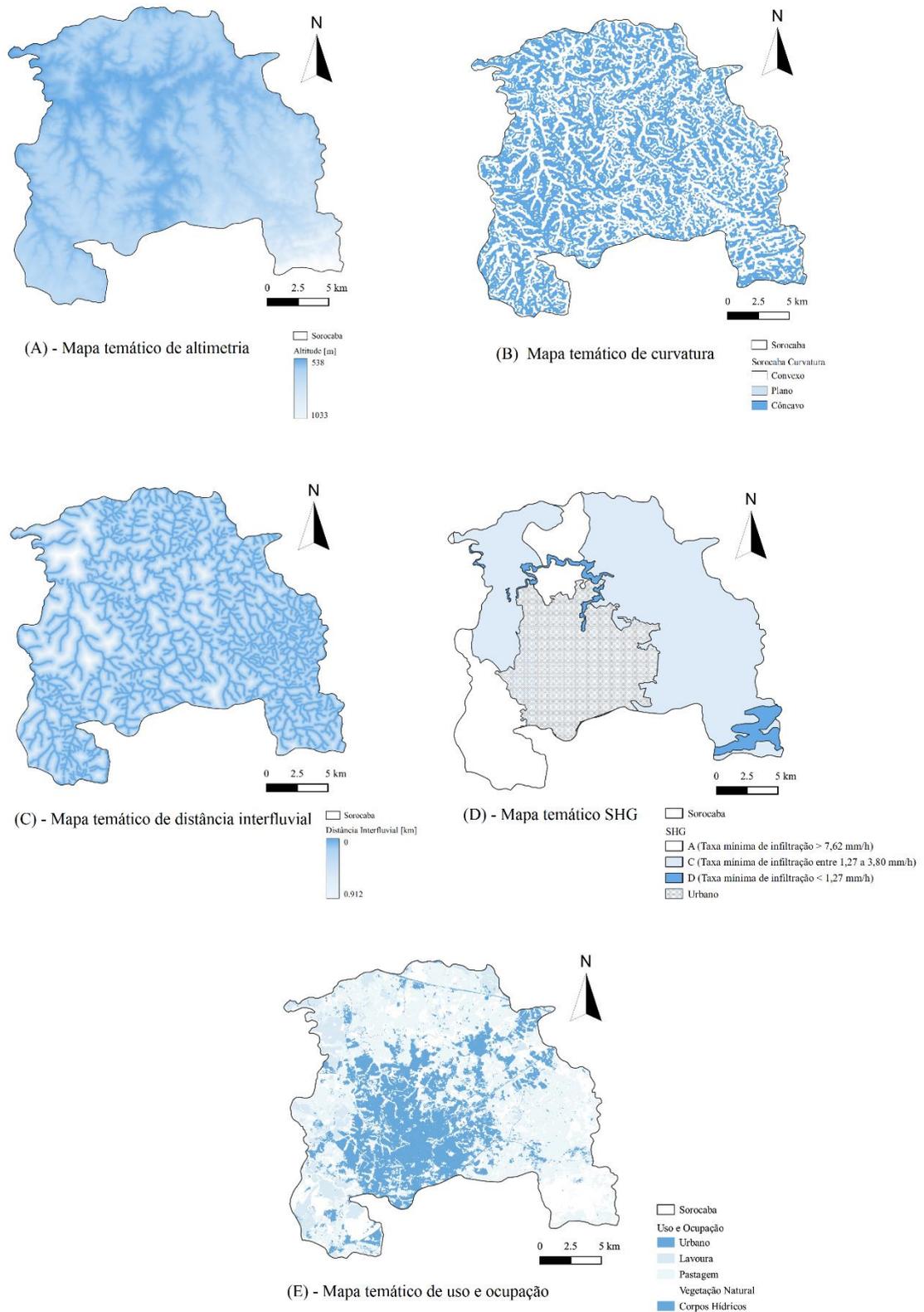


Figura 4 - Mapas temáticos de características hidro geomorfológicas do município de Sorocaba.

A categorização dos solos em Grupos Hidrológicos do Solo (Soil Hydrological Groups - SHG) indica a qualidade do solo em relação a taxa de infiltração que ele apresenta. Em Sorocaba verifica-se uma maior predominância do solo com taxa de infiltração entre 1.27 a 3.80 mm/h (classe C – SHG), conforme Figura 4 (D).

O uso da terra tem um papel significativo na velocidade de escoamento, interceptação e infiltração. O mapa de uso da terra é essencial para a determinação de áreas suscetíveis a inundações, visto que alguns tipos de ocupações tendem a impermeabilizar a infiltração de água do solo. A carta realizou-se através da ferramenta o *Semi-Automatic Classification Plugin*, fornecida pelo software QGIS (CONGEDO, 2013). O coeficiente kappa resultante foi de 0,89, como observado na Figura 4 (E).

A partir da somatória das classes dos mapas temáticos com escalas normalizadas em um range de 0 a 1, obteve-se o mapa de suscetibilidade a inundação do município de Sorocaba.

Os eventos históricos de inundação são considerados como a base de previsão da ocorrência de inundações futuras (POURGHASEMI; BEHESHTIRAD, 2015). Através do Banco de Dados de Desastres Naturais do IPMet foi possível inventariar 20 pontos de inundações. Dos pontos inventariados de inundações históricas 18 deles coincidem com locais que apresentam baixa altimetria, curvaturas côncavas e distanciamento próximos a corpos hídricos, 16 desses pontos, coincidiram ainda com áreas urbanizadas.

Todos os pontos inventariados se encontram em áreas que o mapeamento de suscetibilidade classificou com mais suscetíveis a inundações. Sendo assim, essa relação tende a validar a carta de suscetibilidade a inundações do município de Sorocaba, conforme observa-se na Figura 5.

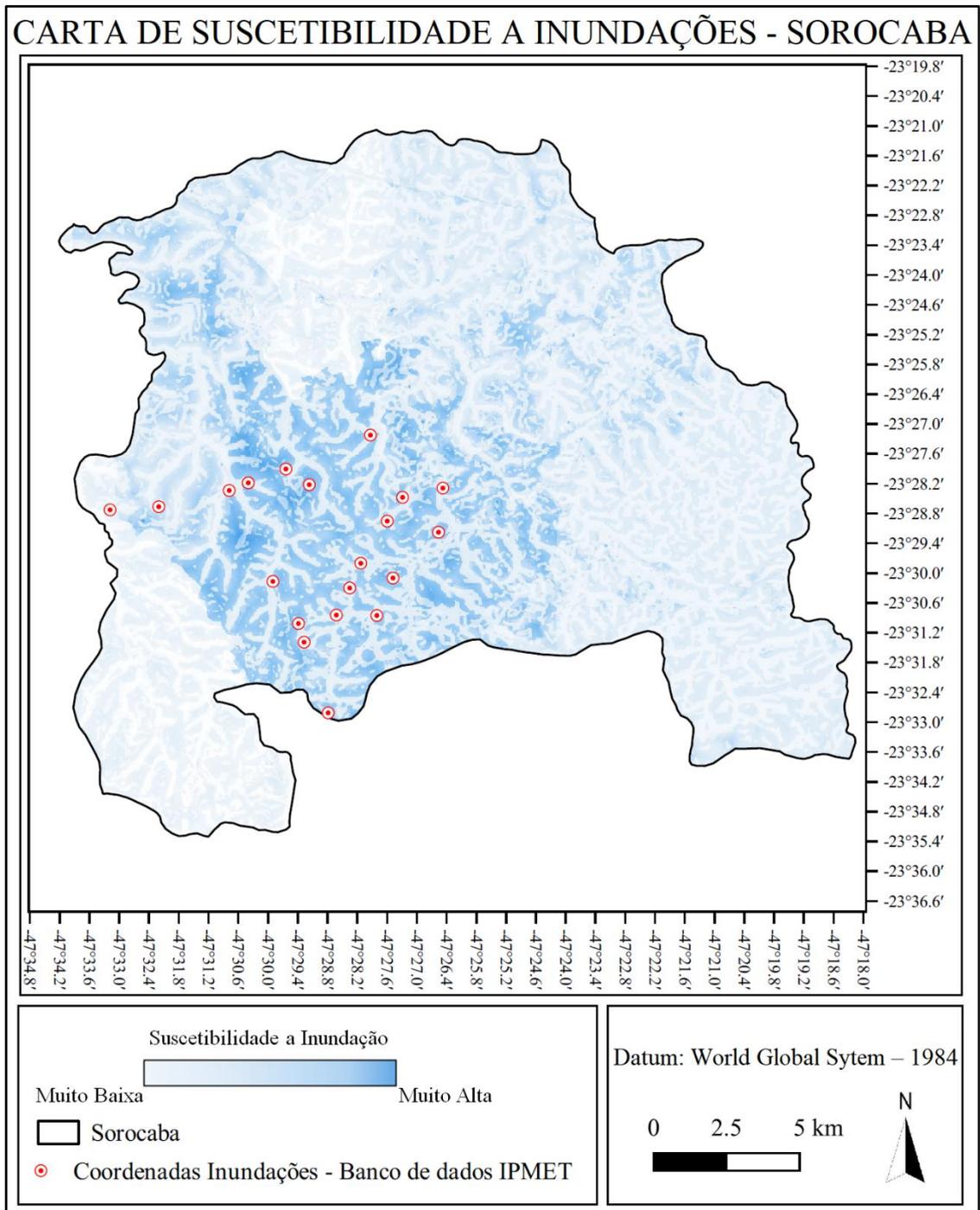


Figura 5 - Carta de suscetibilidade a inundações – Sorocaba.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou mapear áreas suscetíveis a inundações no município de Sorocaba através das características hidro geomorfológicas. Como resultado obteve-se uma carta de suscetibilidade de inundações, destacando locais que se apresentem superfícies côncavas, baixa altimetria, próximos a corpos hídricos e, com ocupação que caracterize a impermeabilização do solo com ausência ou insuficiência de infraestrutura de drenagem, podem ser ligadas diretamente ao evento de inundação. A carta gerada validou-se por meio dos pontos de inundações inventariados. Sendo assim, as referidas características podem ser destacadas como um dos pontos principais na caracterização da suscetibilidade a inundação.

Por meio dos resultados, é possível inferir que este estudo pode ser utilizado como uma ferramenta científica de gestão pública, capaz de fornecer prognósticos para aplicação de políticas públicas de remediação em áreas já urbanizadas e de planejamento em áreas não urbanizadas, direcionando o ordenamento territorial e, consequentemente, evitando e minimizando os impactos causados inundações.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

CHOUBIN, B. *et al.* An Ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2087–2096, 2019.

CLIMATE. **Precipitação média anual de Sorocaba**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sorocaba-756/>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin for QGIS. **Sapienza Univ**, p. 1–25, 2013.

DIAS, D. F.; TRENTIN, R.; DE SOUZA ROBAINA, L. E. Análise e Zoneamento Geoambiental do Município de Rosário do Sul-RS: Potencialidades e Suscetibilidades. **REVISTA GEOGRAFAR**, v. 14, n. 1, p. 70–87, 2019.

FRANCO, T. **Defesa Civil atende dezenas de casos após chuva de 67mm**. Disponível em: <<https://agencia.sorocaba.sp.gov.br/chuva-de-67mm-traz-problemas-e-defesa-civil-atende-dezenas-de-casos/>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

G1. **Chuva provoca estragos em cidades da região de Sorocaba**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/noticia/2016/02/chuva-provoca-estragos-em-cidades-da-regiao-de-sorocaba.html>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

GOOGLE. **Google Earth Engine**. Disponível em: <<https://earthengine.google.com>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

HONG, H. *et al.* Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 1124–1141, 2018A.

IBGE. **Cidades e Estados** | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

IPMET. **IPMet - Banco de Desastres Naturais**. Disponível em: <<https://www.ipmetradar.com.br/2desastres.php>>. Acesso em: 9 dez. 2019.

JORNAL CRUZEIRO DO SUL. **Chuva em Sorocaba causa alagamento na avenida Itavuvu**. Disponível em: <<https://www.jornalcruzeiro.com.br/sorocaba/chuva-em-sorocaba-causa-alagamento-na-avenida-itavuvu/>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

KHOSRAVI, K. *et al.* A comparative assessment of flood susceptibility modeling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. **Journal of Hydrology**, v. 573, p. 311–323, 1 jun. 2019.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 216–229, 2018A.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. BANCO DE DADOS DE DESASTRES NATURAIS: ANÃ? LISE DE DADOS GLOBAIS E REGIONAIS. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 19, 2006.

POURGHASEMI, H. R.; BEHESHTIRAD, M. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. **Geocarto International**, v. 30, n. 6, p. 662–685, 2015.

RAMOS, C. Perigos Naturais devidos a Causas Meteorológicas: o caso das cheias e inundações. 2013.

RAZAVI TERMEH, S. V. *et al.* Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 438–451, fev. 2018.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 1, p. 118, 2017.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05–18, 2005.

SENTINEL. **Sentinel-2 - Missões - Sentinel Online**. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

TEAM, Q. D. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. **URL: <http://qgis.osgeo.org>**, 2015.

ZHAO, G. *et al.* Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 1133–1142, fev. 2018.