



MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO RIO ATIBAIA COM ÊNFASE EM DESASTRES AMBIENTAIS

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica, Inundações e enchentes, Uso da terra.

Autores:

Bruno de Souza Garcia [UNASP]

Dr.^a Ana Maria Heuminski de Avila (orientadora) [CEPAGRI/UNICAMP]

Prof.^a Dr.^a Camila da Silva Dourado (coorientadora) [CEPAGRI/UNICAMP e UNASP]

INTRODUÇÃO:

O processo de expansão acelerado do meio urbano, sobretudo no século XIX, gerou diversos problemas para a sociedade. Um desses problemas são as inundações urbanas: eventos nos quais as águas de uma rede de drenagem excedem o leito de escoamento e afetam a população que passou a residir ao redor desta área, em planícies passíveis de inundação (TUCCI, 2008).

A região de Campinas se caracterizou por um expressivo crescimento urbano e demográfico na década de 1970 e concentra alta densidade de nascentes de rios importantíssimos para o equilíbrio hidrológico dessa região do estado de São Paulo, sobretudo o rio Atibaia, cuja bacia hidrográfica possui 2.814,59 km². Esta bacia tem sido estudo do projeto intitulado *Pilot flood and drought forecasting and early warning system for Atibaia River Basin* em parceria entre a Universidade de Cardiff-UK e a Unicamp, financiado pela Global Challenges.

Neste sentido, este trabalho objetivou a caracterização e análise dos fatores fisiográficos da bacia do rio Atibaia e sua influência nos processos de enchentes e inundações. E, o mapeamento de susceptibilidade à inundação para o município de Campinas para os anos de 2009 e 2019, com vistas a fornecer suporte à tomada de decisão referente às ações preventivas e mitigadoras dos impactos socioeconômicos e ambientais na região. Os resultados visam contribuir com o projeto supracitado.

METODOLOGIA:

Para a caracterização morfométrica da bacia foram utilizados dados vetoriais referentes às sub-bacias do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013) e aos trechos de drenagem das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ANA, 2013), ambas na escala 1:50.000 e informações de imagens do satélite ALOS sensor radar PALSAR com 12,5 metros de resolução espacial. Na análise das variáveis geométricas da bacia do rio Atibaia foram utilizados os seguintes parâmetros: área (TUCCI, 2001); perímetro (TUCCI, 2001); comprimento axial da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975); fator de forma (VILLELA e MATTOS, 1975); coeficiente de compactidade (VILLELA e MATTOS, 1975) e índice de circularidade (NARDINI et al., 2013). Para a análise das variáveis de relevo, confeccionou-se, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, o modelo digital de elevação do terreno (MDET) e mapa de declividade da bacia, a fim de determinar sua altitude

e declividade máxima, média e mínima, assim como a amplitude altimétrica. Determinou-se também a razão de relevo e o índice de rugosidade (ROMERO et al., 2017). Por sua vez, para a avaliação da morfometria da rede de drenagem foram analisados os seguintes parâmetros: número e comprimento total da drenagem; comprimento real e vetorial do rio principal; densidade de drenagem (VILLELA e MATTOS, 1975) e índice de sinuosidade (BATISTA et al., 2017). A declividade média do rio principal, assim como sua altitude máxima, média e mínima e amplitude altimétrica foram extraídas a partir de seu perfil longitudinal (PALARETTI, 2013).

Para a estimativa do tempo de concentração foram empregados os métodos de Giandotti (MARTINS, 2000), Johnstone (SILVEIRA, 2005), Temez (TEMEZ, 1978) e US Corps Engineers (SILVEIRA, 2005), desenvolvidos para bacias de características físicas semelhantes à bacia do Atibaia, considerando como valor final a média simples dos valores obtidos nestes quatro métodos.

O método proposto para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas nos anos de 2009 e 2019 tem por referência os critérios do Processo Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977). Verifica-se na literatura um acervo de estudos fundamentados no método AHP objetivando o mapeamento de áreas de risco de inundação, estabelecendo os aspectos pedológicos, altitude, declividade e uso e cobertura da terra, como os elementos de maior relevância na delimitação de áreas susceptíveis a inundação (LEAL et al., 2020; BORGES et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2011). Para a análise das variáveis foram empregados os seguintes dados: modelo digital de terreno (MDT) e mapa de declividade, confeccionados a partir de imagens de satélite ALOS sensor radar PALSAR; Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas (CAMPINAS, 2019), na escala de 1:50.000; quinta coleção de mapas de uso e ocupação da terra disponibilizados pelo Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2021), para os anos de 2009 e 2019.

As variáveis estudadas foram então reclassificadas, atribuindo-lhes notas de 1 a 5 de acordo ao grau de importância destas ao risco de inundação, sendo o grau 1 (muito fraca), grau 2 (fraca), grau 3 (média), grau 4 (forte) e grau 5 (muito forte), conforme a tabela 1.

| Grau | Variáveis | | | |
|------|---|--------------|--------------------------|------------------------|
| | Declividade (%) | Altitude (m) | Uso e cobertura da terra | Pedologia |
| 1 | Escarpado (< 75%), Montanhoso (45-75%) | 945-1045 | Floresta | Neossolo |
| 2 | Forte-ondulado (20-45%) | 845-945 | Afloramento rochoso | Cambissolo, Latossolo |
| 3 | Ondulado (8-20%) | 745-845 | Uso agropecuário | Nitossolo, Luvisolo |
| 4 | Suave-ondulado (3-8%) | 645-745 | Área urbana | Argissolo |
| 5 | Plano (0-3%) | 545-645 | Corpos d'água | Gleissolo, Organossolo |

Tabela 1 – Notas estabelecidas para a reclassificação das variáveis. Fonte: Adaptado de Leal et al., 2020.

Para a confecção dos mapas de susceptibilidade à inundação utilizou-se a técnica de álgebra de mapas no SIG, que consiste na aplicação de um modelo matemático (Equação 1), no qual se consideram os valores de influência de cada variável e as notas atribuídos a cada uma de suas classes (MANTIS e VAZ, 2019; BORGES et al., 2015, SANTOS et al., 2010).

$$RI = 0,0569 * TS + 0,1219 * UCS + 0,2633 * AL + 0,5579 * DE \quad (1)$$

Onde: RI = risco de inundação, TS = tipo de solo, AL = altitude, DE = declividade e UCS = uso e cobertura do solo.

Para a caracterização do mapa final, foram atribuídas as seguintes classes quanto à susceptibilidade à inundação: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto risco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A análise dos fatores fisiográficos (Tabela 2) possibilitou determinar e compreender variáveis

| Características Físicas | Unidades | Resultados |
|--|--------------------|----------------|
| Área de drenagem (A) | km ² | 2.814,59 |
| Perímetro (P) | km | 579,71 |
| Comprimento axial (C) | km | 131,27 |
| Fator de forma (Kf) | Adimensional | 0,16 |
| Coefficiente de compacidade (Kc) | Adimensional | 3,06 |
| Índice de circularidade (Ic) | Adimensional | 0,11 |
| Altitude mínima da bacia | m | 499 |
| Altitude média da bacia | m | 850,3 |
| Altitude máxima da bacia | m | 2.026 |
| Amplitude altimétrica (Hm) | m | 1.527 |
| Declividade mínima da bacia | % | 0 |
| Declividade média da bacia | % | 20,2 |
| Declividade máxima da bacia | % | 279,6 |
| Razão de relevo (Rr) | Adimensional | 0,029 |
| Índice de rugosidade | Adimensional | 3,58 |
| Ordem da bacia | - | 7 ^a |
| Número total dos canais (n) | - | 12.365 |
| Comprimento total da drenagem (Cr) | km | 6.599,48 |
| Comprimento do rio principal (L) | km | 257,48 |
| Comprimento vetorial do rio principal | km | 127,56 |
| Altitude mínima do rio principal | m | 504 |
| Altitude média do rio principal | m | 708,69 |
| Altitude máxima do rio principal | m | 802 |
| Amplitude altimétrica do rio principal | m | 1,306 |
| Declividade média do rio principal | % | 0,021 |
| Densidade de drenagem (Dd) | km/km ² | 2,34 |
| Índice de sinuosidade | Adimensional | 2,02 |

Tabela 2. Características fisiográficas da bacia do rio Atibaia – SP.

importantes no auxílio ao planejamento e gestão ambiental da região. Quanto à forma da bacia, os valores obtidos para o fator de forma (0,16), índice de compacidade (3,06) e índice de circularidade (0,11) conferem a bacia do Atibaia um formato comprido e baixa tendência a enchentes (PALARETTI, 2013; NARDINI et al., 2013). A respeito do relevo, os baixos valores de razão de relevo e índice de rugosidade indicam uma menor declividade geral da bacia do rio Atibaia (ROMERO et al., 2017), confirmada pela declividade média da bacia da ordem de 20,2%, permitindo classificá-la com relevo forte-ondulado (LEPSCH, 2001). Esta classe de relevo apresenta moderada fragilidade à erosão e degradação ambiental, além de apresentar limitações à mecanização agrícola, recomendada no emprego de agricultura semi-intensiva (LEPSCH, 2001). As características da rede de drenagem, por sua vez, revelam a densidade de drenagem da bacia, assim como o índice de sinuosidade do rio principal. De acordo com Palaretti (2013), o valor calculado de densidade de drenagem confere uma boa drenagem à bacia do Atibaia, permitindo inferir uma eficiente permeabilidade e infiltração de água na localidade. Por sua vez, o rio principal apresentou um índice de sinuosidade de 2,02, permitindo classificá-lo com um curso de água sinuoso (BATISTA et al., 2017).

A respeito do tempo de concentração, os resultados obtidos pelas diferentes fórmulas revelam uma

| Método | Tempo de concentração (horas) |
|--------------------|-------------------------------|
| Giandotti | 52,29 |
| Johnstone | 61,9 |
| Temez | 102,27 |
| US Corps Engineers | 65,11 |
| Média | 70,39 |

Tabela 3. Resultado do cálculo do tempo de concentração da bacia do Atibaia.

variabilidade de valores para a bacia do Atibaia (Tabela 3), em virtude às condições próprias em que foram determinadas cada uma das fórmulas. Neste estudo, adotou-se o valor médio entre os resultados como um indicativo ao tempo de concentração da bacia.

Quanto a avaliação dos processos de inundação, as figuras 1 e 2 retratam os resultados obtidos para

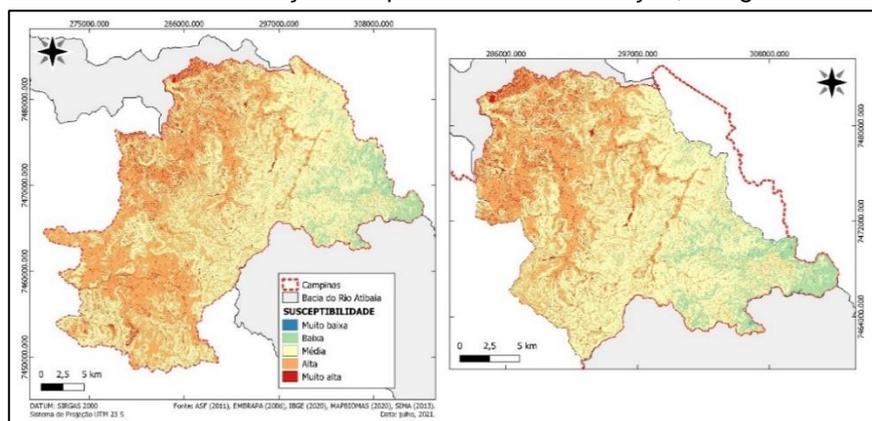


Figura 1 – Mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas, com foco na bacia do Atibaia, para o ano de 2009.

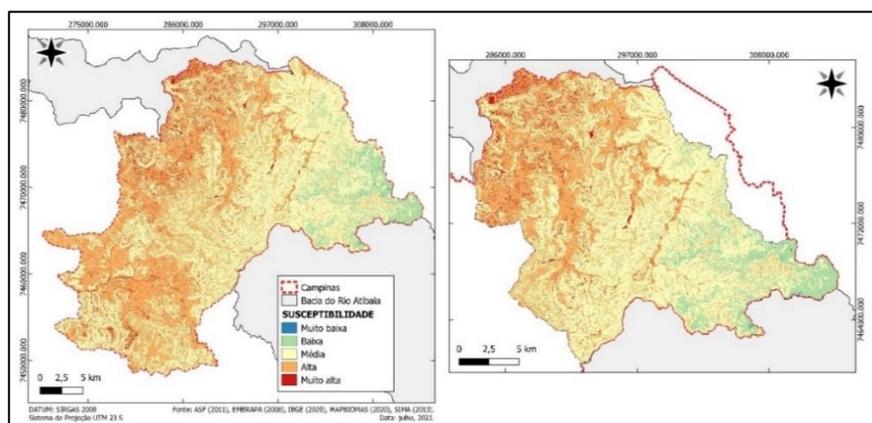


Figura 2 – Mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas, com foco na bacia do Atibaia, para o ano de 2019.

a análise de susceptibilidade à inundação do município de Campinas com a aplicação do método AHP, nos anos de 2009 e 2019, evidenciando a área da bacia do Atibaia presente no município.

CONCLUSÕES:

A caracterização da bacia hidrográfica do Atibaia quanto aos seus aspectos físicos e de tempo de concentração exercem papel fundamental para melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorrentes, além de agregar informações auxiliares a futuros estudos no tocante ao diagnóstico, planejamento e gestão ambiental na localidade. Por sua vez, para o município de

Campinas, baseado nas respostas obtidas neste estudo, o mapeamento quanto as áreas susceptíveis à inundação podem orientar a geração de novos estudos na escala de detalhe, para a determinação do perigo e risco, além de eleger áreas prioritárias às ações e programas governamentais no tocante à gestão urbana e ambiental visando à prevenção e contingência de possíveis impactos decorrentes dos processos de inundação.

BIBLIOGRAFIA

ANA. Agência Nacional de Águas. Catálogo de Metadados da ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. 2013.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio – GO. **Revista Geoambiente**, n. 29, p. 15-35, 2017.

BORGES, M. P.; CRUIVINEL, A. S.; FLORES, W. M. F.; BARBOSA, G. R. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – João Pessoa SBSR, XVII, 2015. 5897-5903 p.

CAMPINAS. Metadados. **Pedologia**. Disponível em: <<https://informacao-didc.campinas.sp.gov.br/metadados.php>>. Acesso em: 20 maio 2021.

- LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. R.; AQUINO, J. T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp, p. 20-40, ago. 2020.
- LEPSCH, J.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas, Soc.Bras.Cien.do Solo, 2001.175p.
- LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 2008.
- MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociência**. v. 8, n. 2, p. 63-70, nov.; 2011.
- MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá - SP utilizando método de análise hierárquica. **Leopoldianum**, n. 126, p. 69-85, 2019.
- MARTINS, F. J. P. **Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2000.
- NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X. D.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, v.18, n.4, p. 687-699, 2013.
- PALARETTI, L. F. **Manejo de Bacias Hidrográficas. Jaboticabal**, p. 11. 2013.
- Projeto MapBiomias – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**, acessado em 22 de abril de 2021 através do link: <https://mapbiomas.org/>
- ROMERO, V. et al. Estudo Hidromorfológico de Bacia Hidrográfica Urbana em Goiânia/GO. **Ciência e Natura**, v.39, n.2, p.320-340, jun/ago., 2017.
- SAATY, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, 15, p. 234-381, 1977.
- SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGÊNIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.
- SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA). **Sub-bacias do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.
- SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**. Vol. 10, nº1. Porto Alegre. 2005.
- TEMEZ, J. R. **Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequenas cuencas naturales**. Madrid: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, N. 12. P. 1-111. 1978.
- TONELLO, K. C.; et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães MG. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa MG, v. 30, n.5, p. 849-857, 2006.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.97-112, jun. 2008.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. 943 p.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. 1975. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill.