

Received:
March 31, 2022

Accepted:
April 28, 2022

Published:
April 30, 2022

Mapping of areas susceptible to inundation and flooding in Itambacuri-MG using geoprocessing techniques

Caio Herman Teixeira de Oliveira¹ , Huezer Viganô Sperandio¹ , Nayme Soares Guedes¹ , Marlon Fernandes Ramos¹ , Rafael Alvarenga Almeida¹ , Daniel Brasil Ferreira Pinto¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, ICET, Teófilo Otoni, Brasil.

Email address

caio.teixeira@ufvjm.edu.br (Caio H. T. Oliveira)

huezer@gmail.com (Huezer V. Sperandio)

nayme.guedess@ufvjm.edu.br (Nayme S. Guedes)

civilengmarlon@gmail.com (Marlon F. Ramos)

rafael.almeida@ufvjm.edu.br (Rafael A. Almeida)

daniel.brasil@ufvjm.edu.br (Daniel B. F. Pinto) – Corresponding author.

Abstract

The objective of this work was to apply the Analytical Hierarchical Process (AHP) method and geoprocessing techniques to map areas susceptible to flooding and flooding in a watershed in the municipality of Itambacuri, in Minas Gerais. The methodology was based on bibliographies that used the AHP method and included the collection, analysis and processing of spatial data for the delimitation of the study area, preparation of slope maps, altimetry, land use and occupation and flow accumulation, using the AHP techniques, which are based on mathematical methods of multi-criteria analysis to determine the factors that influence the preparation of the final mapping. It was necessary to carry out a field survey of regions with a history of floods or floods already known to validate the use of the methodology. As a result, 15 flood points and eight flood points were surveyed in the municipality, which showed satisfactory results in mapping susceptible areas of flooding, since the regions highlighted in the software coincided with the points surveyed in the field.

Keywords: Floods, Susceptibility, AHP, Geoprocessing, GIS.

1. Introdução

Segundo Tucci (2003) as inundações são anteriores à existência humana e civilizações, historicamente se desenvolveram em áreas próximas aos rios e os utilizavam para transporte e uso de água. A história mostra que, desde a antiguidade, o ser humano tenta conviver com as enchentes, buscando morar em áreas de maior relevo (Tucci, 2003).

A localização de áreas urbanas próximas a corpos d'água deve-se principalmente às necessidades fisiológicas humanas. Além disso, existem outros fatores significantes relacionados aos usos múltiplos da água, como criação de animais, irrigação de plantações, usos industriais, energia, pesca, navegação, entre outros.

Segundo Magalhães et al. (2011) a estruturação das primeiras cidades nos séculos

passados ocorreu às margens dos corpos hídricos e de maneira inadequada e ao comparar a evolução temporal, grande parte das civilizações permanecem com o mesmo costume de habitar em locais próximo aos recursos hídricos.

O processo de urbanização interfere nos elementos do ciclo hidrológico, modificando o meio ambiente por meio de desmatamento, degradação de áreas naturais, entre outros danos, como impermeabilização do solo, falta de um sistema de drenagem urbano ideal, poluição da bacia e canais de drenagem causando enchentes, alagamentos e inundações (Holanda e Soares, 2019).

Alves et al. (2018) afirma que os danos potenciais resultantes de eventos como enchentes, inundações e alagamentos têm aumentado ao longo dos anos. Isso porque a água invade indústrias, comércios e casas que possuem equipamentos eletrônicos caros que geram perdas muito maiores

do que no passado. Além disso destaca-se a presença do tráfego de veículos, onde eventos de cheias torna-se um problema de mobilidade urbana.

Em suma, a expansão das cidades brasileiras aumenta sua susceptibilidade a inundações. Portanto, é necessário desenvolver estratégias de gestão de risco de inundação diferentes das tradicionais de drenagem urbana, uma vez que são muito focadas em intervenções puramente estruturais, como soluções de encanamentos e canais de água, que por vezes causam problemas à população (Alves et al., 2018).

A cidade de Itambacuri não se difere e possui estrutura ocupacional semelhante à maioria das cidades brasileiras, ocorrendo de forma predatória (Oliveira & Gomes, 2021). Segundo Oliveira e Gomes (2021) o município possui áreas de ocupação do solo em bacias de inundação, o que aumentam as situações de risco para os moradores locais.

2. Objetivo

Objetiva-se com este trabalho o mapeamento das áreas susceptíveis à inundação e alagamentos em Itambacuri-MG, utilizando o método Processo Hierárquico Analítico (AHP) em softwares GIS.

3. Caracterização da Área

O município de Itambacuri está localizado na mesorregião do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais e apresenta uma população de 22.809 habitantes e uma área total de 1.409,21 km², segundo o último censo realizado pelo IBGE (2010).

A área para o estudo compreende o perímetro de parte da bacia do Rio Itambacuri, delimitada a partir de um ponto a jusante da área em que está inserida a cidade de Itambacuri, conforme é mostrado na Figura (1). O trecho faz parte da zona de contribuição da bacia do Rio Doce.

Segundo a EMBRAPA (2018) o tipo de solo da região é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Segundo Oliveira e Gomes (2021) a formação geológica aluvionar presente na região, formada por depósitos de areia, silte, argila e esporádicos brancos de cascalho, são mais expressivas nas áreas de margem dos cursos hídricos locais e são formadas a partir do intemperismo local e complementada por ações antrópicas e estão presentes, principalmente, nas áreas de baixa declividade, o que inclui a área urbanizada do município.



Figura 1 – Área de estudo da bacia do Rio Itambacuri, no município de Itambacuri-MG.

4. Metodologia

A metodologia adaptada ampara-se nos estudos elaborados por Santos, Louzada e Eugênio (2010), Magalhães et al. (2011), Leite e Rocha (2016) e Ramalho, Oliveira e Dourado (2017), cujos autores determinaram a áreas potencialmente inundáveis com base em geoprocessamento e SIG a partir da relação entre os planos temáticos de variáveis ambientais.

Para o processamento dos dados espaciais, foi utilizado o software ArcGIS Pro, desenvolvido pela empresa ESRI com licença estudantil.

Para delimitação da microbacia e elaboração dos mapas de altimetria e declividade fez-se necessário o *download* do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido através do satélite *Alos Palsar*, com resolução espacial de 12,5 metros. Em seguida, realizou-se o processamento do MDE para obtenção dos produtos cartográficos por meio de *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Inicialmente foi necessário realizar a delimitação da microbacia do Rio Itambacuri, a partir de um ponto à jusante da cidade. Em seguida, após realizados os processamentos para obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDEHC), foi realizada a delimitação da microbacia através do comando *watershed*.

A partir de então foi realizado o recorte do MDE pelos limites da microbacia gerada, e atribuído a este uma nova simbologia para melhor visualização da hipsometria. Logo após, foi realizado o processo de geração do mapa de declividades pela ferramenta *slope*.

Para obtenção do mapa de uso do solo foi necessário obter uma imagem de satélite multiespectral. Para isso, realizou-se o *download* de uma imagem do satélite sino-brasileiro CBERS 04A no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A imagem obtida é de julho de 2020, por conter uma menor fração de nuvens e dispõe resolução espacial de 8 metros em suas bandas *Red* (R - Banda 3), *Green* (G – Banda 2) e *Blue* (B – Banda 1) e *Infrared* (NIR – Banda 4) e 2 metros na banda pancromática (PAN - Banda 0).

Foi realizada a composição das bandas 1, 2, 3 e 4, e em seguida, a coleta de amostras na imagem, valendo-se da combinação de diferentes bandas espectrais para visualização em cor verdadeira (RGB) e falsa-cor. Esse procedimento é necessário

para criação do arquivo de assinatura para realização da classificação supervisionada.

Por fim foi utilizado o método da máxima verossimilhança pelo comando *maximum likelihood classification*. A classificação ficou dividida em 6 classes, sendo: Área Urbana, Solo Exposto, Pastagem, Água, Vegetação Nativa e Nuvens e Sombras.

Para obtenção do raster de Acumulação do Fluxo, inicial foi gerado o mapa de direção do fluxo de escoamento com a ferramenta *Flow Direction*. Em seguida, com o uso da ferramenta *Flow Accumulation*, foi obtido o mapa de acumulação. O processo de reclassificação do raster foi composto por apenas 2 classes, tomando com peso 9 as células cuja contribuição fosse maior que 10.000, e peso 1, para as demais células inferiores a esse valor.

Com isso, gerou-se um mapa de acumulação de fluxo em que melhor representasse a hidrografia local, admitindo-se o maior valor, visto que essas regiões são altamente propensas a inundações.

Após o levantamento e processamento dos dados, foram atribuídos a cada uma dessas variáveis pesos estatísticos. Esses pesos atribuem um valor hierárquico de contribuição de cada meio à susceptibilidade de inundações e alagamentos.

Os pesos atribuídos às variáveis ambientais foram calculados através do método AHP, desenvolvido por Saaty (1977), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de valores AHP – Pesos das variáveis ambientais (Ramalho, Oliveira e Dourado, 2017).

Intensidade	Definição
1	Igual importância – os fatores contribuem igualmente para o evento
3	Importância moderada – fator ligeiramente importante, com relação aos outros
5	Importância essencial – o fator é claramente mais importante
7	Importância demonstrada – o fator é muito favorecido, sendo sua relevância demonstrada na prática
9	Importância extrema – a evidencia que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre os graus descritos – a diferença de importância é suportada por questões secundárias adicionais

Santos, Louzada e Eugênio (2010) consideram a fase de atribuição dos pesos estatísticos um dos momentos mais importantes durante o processo de confecção de um mapa de

inundação, uma vez que os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido.

A matriz de comparação pareada desenvolvida neste estudo é apresentada na Tabela 2. A declividade foi definida como o fator mais contributivo no que diz respeito a inundações e alagamentos, dentre os fatores elencados e a altimetria o fator de menor importância.

Tabela 2 – Matriz pareada e atribuição dos pesos estatísticos.

-	Uso do Solo	Alt.	Acc. Fluxo	Decliv.	Pesos
Altimetria	1,00	0,333	0,143	0,11	0,046
Uso do Solo	2,00	1,00	0,250	0,25	0,116
Acc. de Fluxo	7,00	4,00	1,00	0,50	0,335
Declividade	9,00	4,00	2,00	1,00	0,501

No método AHP ainda são distribuídas as notas para cada fator influente de acordo com o grau de relevância para a criação do mapa final de susceptibilidade a inundação. Para isso, os mapas de declividade, acumulação de fluxo, altimetria e uso e ocupação do solo foram reclassificados de acordo com os pesos estatísticos atribuídos conforme as Tabelas (3, 4 e 5), através da ferramenta *Reclassify* do ArcGIS Pro.

Para o mapa de declividade houve reclassificação em 7 classes, com adaptações da recomendação da EMBRAPA (2018) e as notas foram atribuídas à estas conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Pesos atribuídos à declividade.

Declividade (%)	Nota
0,00 – 3,00 (Plano)	9
3,00 – 8,00 (Suavemente ondulado)	7
8,00 – 15,00 (Ondulado)	5
15,00 – 30,00 (Fortemente ondulado)	4
30,00 – 45,00 (Montanhoso)	3
45,00 – 75,00 (Escarpado)	2
>75,00 (Fortemente Escarpado)	1

Para o mapa de altimetria o MDE foi reclassificado em 8 classes, conforme a Tabela 4. Nesse modelo, segundo Leite e Rocha (2016), objetivando representar a variação altimétrica ao longo da área de estudo e ao mesmo tempo, considerando sua lógica de distribuição, a hipsometria foi dividida em 8 classes, com amplitude de 5 metros para as duas primeiras classes, 10 metros para a terceira classe, 100 metros

para as classes quatro a sete e 200 metros para a última classe. Tal classificação justifica-se pela amplitude altimétrica da área urbana ser baixa e estar concentrada entre as altitudes de 280 a 300 metros.

Tabela 4 – Pesos atribuídos à altimetria.

Altimetria	Nota
280 – 285	9
285 – 290	8
290 – 300	7
300 – 400	6
400 – 500	5
500 – 600	3
600 – 700	2
700 – 900	1

A reclassificação do mapa de uso e ocupação do solo consistiu na atribuição de notas às classes de solo já levantadas inicialmente e podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5 – Pesos atribuídos ao uso e ocupação do solo.

Uso do solo	Nota
Água	9
Mancha urbana	8
Solo exposto	7
Pastagem	3
Vegetação Nativa	2
Sombra/Nuvem	0

No que tange a elaboração do mapa de susceptibilidade a inundações e alagamentos foi realizada a técnica de álgebra de mapas de sobreposição de rasters por adição, em SIG, com os produtos cartográficos supracitados. As variáveis foram combinadas através da ferramenta *Raster Calculator* no ArcGIS Pro, através da Equação (1) adaptada de Ramalho, Oliveira e Dourado (2017), utilizando os pesos estatísticos determinados na Tabela 2:

$$SIA = 0,501 * d + 0,335 * acf + 0,116 * us + 0,046 * a \quad \text{Eq. (1)}$$

SIA – Susceptibilidade a inundação e alagamentos;
 d – Declividade; acf – Fluxo acumulado;
 a – Altimetria; us – Uso do solo;

A equação permitiu a produção do mapa temático de áreas susceptíveis a inundação e alagamentos na bacia do Rio Itambacuri, com base nas variáveis de declividade, acumulação de fluxo, uso do solo e altimetria. Por fim, as classes de

susceptibilidade foram classificadas conforme orienta Ramalho, Oliveira e Dourado (2017):

- Baixa
- Baixa-Média
- Média
- Média-Alta
- Alta

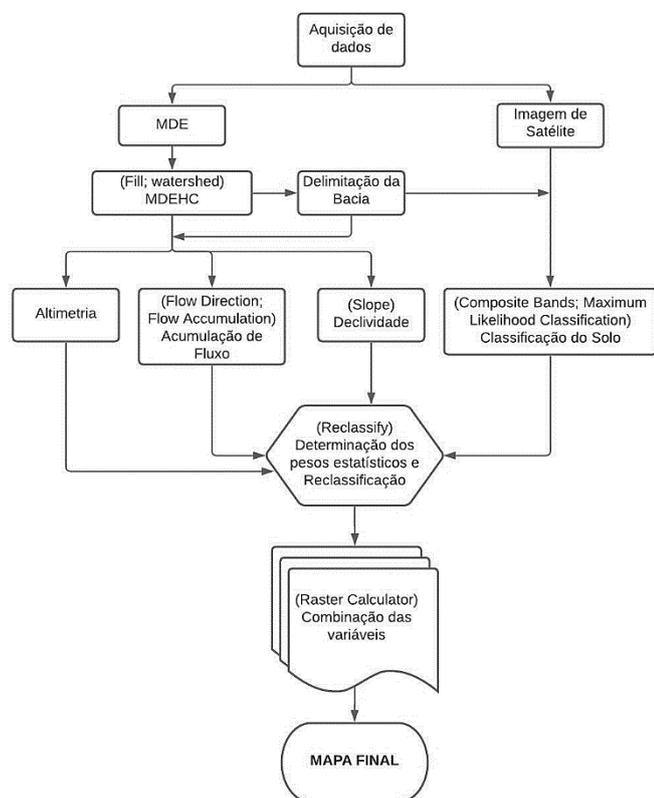


Figura 2 – Fluxograma da metodologia.

Fez-se necessário realizar visitas em campo afim de realizar a validação dos resultados obtidos em ambiente SIG, coletando locais com histórico progresso de inundação ou alagamento.

Os pontos foram coletados a partir de relatos dos moradores das áreas de risco sobre o histórico de inundações ou alagamentos naquelas áreas. Em seguida, espacializados no mapa de susceptibilidade a inundações em alagamentos gerado para validação.

4. Resultados e Discussão

Como resultado, foi desenvolvido o mapa de susceptibilidade a inundações e alagamentos do

município de Itambacuri, que pode ser visto na Figura (3).

A utilização do método AHP em softwares SIG mostrou-se satisfatória para a identificação de zonas susceptíveis a inundações e alagamentos uma vez que as regiões destacadas pelo software coincidiram com os pontos levantados em campo e apontou novas regiões que devem ser observadas com intuito de evitar danos econômicos, sociais e ambientais.

Leite e Rocha (2016) consideraram que embora o modelo apresentado em sua pesquisa, realizada no município de Montes Claros – MG, constituía-se incipiente, apresentou compatibilidade com dados presentes no plano municipal de saneamento básico e com os registros de áreas inundadas, conforme acervo fotográfico apresentado, o que expõe a validade do mapeamento.

No estudo comparativo entre os métodos AHP e coleta em campo das áreas de inundação, realizado por Magalhães et al. (2011) em Guaçuí – ES, apresentou uma diferença 6,13% de área inundada e destaca que a superestimação encontrada pelo método AHP, quando comparado ao modelo desenvolvido pela realidade de campo, representa pouca discrepância em relação à precisão do mapeamento das áreas de risco de inundação.

Ramalho, Oliveira e Dourado (2017) utilizaram o método AHP e ferramentas de geoprocessamento e apresentaram resultados satisfatórios em sua pesquisa. Segundo os mesmos, conseguiram expor as áreas mais susceptíveis possibilitando seu mapeamento, além de constituir uma metodologia de baixo custo na produção da informação.

Miranda et al. (2019) aplicou o método AHP-SIG em sua pesquisa, realizada em Cuiabá – MT e mostrou que a integração do método e o uso do geoprocessamento demonstrou ser uma abordagem viável para o mapeamento de áreas susceptíveis a ocorrência de inundações, podendo ser reaplicado em bacias ou municípios. Salientou que o AHP pode ser facilmente adaptado às peculiaridades de cada área estudada. As notas atribuídas no julgamento do grau de importância dos fatores são facilmente encontradas na literatura, podendo ser modificados a qualquer momento (Miranda et al., 2019).

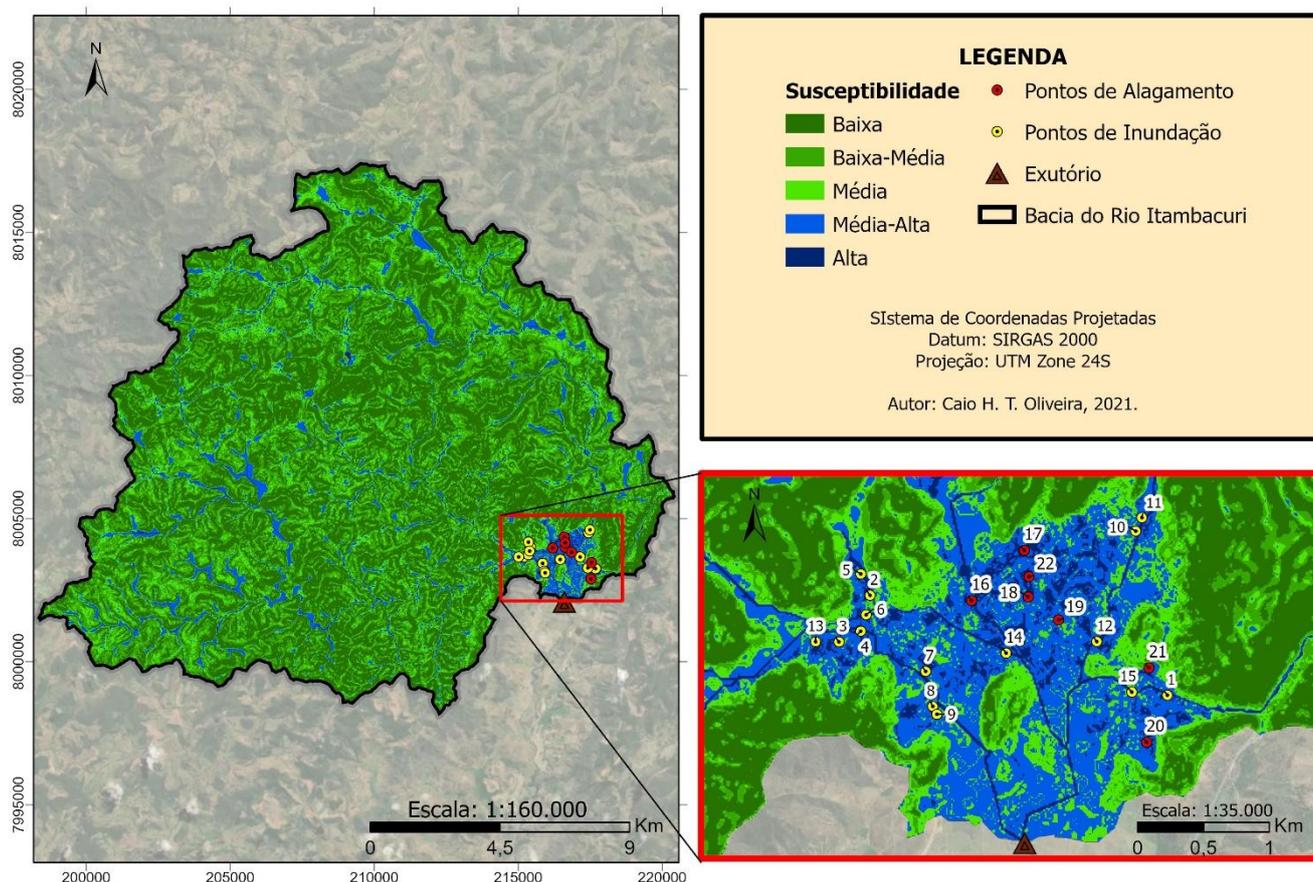


Figura 3 – Mapa de susceptibilidade a inundações e alagamentos no município de Itambacuri – MG.

O método utilizado elencou regiões críticas de risco de inundações e alagamentos através da avaliação dos parâmetros influenciadores em ambiente SIG. As áreas levantadas foram coincidentes com diversos pontos levantados em campo.

Ressalta-se a importância da aplicabilidade do método AHP para a tomada decisão, especialmente em locais de difícil acesso.

É necessário salientar que o método AHP possui influência em sua aplicação, pois consiste na inferência de pesos estatísticos pelo pesquisador. Por isso faz-se necessário comprovações afim de melhorar a validade das informações.

Portanto, através do levantamento de campo, foram listados 22 pontos de inundação e alagamentos no município através do levantamento de campo que confirmam diversas dessas regiões, apresentando histórico de cheias. Dentre os pontos listados 15 foram classificados como pontos de inundação e oito como pontos de alagamentos.

O mapa de susceptibilidade a inundações e alagamentos do município apresenta as áreas de hidrografia que coincidem com as áreas de maior risco, uma vez que áreas ribeirinhas são altamente

propensas a inundações, afirmando a precisão do mapeamento.

Tabela 6 – Pontos levantados em campo.

Ponto	Tipo	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
1	Inundação	8003254,633	217687,250
2	Inundação	8004018,662	215429,709
3	Inundação	8003662,150	215193,450
4	Inundação	8003744,335	215359,224
5	Inundação	8004181,557	215359,671
6	Inundação	8003869,458	215399,798
7	Inundação	8003437,314	215851,959
8	Inundação	8003169,324	215905,845
9	Inundação	8003108,727	215937,556
10	Inundação	8004509,261	217447,022
11	Inundação	8004612,551	217493,837
12	Inundação	8003664,925	217151,861
13	Inundação	8003663,813	215016,136
14	Inundação	8003576,840	216462,924
15	Inundação	8003278,568	217418,570
16	Alagamento	8003978,238	216200,625
17	Alagamento	8004361,942	216601,479
18	Alagamento	8004005,821	216631,082
19	Alagamento	8003831,043	216861,438
20	Alagamento	8002895,271	217530,189
21	Alagamento	8003464,284	217547,438
22	Alagamento	8004161,079	216636,630

As áreas evidenciadas pelo software identificaram possíveis áreas de inundação ou alagamentos não registrados pelo levantamento de campo. Isso pode ser justificado pela impossibilidade da visita em campo por serem locais privados ou de difícil acesso. Ainda, destaca-se que áreas distas de corpos hídricos que apresentam alta susceptibilidade podem apresentar sistema de drenagem eficiente, não havendo a presença de alagamentos.

No que se refere a inundações, o município é cortado por uma malha hídrica formada pelos córregos Poquim, Engenho e Fortuna que formam posteriormente, no ponto exutório, o rio Itambacuri,

e esses sofrem variações ao longo do ano durante os períodos de seca e de chuvas.

Regiões de ocupação antrópica ribeirinha sofrem com as cheias durante os períodos de chuvas intensas com a elevação dos níveis dos córregos que invadem residências e construções próximas. A ocupação antrópica do solo próximo a áreas ribeirinhas são fatores determinantes para o aumento de áreas de risco.

As baixas altitudes e declividades são características da zona urbana do município, que aliadas a impermeabilização do solo e eventos de chuvas intensas ou prolongadas favorecem a ocorrência de inundações e alagamentos. Isso pode ser visto através da análise da Figura (4).

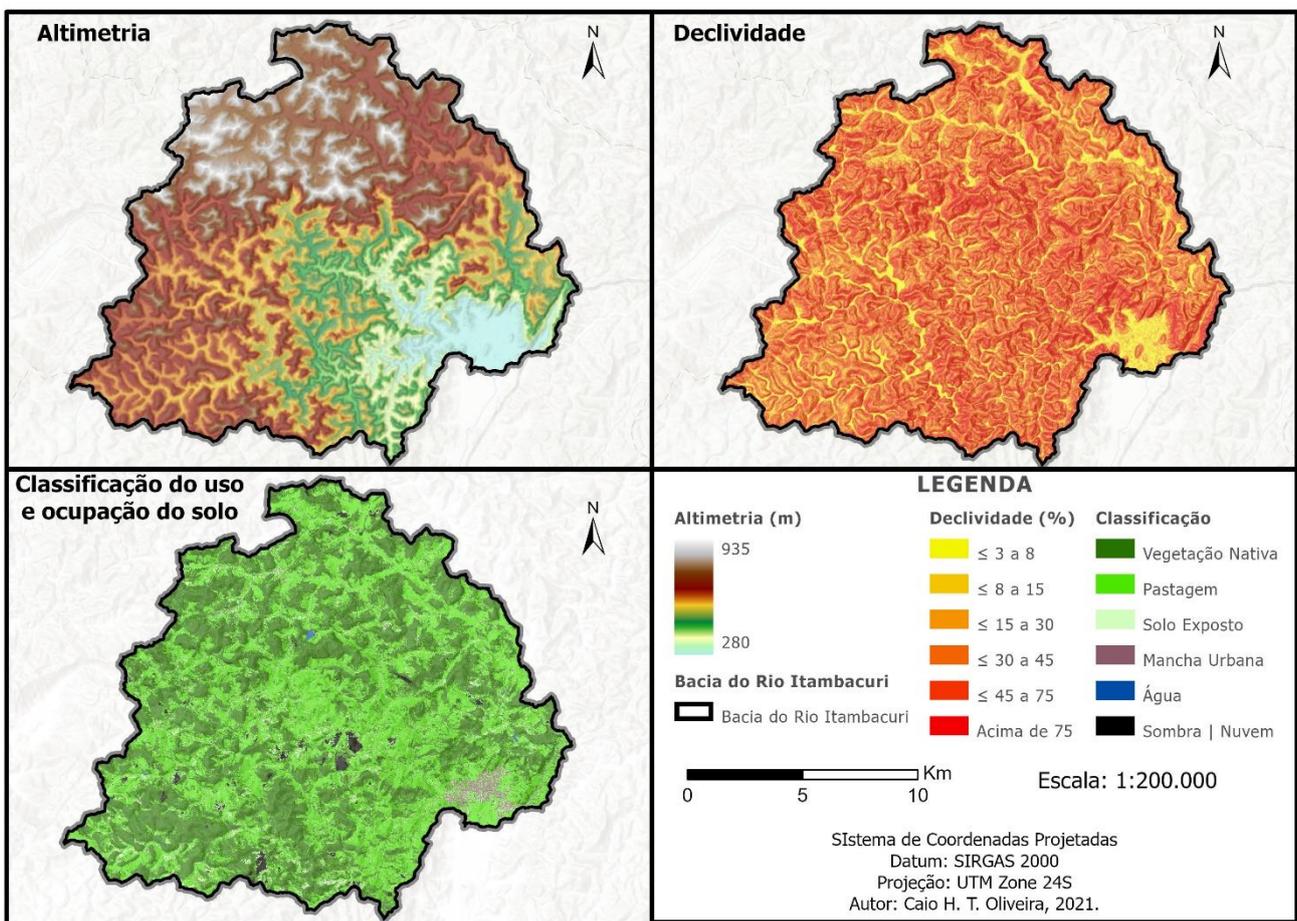


Figura 4 - Mapas de declividade, altimetria e classificação do uso do solo da bacia do rio Itambacuri.

Observando a Figura (4), nota-se que a urbanização do município ocorreu em regiões que apresentam declividades suaves e baixa altimetria, sendo um local de redução da velocidade de escoamento do fluxo hídrico superficial, alterando o ecossistema lótico para o lântico favorecendo a ocorrência inundações e alagamentos.

Pode-se afirmar que a zona urbana do município de Itambacuri teve como um fator

principal para a ocorrência de fenômenos de inundação e alagamentos a ocupação antrópica em uma bacia de inundação natural.

Deve-se destacar que em pontos com essa configuração também há a existência de deposição de sedimentos, pois na transição do regime de escoamento ocorre a queda da energia de transporte dos sedimentos. Peixoto (2019) destaca que em rios, devido à grande energia de fluxo de corrente os

sedimentos são transportados, porém quando essa corrente chega a um determinado ponto de acumulação ou reservatório, o fluxo diminui e o sedimento é depositado.

O processo de erosão hídrica e transporte de sedimentos é percebido no local através do solo aluvionar presente na área de estudo (CPRM, 2000), principalmente na zona urbana do município (Oliveira e Gomes, 2021), contribuindo com o transborde dos corpos hídricos que cortam o município. Os depósitos aluvionares, ao serem modificados pelas ações antrópicas reduzem expressivamente sua permeabilidade, favorecem o escoamento superficial (Miranda et al., 2019).

O solo exposto e a grande presença de pastagens mal manejadas e/ou degradadas (Araújo, 2018), têm influência direta no processo de erosão na área de estudos, causando o assoreamento dos corpos hídricos e canais de drenagem. A erosão é intensificada pela ocorrência de eventos de precipitação mais intensos durante os períodos de chuva.

Araújo (2018) realizou um estudo em uma microbacia adjacente a microbacia do rio Itambacuri e concluiu que há alta presença de pastagem degradada na região, que somada ao solo exposto, contribui para uma menor taxa de infiltração de água da chuva na microbacia

Nas figuras (5) e (6) a seguir pode-se observar os pontos 3 e 7, respectivamente, identificados no mapa de susceptibilidade durante um evento de inundação no ano de 2013.



Figura 5 – Inundação no ponto 3, no bairro Coqueiros (Itambacuri em Foco, 2013).



Figura 6 – Inundação no ponto 3, no bairro Coqueiros (Itambacuri em Foco, 2013).

Oliveira e Gomes (2021) evidenciam que a ocupação antrópica em áreas próximas a corpos hídricos deve ser planejada para que essas áreas não se transformem em áreas de risco, implicando em elevados custos. Entretanto, essas são áreas normalmente ocupadas irregularmente por falta de fiscalização e principalmente pela falta de acesso à moradia da população de baixa renda (Oliveira, Pereira Junior e Macedo, 2017).

Isso pode ser observado no bairro Ângelo Alves Pereira, na Figura (7). O local foi identificado como ponto 7 no mapa de susceptibilidade. Nesta, nota-se uma região de habitação popular, evidenciando a falta de planejamento na implantação do programa habitacional, sendo inserido em região de alta susceptibilidade a inundações.



Figura 7 – Inundação no ponto 7, no bairro Ângelo Alves Pereira (Itambacuri em Foco, 2013).

Os sistemas de drenagem pluvial se destacam em áreas urbanas desprovidas de planejamento, por comprovarem sua ineficiência logo após precipitações intensas ou prolongadas. Como consequência, facilita o aparecimento de doenças e a proliferação de insetos, tornando assim um maior risco para a população, podendo haver a disseminação de doenças.

Com isso, acentua-se o desnível social da população, não somente de Itambacuri, mas também de outras cidades que apresentam problemas semelhantes, acarretando más condições de habitação e riscos aos habitantes.

Nas Figuras (8) e (9) pode-se observar alagamentos recorrentes em áreas na região central de Itambacuri, constatando a ineficiência dos sistemas de drenagem pluvial urbana do município.



Figura 8 – Alagamento no ponto 18, região central da cidade (Itambacuri em foco, 2013).



Figura 9 – Alagamento no ponto 16, região central da cidade (Itambacuri em Foco, 2013).

Essas áreas compreendem áreas comerciais e residenciais e já apresentam vários problemas típicos das grandes cidades como falta de infraestrutura, além de alagamentos frequentes em períodos de chuvas mais intensas.

Os danos potenciais nessas áreas tornam-se mais valorados haja vista a presença de materiais, equipamentos e produtos em lojas varejistas. Os prejuízos estendem-se também aos consumidores que possuem automóveis que se utilizam de estacionamento em vias públicas

Como forma de prevenir vítimas e danos ambientais e econômicos, recomenda-se a elaboração de um plano municipal de drenagem pluvial urbana, bem como um sistema de alerta de riscos em eventos de chuvas intensas que possam oferecer riscos à população.

A orientação da população que reside em áreas com alta susceptibilidade a inundações e alagamentos é de grande importância na prevenção de vítimas. A capacitação de líderes comunitários para instruir preliminarmente a população em eventos extremos é um fator essencial para evitar danos à vida.

7. Conclusões

A utilização do método AHP, aliado a técnicas de geoprocessamento mostrou-se satisfatória na identificação e mapeamento das zonas susceptíveis a inundações e alagamentos e se tornando uma ferramenta bastante útil e de baixo custo.

O produto final obtido neste artigo pode auxiliar o poder público em trabalhar alternativas para o planejamento urbano municipal no que se refere aos problemas ambientais e sociais, adotando medidas preventivas e mitigadoras, dos efeitos causados por inundações e alagamentos.

Referências

Alves, P.B.R., Filho, H.M., Tsuyuguchi, B.B., Rufino, I.A.A. and Feitosa, P.H.C., 2018. *Mapeamento da susceptibilidade a alagamentos em Campina Grande - PB: uma abordagem multicriterial*. Boletim de Ciências Geodésicas, 24(1).
<https://doi.org/10.1590/S1982-21702018000100003>

Araújo, T.M., 2018. *Caracterização hidroambiental de uma microbacia hidrográfica da*

- baçia do rio São Mateus, no Vale do Mucuri, Minas Gerais. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais.
- ArcGIS, 2020. Software ArcGis Pro, version 2.5. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA. Disponível em: <<https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-pro/overview>> [Acessado em 22 Julho 2021].
- CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2000. Projeto Leste: Itambacuri – Folha 24-Y-A-I.43 p, 8. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Livro: *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos* (SiBCS). Embrapa Solos.
- Holanda, M.A.C.R. and Soares, W.A., 2019. *Análise do efeito da impermeabilidade de solos urbanos na infiltração de águas pluviais na cidade de Recife, PE*. Revista Ambiente e Água, 14(4). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2386>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Portal Cidades*, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itambacuri>> [Acessado em 22 julho 2021].
- Itambacuri em Foco. *Blog pessoal*. Disponível em: <<http://itambacuriemfoco.blogspot.com/2013/12/enchente-em-itambacuri.html>> [Acessado em 22 julho 2021].
- Leite, M.E. and Rocha, A.M., 2016. *Mapeamento da susceptibilidade à inundação em áreas urbanas: o caso da cidade de Montes Claros-MG*. Geosul, Florianópolis, 31(62), pp.125-150, jul./ago.
- Magalhães, I.A.L., Thiago C.R.L., Agrizzi D.V. and Santos, A.R., 2011. *Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos*. Cadernos de Geociências, 8(2).
- Miranda, N.M.G., Caprario, J., Martini, L.C.P., Finotti, A. R., 2019. *Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 42(4), pp.172-181.
- Oliveira, C.H.T. and Gomes, A.J.L., 2021. *Survey of geological and environmental risk areas in the city of Itambacuri-MG*. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, 3(1), pp.31-40.
- Ramalho, L.S., Oliveira, E.S. and Dourado, M.V.S., 2017. *Utilização de técnicas de geoprocessamento para mapeamento de áreas susceptíveis à inundações e alagamentos na cidade de Formosa – Goiás*. Bol. geogr., Maringá, 35(2), pp.63-82. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.32057> 63
- Saaty, T. H., 1977. *A Scaling method form priorities in hierarquical structures*. Journal of Mathematical Psychology, 15(3), Pp. 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Santos, A.R., Louzada, F.L.R.O. and Eugênio, F. C., 2010. *ArcGIS 9.3 Total: Aplicação para Dados Espaciais*. Alegre - ES: CAUFES, 2010. Disponível em:<http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf> [Acessado em 22 julho 2021]
- Tucci, C.E.M. Inundações e Drenagem Urbana. In: BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M., 2003. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Juan-Bertoni/publication/266883894_INUNDACOES_URBANAS_NA_AMERICA_DO_SUL/links/56b352cd08ae3d06a26644e2/INUNDACOES-URBANAS-NA-AMERICA-DO-SUL.pdf> [Acessado em 22 julho 2021].