

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO DO MUNICÍPIO DE UBÁ, MINAS GERAIS**MAPPING OF FLOODING RISK AREAS IN THE CITY OF UBÁ, MINAS GERAIS****MAPEO DE AREAS DE RIESGO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE UBÁ, MINAS GERAIS****Larissa Carla Souza Paiva**

PPGEO - UFJF

larissa.paiva@arquitetura.ufjf.br

Cássia de Castro Martins Ferreira

Departamento de Geociências - UFJF

cassia.castro@ufjf.br

Yan Carlos Gomes Vianna

Departamento de Geociências - UFJF

yan.vianna@ufjf.br

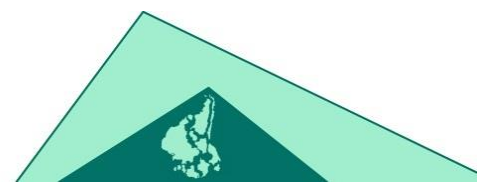


Destaques

- Segundo Tucci (2003) a inundação   um evento que ocorre como um comportamento natural dos rios, mas pode ser ampliado pela altera o no meio;
- O objetivo do estudo   estabelecer, identificar e mapear as áreas de risco de inunda o do município dentro de seu perímetro urbano, utilizando-se de geoprocessamento para definir geograficamente as áreas de possível impacto pelas chuvas fortes e extremas;
- O principal mérito do modelo multicritério   a necessidade de poucos dados, dado sua baixa complexidade, ser aplicado em pequenos e médios municípios a fim de orientar poder público sobre áreas mais críticas;

RESUMO

A urbaniza o do município de Ubá, em Minas Gerais, foi condicionada pelo relevo dos “mares de morro” e sua ocupa o se iniciou no fundo de vale, na várzea do Ribeirão Ubá. Este, sem suas margens preservadas e sofrendo diversas interven es, tornou a



cidade vulnerável a eventos extremos de precipitação, que desencadeiam inundações urbanas. O presente estudo objetivou mapear as áreas que estão mais suscetíveis a esses eventos. Com essa finalidade se utilizou um modelo de multicritérios construído com três planos de informação: altitude, declividade e uso e ocupação. Os resultados do mapeamento foram confrontados com dados registrados de inundações pela Defesa Civil e pelos portais de notícia da região. A conclusão é que o modelo, apesar de possuir limitações, é uma ferramenta funcional para identificação de áreas de risco a tais eventos, possibilitando ao poder público intervir em áreas críticas e ordenar futuras ocupações urbanas.

Palavras-chave: Risco de Inundação. AHP. Geoprocessamento. Modelagem.

ABSTRACT

The process of urbanization of the city of Ubá, Minas Gerais, was conditioned by the topography of “undulating terrain”. The occupation of the city began at the valley floor, at the floodplain of the Ubá River. That without the preservation of its shores and suffering by many intervention exposed the city to the vulnerability to extreme events of precipitation, that trigger urban flood. The focus of this study is to map the areas that are more susceptible to these events. With this purpose, a multi-criteria model was built, with three information layers: altitude, declivity and land use and occupation. The mapping results were confronted with flood data obtained by the Civil Defense, and by the region news articles. The conclusion is that, although the model has its limitations, it is a functional tool to identify the risk of these kind of events, that enable the government to intervene in critical areas and regulate future urban developments.

Keywords: Risk of Flooding. AHP. Geoprocessing. Modeling.

RESUMEN

La urbanización del municipio de Ubá en Minas Gerais estuvo condicionada por el relieve de los “mares de morros”, su ocupación comenzó en el fondo del valle, en la planicie de inundación de Ribeirão Ubá. Esta sin sus márgenes preservados y sometida a varias intervenciones hizo que la ciudad fuera vulnerable a eventos extremos de precipitación que desencadenan inundaciones urbanas. El presente estudio tuvo como objetivo mapear las áreas que son más susceptibles a estos eventos. Para ello se utilizó un modelo multicriterio construido con tres niveles de información: altitud, pendiente y uso y ocupación. Los resultados del mapeo se compararon con datos registrados por la Defensa Civil y por portales de noticias de la región. La conclusión es que el modelo, a pesar de tener limitaciones, es una herramienta funcional para identificar el riesgo de tales eventos, permitiendo al poder público intervenir en áreas críticas y ordenar futuras ocupaciones urbanas.

Palabras clave: Riesgo de inundación. AHP. Geoprosesamiento. Modelado.

INTRODUÇÃO

A industrialização no meio urbano foi fator potencializador do movimento campo-cidade em diversos locais do mundo. No município de Ubá, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais, a urbanização ocorreu de forma tardia, na década de 1960, assim como muitos municípios brasileiros de pequeno e médio porte. Esse movimento ocorreu com o crescimento da indústria voltada à fabricação de móveis, que ocasionou um aumento rápido da população urbana, advinda de outros municípios e também da zona rural. No entanto, o resultante crescimento da malha urbana se deu sem um ordenamento do poder público. (Oliveira Jr, 2011).

Jacobs (1961) já levantava a natureza de aprender com o ‘laboratório’ de tentativa e erro do planejamento de cidades, onde os erros cometidos por cidades já desenvolvidas deveriam ter servido como forma de aprendizado para cidades em crescimento. Diversas cidades com contexto parecido ao município em questão cresceram com base no comportamento de suas populações, inicialmente acompanhando os leitos de rios e locais mais planos, mas com a pressão populacional e a necessidade de proximidade da infraestrutura existente, ainda que deficitária, avançaram sobre encostas e morros, no entorno de centralidades.

O município de Ubá localiza-se em um relevo de mar de morros, que, segundo Ab’Saber (2007), é um meio complexo a construções humanas. O relevo, unido aos padrões climáticos do município e sua conformação urbana, implicam em certa exposição a impactos ocasionados pelas chuvas, principalmente em suas áreas mais adensadas. O enfoque na área de estudo em questão é direcionado aos problemas relacionados às inundações urbanas, que historicamente afetam este espaço.

Christofolletti (2001) reforça o direcionamento que o relevo dá ao crescimento da cidade, porém, coloca que as transformações nos ecossistemas e geossistemas tornam as áreas urbanizadas grandes influenciadoras nos impactos naturais. Mumford (1961) argumenta que as mudanças no sítio, ocasionadas pelo desmatamento, desvio, canalização e retificação de cursos d’água, assentamento em planícies de inundação e o próprio ambiente construído, com a impermeabilização e modificação do solo aparente, são os principais responsáveis pela incidência e gravidade de inundações urbanas.

Segundo Tucci (2003) a inundação é um evento que ocorre como um comportamento natural dos rios, mas pode ser ampliado pela alteração no meio. Ela ocorre quando as águas do rio, riachos ou galerias pluviais saem do leito devido a um excesso de volume de água que escoou para o sistema de drenagem causado por uma precipitação intensa que não foi absorvida pelo solo, devido a sua pouca capacidade de infiltração, ou pela impermeabilização causada pela urbanização (Tucci, 2003).

A inundação é um evento que atinge um considerável número de pessoas todos os anos, e pode ser enquadrado como desastre natural ou evento natural extremo, dependendo de sua magnitude (Zanella, 2014). No Brasil, de acordo com Marcelino (2008), ao coletar dados do EM-DAT de 2007, 84% dos registros de desastres naturais entre 1900-2006 são identificados depois dos anos de 1970, o que demonstra que nos últimos anos houve um aumento exponencial dos eventos, e dentre estes, 59% dos registros são de inundação, sendo associados com ‘instabilidades atmosféricas severas’.

As inundações apresentam intensidade, duração e frequências diferentes, que são responsáveis por impactar áreas da sociedade de formas distintas. As pessoas e as infraestruturas são afetadas diretamente por inundações intensas, enquanto inundações mais longas normalmente prejudicam de forma mais direta o comércio e as indústrias (Stephens, 2015). Diante disso, é necessário que haja atenção do poder público, devido à dificuldade apresentada pelos municípios em tomar medidas para atenuar as consequências das variações e dos extremos pluviométricos na área urbana

Entretanto, não existe uma linearidade entre as anomalias de precipitação e o risco de inundação, ou seja, o valor máximo de precipitação registrada pode não coincidir com a inundação mais expressiva (Stephens, 2015). É possível realizar previsões e estimativas de inundação num determinado espaço, considerando série observada e regionalização de vazões, precipitação e modelo de precipitação – vazão (Tucci, 2003).

Diante deste contexto, é necessário não somente atentar-se aos métodos de previsão meteorológica, mas também compreender a necessidade de buscar métodos de mapeamento de suscetibilidade às inundações, possibilitando identificar localmente os impactos possíveis e buscar formas de prevenir e evitar prejuízos. Nesse sentido, as ferramentas de geoprocessamento podem ser imprescindíveis quanto à análise de risco de inundações, devido a sua capacidade de integração de planos, e a possibilidade de analisar a partir de modelos.

Risco, como Marandola e Hogan (2004) conceituam, representa uma situação futura de incerteza e insegurança, ligada à probabilidade do acontecimento de um evento danoso. Os autores destacam a definição de Aneas de Castro (2000, apud MARANDOLA E HOGAN, 2004) de risco como probabilidade de realização de um perigo, e perigo como um fenômeno potencial e um fenômeno em si. (Marandola; Hogan, 2004, p.103)

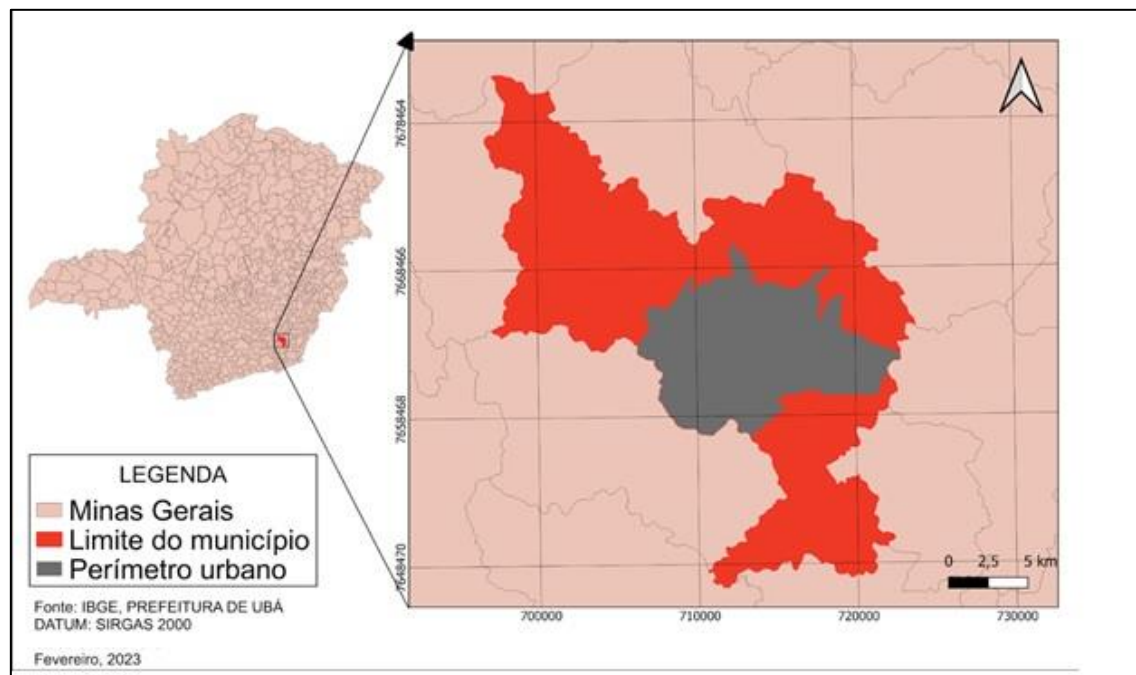
O objetivo do estudo é estabelecer, identificar e mapear as áreas de risco de inundação do município dentro de seu perímetro urbano, utilizando-se de geoprocessamento para definir geograficamente as áreas de possível impacto pelas chuvas fortes e extremas. A modelagem é confrontada com os registros históricos de áreas que sofreram com inundações nos últimos 20 anos, e assim estabelece a validade da metodologia aplicada. Este trabalho busca, ainda, contribuir com o poder público para a gestão do risco de inundação no município, que não possui nenhum mapeamento disponível nos órgãos oficiais.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Ubá está localizado na mesorregião da Zona da Mata Mineira (Mapa 1), e segundo último censo realizado pelo IBGE em 2022, a cidade possui 103.365 habitantes (IBGE, 2021). Sua mancha urbana se estende por aproximadamente 14,6 km², com sua ocupação e seu crescimento seguindo principalmente os tentáculos das vertentes dos cursos d'água. O perímetro urbano, que será nosso recorte de estudo, é definido pelo Plano Diretor municipal, Lei Complementar n.º 211, de 27 de outubro de 2021.

A cidade está inserida no domínio dos “Mares de Morros” conforme Ab'Saber (2007). Tendo como característica a mamelonização das vertentes que inicialmente eram cobertas por mata atlântica com drenagem dendrítica perene. Quanto à especificidade do relevo da localização do município, Fialho (2012) indica que a área urbanizada está inserida na parte mais baixa do "golfão de Ubá", uma reentrância do complexo da Mantiqueira que influencia os ventos locais e resulta em um acúmulo de energia no local, afetando diretamente a ventilação, umidade e temperatura. Mendonça (2008) acrescenta que o município sofreu intensa exploração de suas áreas verdes, restando principalmente mata secundária e com grande parte do território sendo destinada a pastagens.

Mapa 1 – Localização do Município e perímetro urbano de Ubá, MG



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

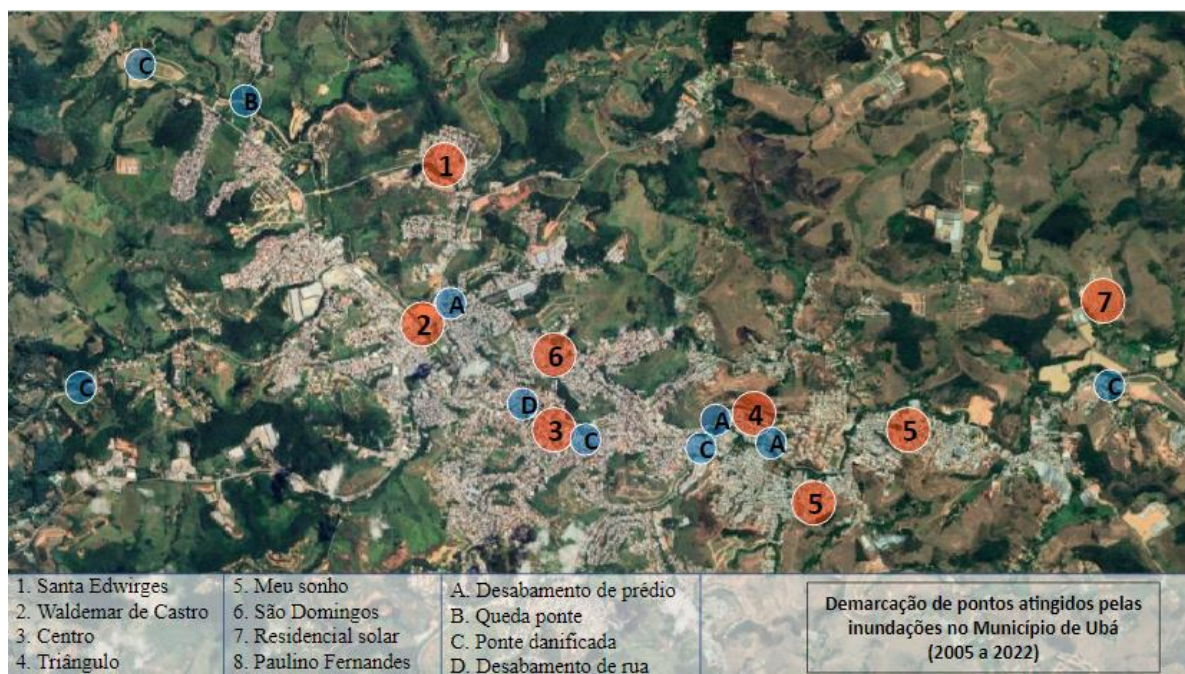
Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger mapeada por Reboita (2015), o município de Ubá encontra-se na categoria Aw, caracterizada por clima tropical e inverno seco. De acordo com Cruz *et al.* (2022) a estação chuvosa local ocorre entre novembro e março, enquanto a estação seca se estende de abril a outubro. O total pluviométrico registrado de 2010 a 2021 foi de 1.284 mm na estação Miragaia e 1.297 mm na estação Peixoto Filho. Dezembro foi identificado como o mês mais chuvoso (290,5 mm e 260,9 mm), e julho como o mais seco (19,4 mm e 6,6 e 8,6 mm).

Andrade (1961) reforça a definição das estações na região, e destaca a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Convectivos como maiores influências nas chuvas do verão, que também concentra o maior número de chuvas intensas. E é nesse período que ocorrem no município os maiores transtornos relacionados às chuvas, com impactos recentes de acordo com dados da defesa civil datando de 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018, 2019, 2020 e 2021.

Os principais danos ocasionados no município são: (1) Danos no patrimônio público e privado, com desabamento de pontes, casas e ruas, além de danos internos a residências e comércio com a invasão da água, (2) Pessoas ilhadas e (3) Interrupção no

abastecimento de água. Os bairros mais atingidos pelas inundações nos últimos anos, de acordo com levantamento de notícias em portais de internet da região, são os bairros Santa Edwirgens, Centro, Waldemar de Castro, triângulo, Meu Sonho, São Domingos, Paulino Fernandes e Residencial Solar. Como mostrado na Figura 1 a seguir:

Figura 1 – Localização dos pontos que sofreram algum dano devido a inundações em eventos noticiados em sites nos últimos 20 anos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

METODOLOGIA

Para a elaboração de um mapa de risco de inundação utilizou-se de uma metodologia multicritério baseada no método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchic Process - AHP), amplamente utilizada na literatura, sendo executada por Magalhães *et al.* (2011), Ferraz *et al.* (2018) e Gomes, Lapa, Zaidan (2023) dentre outros. O método AHP foi executado tendo como critérios a declividade, altitude e uso e ocupação da área de estudo. Cada critério corresponde a um plano de informação geográfica aos quais são atribuídos notas e pesos conforme cada elemento contribui positivamente para o aumento do risco de inundação.

A base de dados referente ao relevo foi extraída da imagem do satélite ALOS PALSAR, disponibilizada no site da *Alaska Satellite Facilit* da Universidade do Alaska. O Modelo Digital de Elevação (MDE) por eles disponibilizado faz uma correção radiométrica de terreno das imagens originais do SRTM, apresentando uma maior qualidade das formas do relevo em comparação aos originais, possuindo uma resolução de 12,5m contra os 90m do SRTM. Através do MDE foram gerados o mapa com as altitudes e o mapa de declividade da área.

O mapa de altitude (Mapa 2a) foi criado recortando e classificando a altimetria da área de estudo, extraída do MDE com o comando *Extract by mask* do ArcGis 10.7, utilizando o *shapefile* da área do perímetro urbano municipal. O mapa de declividade (Mapa 2b) foi gerado no ArcGis a partir do mapa de relevo, utilizando a ferramenta de *Slope* que fica dentro das ferramentas para superfície do *Spatial Analyst*. O mapa de uso e cobertura do solo (Mapa 2c) confeccionado com classificação manual das áreas, tendo como base a imagem de satélite do *basemap* do ArcGIS para se identificar o uso e classificar, com maior detalhamento, o grau de urbanização e organização do município.

Tendo como base os dados do *OpenStreetMaps* (OSM) dentro da plataforma, que é colaborativa, foi identificada pela imagem de satélite, inicialmente, toda mancha remanescente de vegetação arbórea com área significativa do perímetro urbano. Utilizando o software livre QGIS 3.24 com o *plug-in OpenLayers*, foram extraídas as vias e a vegetação vetorizada da área urbana da base de dados.

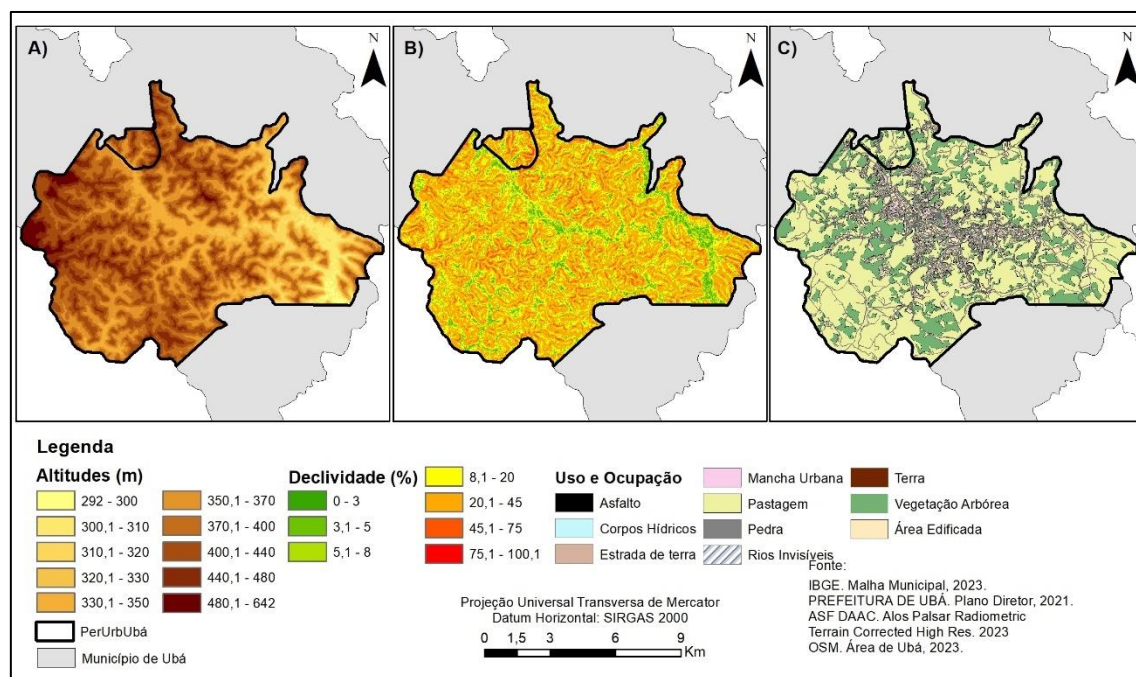
A área edificada foi vetorizada por quadras sobre a imagem OSM no QGIS. As informações sobre os corpos hídricos foram disponibilizadas pela prefeitura de Ubá. Além disso, foram feitas coleta de dados em campo para identificar se os corpos hídricos sofreram intervenções urbanas como canalização ou retificação.

Toda área que não foi identificada nos critérios anteriores, mas contíguas as edificações e ruas asfaltadas, foi generalizada para a classe mancha urbana, representando o solo urbano. E os arredores da mancha urbana foram generalizados para pastagem ou gramínea, que são o uso predominante dos arredores rurais.

RESULTADOS

Os três planos de informação básicos necessários para gerar o mapeamento do risco à inundação estão apresentados no Figura 2. Cada plano de informação é reclassificado conforme seus elementos têm maior contribuição para desencadear eventos de inundação.

Figura 2 – Mapas básicos: Altitude, declividade e uso e ocupação



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O mapa de hipsometria foi classificado em 10 classes, sendo com menor intervalo nas classes próximas as menores altitudes que condizem com o fundo de vale. Atribuiu-se uma nota para cada classe, sendo as menores altitudes as áreas para onde a água das precipitações escorrem, por isso recebem valores mais altos, por serem mais propícias às inundações. A ferramenta utilizada para atribuição dos pesos é a *Reclassify* do *Spatial Analyst*.

Neste modelo, a declividade tem um papel fundamental, por isso foram utilizadas oito (8) classes, um maior número quando comparada a metodologia de referência adotada pela Embrapa, sendo mais detalhada nas menores declividades. As áreas de menores declividades propiciaram menor velocidade de escoamento e acabaram

sendo mais sujeitas a inundações por acumularem fluxos de água, recebendo assim maiores valores de notas em relação ao risco.

O mapa de uso e ocupação teve suas notas atribuídas conforme a capacidade da água infiltrar no solo devido à impermeabilidade e rugosidade da superfície, quanto maior a velocidade de escoamento menor é a infiltração, superfícies impermeáveis e lisas são fatores que contribuem para aumentar o risco de inundação. O Quadro 1 mostra os valores utilizados para classificar cada informação em relação ao seu potencial de favorecer as inundações. Sendo 10 grande potencial de inundação e 1 baixíssimo potencial da área a favorecer inundações

Quadro 1 – Notas da altimetria, declividade e uso e cobertura do solo em relação ao favorecimento de inundações

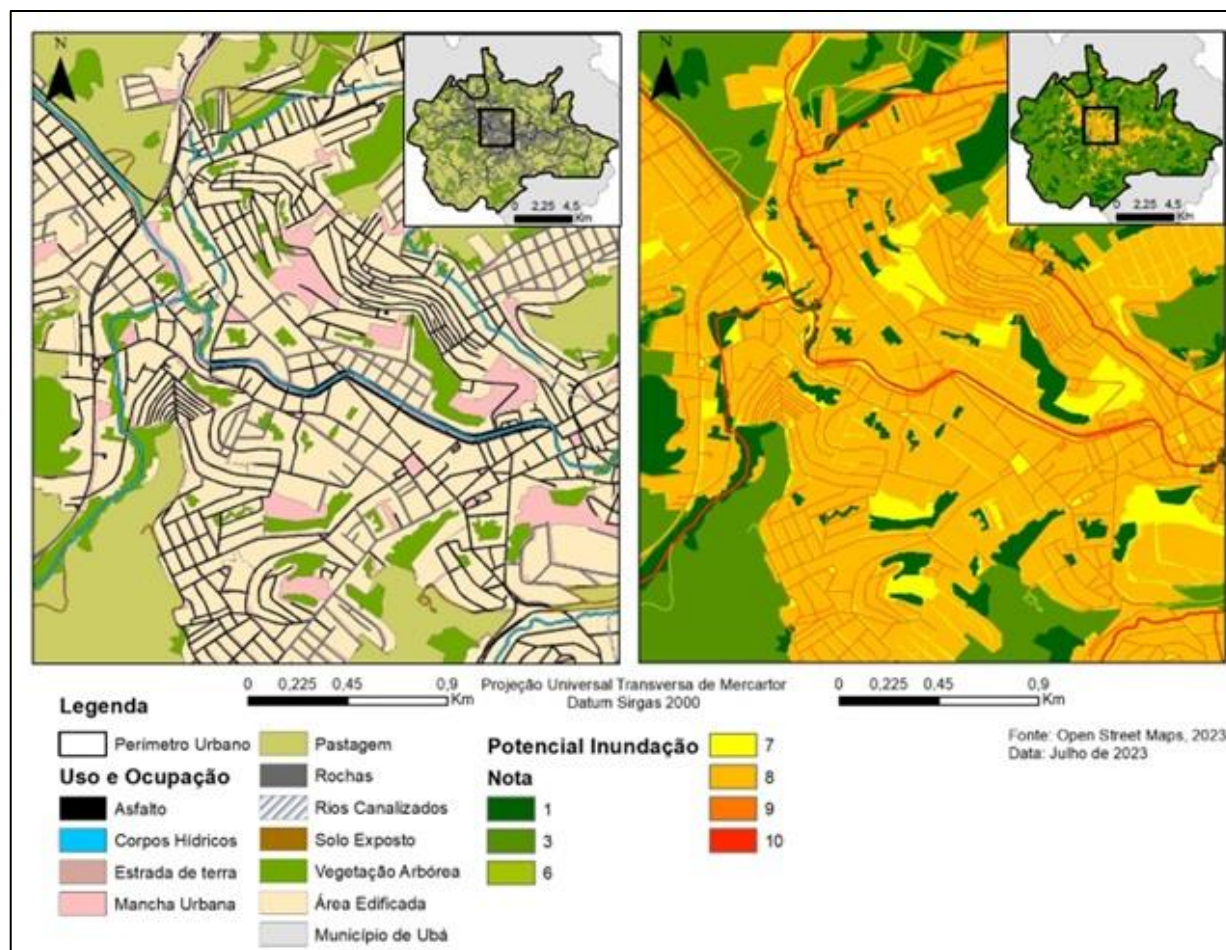
Altimetria (m)	Nota	Declividade (%)	Nota	Uso e cobertura do solo	Nota
299,4 - 300	10	0-3	10	Corpos Hídricos ou rios canalizados	10
300 - 310	9	3-5	8	Asfalto ou Rochas	9
310 - 320	8	5-8	7	Área edificada	8
320 - 330	7	8-20	5	Mancha Urbana	7
330 - 350	6	20-45	4	Solo Exposto ou Estradas de Terra	6
350 - 370	5	45-75	3	Pastagem	2
370 - 400	4	>75	1	Vegetação Arbórea	1
400 - 440	3				
440 - 480	2				
480 - 642	1				

Fonte: Adaptado de Ferraz *et al.* (2018).

Já a Figura 3, ilustra o resultado do processo de reclassificação para o Mapa de Uso e Ocupação. Este é apenas uma das três reclassificações necessárias.



Figura 3 – Reclassificação segundo potencial de inundação da variável uso e ocupação



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com a conclusão dos mapas individuais, estes já tendo sido reclassificados com suas variáveis pelo potencial de inundação, o segundo passo foi gerar um mapa síntese que integra os diversos planos de informação. Essa união é feita por meio de uma ponderação ou julgamento pelo método AHP, de acordo com qual plano tem maior peso para o risco de inundação. O AHP consiste resumidamente, segundo Da Conceição *et al.* (2019).

A hierarquia de importância é criada por uma matriz quadrada $n \times n$ de comparação pareada, onde as linhas e colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna. Os critérios de importância na comparação pareada são definidos por uma escala de julgamento que vai de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro. De cada comparação são extraídos seus autovetores que correspondem ao grau de importância relativa de cada tema considerado (Da Conceição *et al.*, 2019, p.91).

Optou-se por utilizar a ponderação ou matriz já utilizada por Magalhães *et al.* (2011), Ferraz *et al.* (2018) e Gomes, Lapa, Zaidan (2023) de modo que os resultados obtidos sejam possíveis de serem comparados, ao invés de criar uma nova matriz, uma vez que o método AHP possui um certo grau de subjetividade. Por isso optou-se por essa matriz (Tabela 1) que se apresenta como um consenso ao ser utilizada em vários trabalhos.

Tabela 1 - Pesos utilizados para cada mapa base na elaboração do mapa de Risco de Inundação

	Altitude	Uso do Solo	Declividade	Peso
Altitude	1	0,3333	0,1429	0,0882
Uso do Solo	3	1	0,3333	0,2431
Declividade	7	3	1	0,6687

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Como o método AHP envolve julgar qual critério tem maior impacto sobre o resultado final, o peso 3 para uso do solo em relação a altitude significa que o uso é três vezes mais significante que a altitude para propiciar inundação na área. Como é um método que tem como atributo a consistência, se a declividade é um fator que contribui mais com a inundação que o uso do solo, no caso três vezes mais, e este contribui mais que a altitude, a altitude tem que contribuir muito menos que a declividade para manter a coerência e consistência matemática.

Com base nos pesos atribuídos, vemos que a declividade é o fator de maior impacto para o risco de inundação, seguido pelo uso e ocupação do solo, e com menor peso temos a altitude. A declividade é fator que vai gerar a maior velocidade de escoamento da água, transportando o volume da precipitação de um ponto para outro. Em pontos de menor declividade teremos o acúmulo de fluxos, pois o escoamento da água nesse ponto será lento. Em geral, isso ocorre nos fundos de vale e no grande leito marginal dos rios, onde as cidades costumam se desenvolver aproveitando essa planície.

Para a integração dos planos e geração do mapa de risco a inundações, utilizou-se a ferramenta do ArcGis *Raster Calculator* e como o próprio nome indica, é uma ferramenta que permite somar mapas ou fazer qualquer outra operação matemática com eles, como, nesse caso, uma soma de mapas, ponderando cada mapa pelos pesos da Tabela 1. A equação utilizada no *Raster Calculator* é:



$$RI = 0,0882*A + 0,2431*U + 0,6687*D \text{ (Equação 1)}$$

onde,

RI = Risco de Inundação (Resultado que será gerado com *Raster Calculator*)

A = Mapa de Altitude Reclassificado

U = Mapa de Uso e Ocupação do Solo Reclassificado

D = Mapa de Declividade Reclassificado

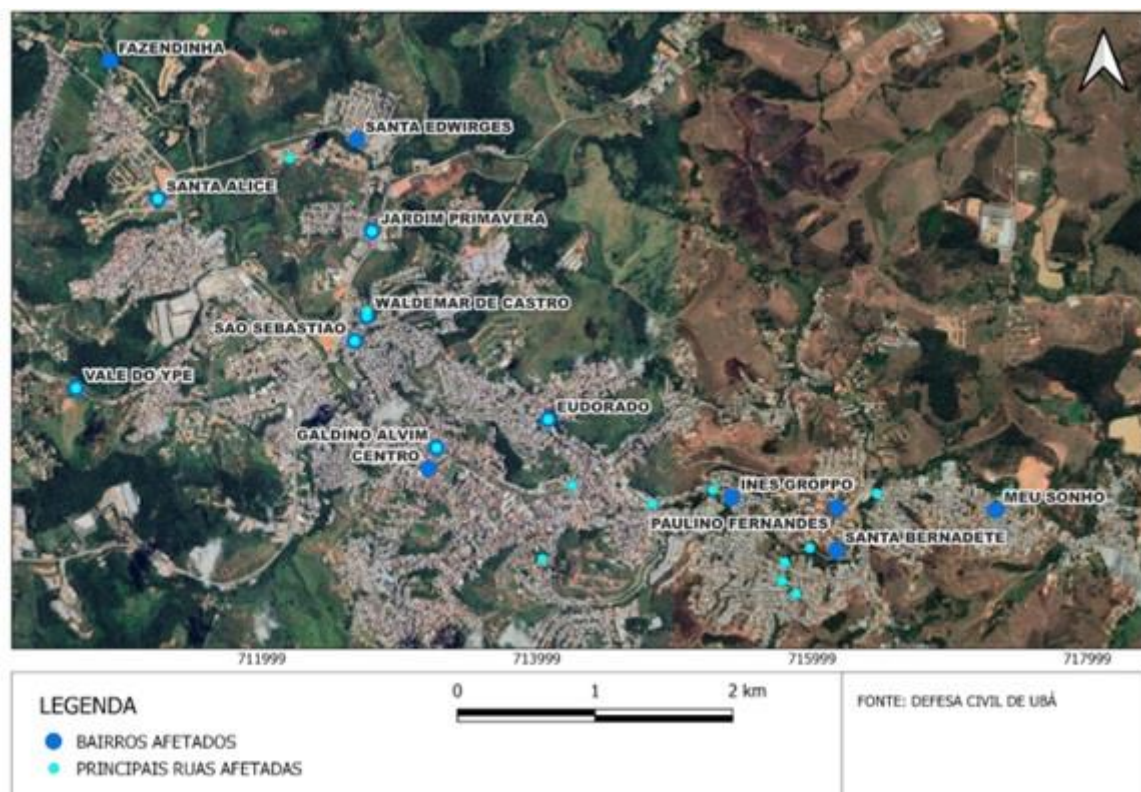
Para realizar uma análise comparativa e com ela permitir uma validação da metodologia de mapeamento realizada, foram pesquisadas as referências de levantamento de áreas de risco da Defesa Civil do município dos últimos anos.

Esse levantamento do órgão refere-se não somente a áreas de possível inundação, mas também de destruição de vias, pontes e outros possíveis impactos pluviais na área urbana. O levantamento de dados da Defesa Civil engloba coletas de 2012, 2017 e 2020. Também foram utilizados dados do Plano de Contingência realizado em 2020, bem como das ocorrências registradas pelo órgão em eventos com decretação de situação de emergência.

Os dados foram separados em bairros mencionados e ruas mencionadas, devido ao fato de alguns bairros não serem especificados as ruas que apresentam maiores níveis de risco e podem ser vistos no Figura 4. Dessa forma, seria possível ter a dimensão da quantidade de ruas em locais específicos que apresentam recorrentes problemas quanto a inundações e alagamentos.

Além dos dados da Defesa Civil também foi realizado um levantamento das notícias de jornais e páginas de notícias, que identificaram os bairros mais afetados pelas inundações ocorridas no município no ano de 2020, principalmente. Nesse único ano o município sofreu com três eventos no período de 24 de janeiro, 04 de março e 07 de abril, que foram consideradas as maiores inundações da história da cidade, e com isso os dados levantam pontos mais amplos quanto à possibilidade de danos.

Figura 4 – Eventos de Inundação: Principais bairros e ruas de Ubá afetadas

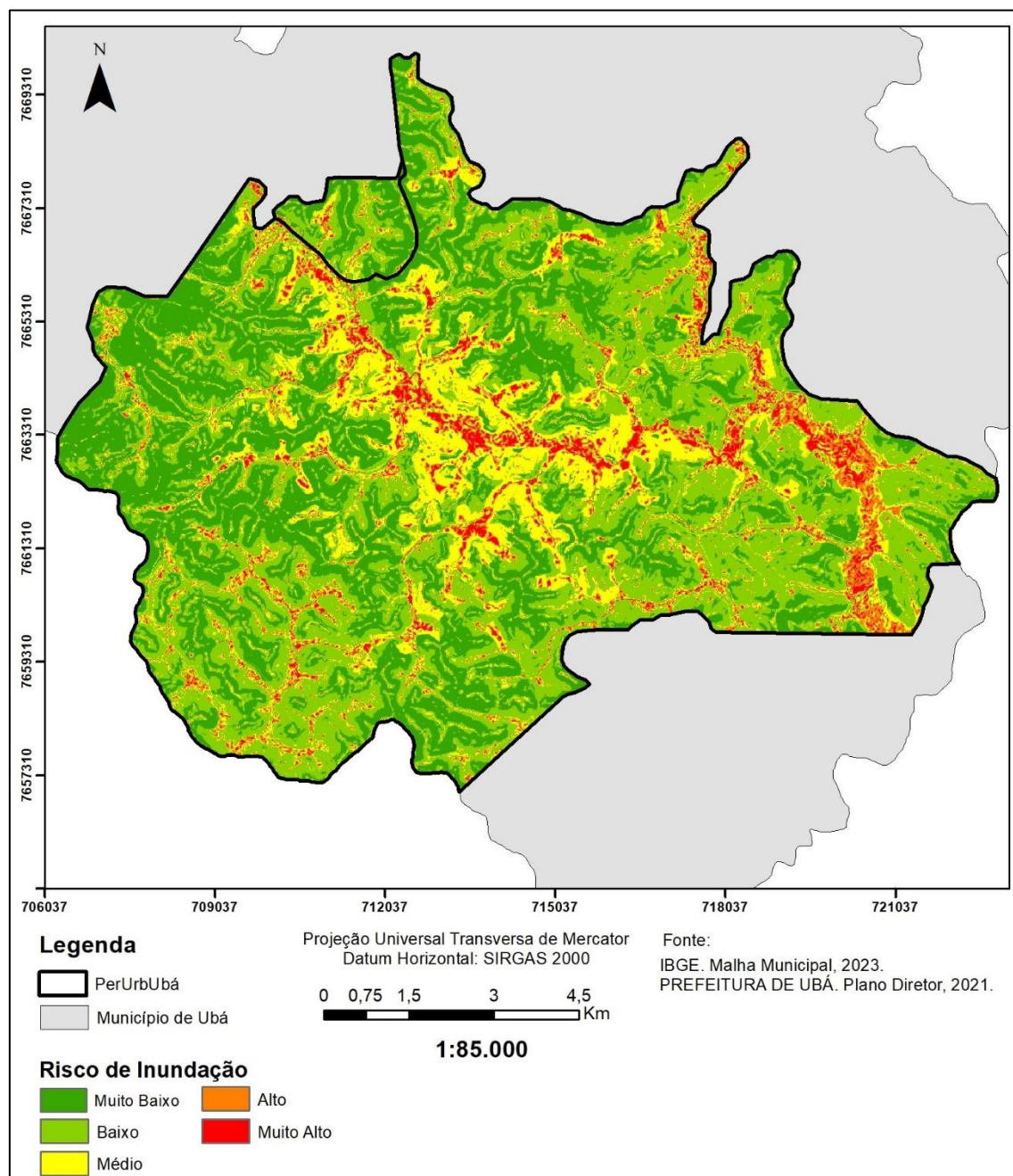


Fonte: Dados da Defesa Civil de Ubá (2020).

Para os dados coletados dentro dessa perspectiva, também foram levantados os bairros mais impactados de acordo com os portais dos pontos críticos, as ruas onde aconteceram maiores danos, locais onde houve quedas de pontes, destruições de vias e do canal do rio, e também onde ocorreram desabamentos de imóveis.

Com a utilização da metodologia descrita, produziu-se o Mapa 2 que ilustra os níveis de risco de inundação dentro do perímetro urbano do município. De acordo com o mapeamento obtido dos 116,2 Km² de área do perímetro urbano, 7 Km² estão em área de alto ou muito alto risco, 2% da área total é de altíssimo risco. Estas sendo principalmente localizadas próximas aos leitos dos cursos de água com maior vazão, nas áreas de menor declividade, baixa altitude e muito urbanizadas do perímetro. As áreas de alto risco são 4%.

Mapa 2 – Áreas suscetíveis a inundação em Ubá - MG



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Ainda existem áreas de médio risco, que também não podem ser descartadas no que se diz respeito ao planejamento de medidas de contenção e de prevenção. Estas áreas representam 18% do perímetro. E as áreas de baixo e baixíssimo risco são de menor importância quando se diz respeito ao risco de inundação, estas representam 76% do perímetro urbano.

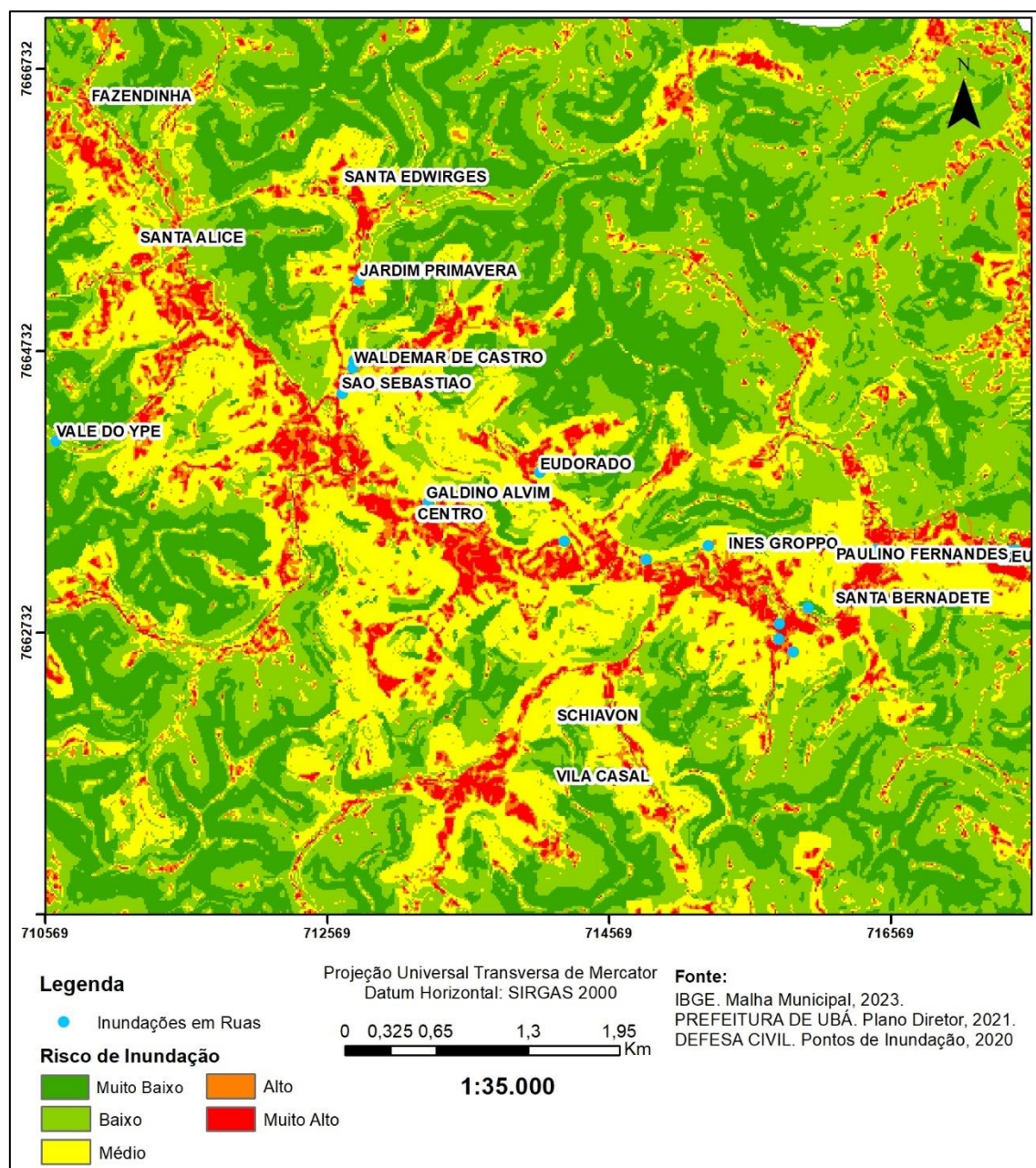
Ainda sobre as áreas de baixo risco de inundação, estas têm grande presença dentro do contexto urbano, devido às características do relevo local, como áreas que podem influenciar em áreas de possível inundação. Estas áreas acarretam maior velocidade de escoamento das águas pluviais e com isso tornam-se fatores de impacto quando se considera as dinâmicas dos fluidos que extrapolam as variáveis utilizadas no presente modelo. Nessas áreas o uso deveria privilegiar uma menor impermeabilização do solo e preservação ou implantação de vegetação arbórea a fim de aumentar a infiltração da água no solo e reduzir o escoamento superficial e, portanto, reduzir as inundações em áreas adjacentes baixas próximas.

As áreas de risco que totalizam 7 km², quando analisada apenas a mancha urbana dentro do perímetro urbano, que possui cerca de 14,4 km², representa quase metade dela, ou seja, metade da área ocupada urbanizada no município está propícia a sofrer risco de inundação. Magalhães *et al.* (2011) diz que o método AHP tende a superestimar o risco de inundação em relação a outros métodos que se baseiam em levantamentos em campo. Contudo, o mesmo é satisfatório, pois ainda que superestimada a área de risco sujeita a inundação, ela é bastante significativa no município.

Com os dados históricos referentes aos pontos de inundação registrados por notícias e identificadas pela Defesa Civil, foi possível traçar diversos paralelos com o Mapa 2 de risco a inundação criado. O Mapa 3 mostra sobre as áreas de riscos a inundação geradas os casos registrados de inundações por ruas pela Defesa Civil com indicação dos bairros que em que tais casos são comuns. Os bairros são os citados por notícias sobre casos de inundação por portais de internet, como G1 (2021).

A Defesa Civil registrou 18 ocorrências de inundação, sendo que destas, dois ou 11% foram registradas em áreas de muito alto risco, 22% foram registradas em áreas de alto risco de inundação. Pontos em área de médio risco foram 66%.

Mapa 3 – Ruas com casos registrados de inundação pela Defesa Civil de Ubá - MG



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Entretendo, sobre os registros da Defesa Civil temos dois problemas: (1) é a falta de precisão no registro das ocorrências, apesar de constar a coordenada geográfica, muita das vezes ela é colocada posteriormente no relatório, apenas resguardando o nome da rua. Quando temos uma inundação de maiores proporções em um bairro, no relatório consta apenas “diversas ruas” sem uma delimitação precisa do ponto das vias. Algumas ruas e avenidas são bastante extensas com declividades e altitudes variando durante seu

comprimento. Além disso, há (2) erros de preenchimento das ocorrências confundindo inundação com alagamento ou mesmo movimento de massa.

Em quatro pontos tivemos alagamentos em área com declividade maior que 18% Gomes, Lapa, Zaidan (2023, p. 39) comentam que: “Tal singularidade pode ser explicada por possíveis alterações na modificação das formas do relevo, redes de drenagem ou permeabilidade dos tipos de uso e cobertura”. O uso e ocupação pode tanto potencializar problemas decorrentes do meio físico como amenizar tais com obras de engenharia. A complexidade do ambiente urbano necessita que o Estado e os atores produtores do espaço discutam formas de ocupação afim de minimizar problemas ambientais nesses espaços.

É importante frisar que os fatores utilizados para levantar as áreas de risco consideram o peso da urbanização, entretanto, o método não abarca todos os fatores que influenciam a dinâmica dos rios no período chuvoso, como a configuração urbana, a trajetória dos rios, o potencial de infiltração do solo, o acumulado de chuvas, a drenagem urbana e também a dinâmica dos fluxos. Tais informações seriam necessárias para melhor exatidão de áreas que apresentam maiores chances de sofrerem com estes eventos. A drenagem urbana, por exemplo, é um atenuante a inundação em uma área, mas dependendo de como se configura ela apenas transfere o fluxo e o problema para um ponto mais a jusante do curso de água.

O Geoprocessamento, nesse caso, traz informações importantes para que futuras análises possam ser realizadas, servindo de base para direcionar tais pesquisas, pois todos esses pontos levantados acima seriam de grande valia para refinar os dados e tornar ainda mais precisas a identificação de áreas de maior incidência de azares. O processo integra planos de informações geográficas, podendo gerar modelos e cenários, algo muitas vezes que necessita de mais levantamentos e informações mais robustas.

No entanto, o estudo realizado demonstra que boa parte das áreas identificadas como maior risco de inundação coincide com as áreas de risco indicadas tanto pela Defesa Civil do município, quanto também pelo histórico de eventos levantados pelos dados jornalísticos. O que é indicado pelo forte peso do relevo no modelo reafirma o que é colocado por Ab’Saber (2007, p.64), que coloca a formação onde o município se insere como um empecilho para formação de sítios urbanizáveis e criação de estradas, além de ser um domínio morfoclimático sujeito a fortes processos de erosão.

Outro ponto, levantado por Tucci (2003), é que a ocupação do leito maior do rio pela malha urbana é que torna frequente as inundações e torna boa parte da população que mora nas regiões centrais do município suscetíveis a esses impactos. Além disso, tais informações mapeadas indicam os locais onde a cidade deveria evitar direcionar seu crescimento, assim como indica Tucci (2003), as alterações geradas pelo desenvolvimento urbano podem ainda aumentar a problemática existente, criando mais impermeabilização, aumentando a velocidade com que a água escoar para o leito do rio, além de criar obstruções quanto ao escoamento, criar drenagens inadequadas, e aumentar as áreas de assoreamento.

Além desses fatores, Brookfield (1999) levanta que a vulnerabilidade deve ser considerada nestes casos, também por se relacionar com as características físicas, mas também considerando as características sociais e econômicas da população destas áreas, considerando assim a sensibilidade destes ambientes.

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano pode direcionar melhor as áreas de expansão do município, além de possibilitar ações que reduzam os riscos para a população que reside em áreas de alta vulnerabilidade. Esse tipo de mapeamento pode indicar locais que precisam de maior atenção tanto para implantação de novas construções, quanto para orientar áreas que necessitam de intervenção preventiva.

CONCLUSÃO

A modelagem é uma tentativa de reprodução da realidade para fins de estudo de algum aspecto. Todo modelo enfrenta limitações, pois a realidade é um sistema complexo de variáveis e quase infinitas interações entre elas.

Aceitando que existem limitações, o modelo aqui utilizado se mostrou satisfatório em identificar áreas sujeitas às inundações urbanas. Outros modelos hidrológicos, como de acúmulo de fluxo, se mais complexos, deixam de lado também as alterações que o ambiente urbano gera sobre como a água se movimenta em seu interior.

O principal mérito do modelo multicritério é a necessidade de poucos dados, dado sua baixa complexidade, ser aplicado em pequenos e médios municípios a fim de orientar poder público sobre áreas mais críticas.

A identificação é o primeiro passo para a possibilidade de intervenções urbanas pelo poder público com intuito de reduzir o risco da população a eventos de inundação, que ocasionam perdas materiais e humanas. Não somente intervir, mas o mapeamento permite planejar as áreas de expansão urbana, levando em consideração a ocupação com restrição de áreas naturalmente sujeitas a inundações. Permitindo monitoramento e alerta de eventos em tais áreas, elencar áreas de prioridade em obras de prevenção a desastres e de adaptação climática, inclusão de sinalização na área urbana de áreas de riscos, subsidiar a elaboração de planos de contingência e direcionar fiscalização sobre ocupação dessas áreas vulneráveis. Em consonância com o trabalho executado pelo serviço Geológico do Brasil para Riscos Geológicos para diversos municípios do Brasil, mas no qual Ubá não está incluído, o presente trabalho buscou então preencher essa lacuna informacional.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil**: Potencialidades paisagísticas. 4.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007.
- ANDRADE, M. C. de. Aspectos Geográficos da Região de Ubá. **Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, São Paulo, Avulso n. 1, 1961.
- BROOKFIELD, H. Environmental damage: distinguishing human from geophysical causes. **Environmental hazards: Human and Policy Dimensions**, v.1, n.1, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, v. 2, p. 415-440, 2001.
- CRUZ, E. V., FIALHO, E. S., DA SILVA, D. A., DIAS, N. G. D. O. S. Análise da variabilidade pluviométrica no município de Ubá-MG (2003-2021). **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 12, n. 2, p. 184-217, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/download/39388/25424>>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- DA CONCEIÇÃO, Raimundo Almir Costa; SIMÕES, Patrícia Mara Lage. Modelagem De Suscetibilidade A Inundação Utilizando Processo Analítico Hierárquico (AHP) E Lógica Fuzzy. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais [...] INPE**, 2019. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.16.16.40/doc/97553.pdf>>. Acesso em: 14 de jun. 2023.
- DEFESA CIVIL DE UBÁ, MINAS GERAIS, BRASIL. **Mapeamento das áreas de risco no município de Ubá**. Ubá, 2020.

DEFESA CIVIL DE UBÁ, MINAS GERAIS, BRASIL. **Plano de contingência 2021-2022**. Ubá, 2020.

FERRAZ, C. M. L., VALADÃO, R. C.; HENRIQUE, R. J.; TRINDADE, B. C. Uso de geotecnologias para mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais: potencialidades e limitações. **Revista Vozes dos Vales**, v. 7, n. 14, p. 1-31, 2018.

FIALHO, E. S.; ALVES, R. de S.; ALVES, A. de S. Interações entre clima e sítio em situação sazonal de inverno: um estudo de caso em cidades da Zona da Mata Mineira. **Revista Geonorte**. Manaus, v. 4, p. 916-931, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2156/2022>>. Acesso em: 13 out. 2021.

G1. **'Maior enchente da história de Ubá', diz Prefeitura após forte chuva que atingiu a cidade**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2020/03/05/maior-enchente-da-historia-de-uba-diz-prefeitura-apos-forte-chuva-que-atingiu-a-cidade.ghtml>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

GOMES, F. C. M.; LAPA, D.P.; ZAIDAN, R. T. Risco a Inundação na Sub-bacia do Rio Paquequer em Teresópolis - RJ. **Revista Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 13, n.1, p. 29-41, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 1950/2010**. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**, v. 21, n. 1, p. 13-25, 1961.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R dos. Uso de Geotecnologias Para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES: Uma Análise Comparativa Entre Dois Métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, 2011.

MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, p. 95-110, 2004.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno didático**, v. 1, p. 34, 2008.

MENDONÇA, F.M. de. **Formação, desenvolvimento e estruturação de arranjos produtivos locais da indústria tradicional do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

MUMFORD, Lewis. **The city in history: Its origins, its transformations, and its prospects**. Houghton Mifflin Harcourt, 1961.

OLIVEIRA JR., A. **Instituição, espaço e desenvolvimento: o caso do Pólo Moveleiro de Ubá, MG**. 2011. Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2011.

REBOITA, M. S., RODRIGUES, M., SILVA, L. F., ALVES, M. A.I. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 11, v. 17, p. 206-226, 2015. Disponível em:



<<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/download/13853/7148>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

RUDNIAK, A.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; ANDRADE, A. R. Aplicação de técnicas de análise espacial para mapear áreas suscetíveis à enchentes urbanas. **GeoUERJ**, n. 35, e33292, 2019.

STEPHENS, E. Precipitation and floodiness. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 23, p. 10,316-10,323, 2015.

TUCCI, Carlos EM; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

ZANELLA, M. E. **Inundações em Curitiba**: impactos, risco e vulnerabilidade socioambiental. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 194 p.

Recebido em agosto de 2023.

Revisão realizada em abril de 2024.

Aceito para publicação em junho de 2024.