



Varia

Artigo



MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZAMBEZE 2, MOÇAMBIQUE

MAPPING OF FLOOD SUSCEPTIBILITY IN THE ZAMBEZE 2 RIVER BASIN, MOZAMBIQUE

MAPEO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO ZAMBEZE 2, MOZAMBIQUE

Por Ringo Benjamim Victor, José João Passe; Dizimalta Miquitaio, Evaristo Uaila & Hélio Nghanhane

101

Ringo Benjamim Victor. Professor da Faculdade de Geociências e Ambiente da Universidade Púnguè. Moçambique
<https://orcid.org/0000-0002-1514-0378>
Contato: mgauptete@gmail.com

José João Passe. Professor da Faculdade de Geociências e Ambiente da Universidade Púnguè. Moçambique
<http://orcid.org/0000-0002-1972-9366>
Contato: josejpass@gmail.com

Dizimalta Miquitaio. Professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Púnguè, Moçambique
<http://orcid.org/0000-0001-5995-662X>
Contato: dizimalta1@gmail.com

Evaristo Uaila. Professor da Faculdade de Ciências Exactas e Tecnológicas da Universidade Púnguè. Moçambique
<http://orcid.org/0009-0008-7436-3695>
Contato: eduaila@yahoo.com.br

Hélio Nghanhane, Professor da Faculdade de Ciências Exactas e Tecnológicas da Universidade Púnguè, Moçambique
<http://orcid.org/0000-0001-5359-2044>
Contato: nghanhanehelio@gmail.com

Como citar
BENJAMIM VICTOR, R.; PASSE, J.J.; MIQUITAIO, D; UAILA, D; NGANHAME, H. Mapeamento de susceptibilidade de risco de inundação na Bacia hidrográfica do Rio Zambeze 2 em Moçambique. **Boletim GeoÁfrica**, v. 2, n. 7, p. 101-130, jul.-set. 2023.

Recebido 04/08/2023
Aceite: 11/09/2023



Resumo

A inundação é um perigo natural devastador que pode causar danos à sistemas biofísicos e socioeconómicos. A falta de planeamento de uso de terras impele a ocupação desordenada acarretando diversos problemas, o que torna a sociedade mais exposta aos eventos climáticos extremos, como é o caso dos ciclones tropicais que tem ocasionado de forma recorrente e intensas inundações em Moçambique, impactando em avultados danos e perdas socioeconómicas e humanas. A susceptibilidade está diretamente relacionada à probabilidade de uma área ser atingida pelas inundações. A pesquisa objectivou analisar espacialmente a susceptibilidade à inundações da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, em Moçambique. Para além do mapeamento efectuado através do ArcMap 10.6, apropriamo-nos da revisão bibliográfica e do método de Análise Hierárquica de Processo (AHP) proposto por Saaty (1980). Os resultados evidenciam que a bacia com 25.348,59 km² é de baixa à média propensão à inundações e cheias. Nesta, as áreas com maior susceptibilidade à riscos de inundações dispõem-se em classe média com 14.893,06 km² (58,75%), alta com 8.702,71 km² (34,33%) e baixa perfazendo 1.752,82 km² (6,9%). O conhecimento de áreas susceptíveis a riscos de inundação constitui base para acções que visem a minimização da sua ocorrência. Para o efeito, o mapeamento se afigura pertinente.

Palavras-chave: Gestão de Riscos de Desastres. Planeamento de Uso de Terras. Vulnerabilidade Sócio-Ambiental.

Abstract

Flooding is a devastating natural phenomenon that can damage biophysical and socioeconomic systems. The lack of land use planning leads to disorderly occupation and other problems, making society more exposed to extreme weather events, such as tropical cyclones that have repeatedly and intensely caused floods in Mozambique and significant socioeconomic and human losses. Susceptibility is directly related to the probability of an area being affected by flooding. The research aimed to spatially analyze the susceptibility to flooding of the Zambezi River Basin 2, in Mozambique. In addition to mapping carried out in a geoprocessing environment (ArcMap 10.6), the methodological procedures used, consisted of a bibliographic review, and collection of secondary data, as well as the application of the Hierarchical Process Analysis method (AHP) proposed by Saaty (1980). The results show that the basin with 25,348.59 km² is low and medium prone to floods and floods. Areas with greater susceptibility to flooding risks are organized as follows: the middle class (58.75%) with 14,893.06 km², upper class (34.33%) corresponding to 8,702.71 km², and low class (6.9%) with 1,752.82 km². We concluded that mapping is relevant and basic to gather knowledge of areas susceptible to flooding risks and propose actions to minimize their occurrence. the results show that the basin with 25,348.59 km² is low and medium prone to floods and floods

Keywords: disaster risk management, land use planning, socio-environmental vulnerability.

Resumen

Las inundaciones son peligros naturales, devastadoras que pueden causar daños a los sistemas biofísicos y socioeconómicos. La falta de planificación del uso de la tierra conduce a una ocupación desordenada que causa varios problemas, haciendo que la sociedad esté más expuesta a fenómenos meteorológicos extremos, como los ciclones tropicales que han causado inundaciones recurrentes e intensas en Mozambique, con un impacto en pérdidas socioeconómicas y humanas significativas. La susceptibilidad está directamente relacionada con la probabilidad de que una zona se vea afectada por inundaciones. El objetivo de la investigación fue, analizar espacialmente la susceptibilidad a las inundaciones de la cuenca 2 del río Zambeze, en Mozambique. Además de la cartografía realizada a través de ArcMap 10.6, nos apropiamos de la revisión bibliográfica y del método de Análisis Jerárquico de Procesos (HPA) propuesto por Saaty (1980). Los resultados muestran que la cuenca con 25.348,59 km² es de propensión bajo y media a las inundaciones. En ella, las áreas con mayor susceptibilidad a los riesgos de inundación se encuentran en la clase media (58,75%) con 14.893,06 km², alta (34,33%) correspondiente a 8.702,71 km² y baja (6,9%) totalizando 1.752,82 km². El conocimiento de las zonas susceptibles al riesgos de inundación es la base de las acciones de planificación territorial sostenible. Para ello es pertinente la cartografía.

Palabras clave: Gestión del riesgo de catástrofes. Ordenación del territorio. Vulnerabilidad socioambiental.



INTRODUÇÃO

As frequentes inundações em diversos quadrantes do Mundo e, particularmente em Moçambique, são uma realidade cada vez mais assustadora, facto que tem suscitado grandes debates nos círculos académicos, governamentais, mídias e na sociedade civil. O crescimento socioeconómico em meio urbano e rural resultou na ocupação de terrenos próximos às várzeas dos rios ou à costa, a qual favoreceu a instalação de comunidades e actividades produtivas. Após a ocupação destas áreas, a urbanização se expande para as regiões mais altas, reduzindo as áreas permeáveis devido à remoção da cobertura vegetal para assentamentos humanos e agropecuária, dificultando, dessa forma, a retenção das águas pluviais. Em contrapartida, a expansão das áreas urbanas requer infraestruturas adequadas a fim de se garantir condições plenas de saneamento ambiental.

Em Moçambique, a drenagem urbana é, na maior parte das vezes, antiquada e obsoleta e, até nalguns casos, inexistente. Isso acarreta inúmeros problemas sócio-ecológicos. A esse respeito, Tucci e Bertoni (2003, p. 22) mencionam que a urbanização desordenada ocasiona o aumento das vazões máximas, da erosão das margens dos cursos d'água e da produção de sedimentos que, juntamente com outros poluentes provenientes dos centros urbanos, são transportados para os corpos hídricos e deterioram a qualidade da água superficial e subterrânea. Os autores ainda citam que a urbanização sem planeamento tende a gerar sistemas de drenagem inadequadas, que visam apenas o escoamento rápido da água precipitada, aumentando a magnitude da vazão, a frequência e o nível de inundações a jusante.

Actualmente, as inundações são algo recorrente em Moçambique e em outros quadrantes do Mundo. Seguindo Eckstein *et al.*, (2021, p. 7) “entre 2000 e 2019, mais de 475.000 pessoas perderam a vida em todo o mundo e perdas de US\$ 2,56 trilhões foram incorridos como resultado direto de mais de 11.000 eventos climáticos extremos”. Os eventos climáticos extremos acima citados, assolaram, também, a Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, no Centro de Moçambique, cujas sequelas devastadoras persistem até aos nossos dias.

Em março de 2019, o intenso ciclone tropical Idai atingiu Moçambique, Zimbábue e Malawi, causando danos catastróficos e uma crise humanitária nos três países. Tornando-se



rapidamente o ciclone tropical mais mortífero e financeiramente impactante do Sudoeste do Oceano Índico, Idai foi rotulado como “uma das piores catástrofes na história de África”.

Já em 25 de Janeiro de 2022, registou-se uma inundação de grande magnitude nos municípios da Cidade de Tete e Moatize, impelido pela Tempestade Tropical Ana que ocasionou o transbordamento do Rio Rev bu , uma subbacia do Rio Zambeze. Para além de danos às infraestruturas sociais e econ micas, este episódio culminou em vítimas mortais humanas.

A altera es climáticas aumentam a frequência e a intensidade destas tempestades, levando Moçambique a ocupar o 1  lugar entre 180 países no  ndice Global de Risco Climático para 2019. O PAM¹ reporta-o como o 38  país mais vulnerável e o 13  menos preparado diante das altera es clim ticas². Eventos climáticos extremos, como as inunda es, são complexos. Numerosos fatores inter-relacionados devem ser levados em considera o ao tentar determinar e explicar suas causas. A ciência tem sido capaz de demonstrar que os riscos de inunda es têm um efeito significativo sobre a qualidade de vida das popula es devido a sua periculosidade, frequência, intensidade e dura o. Compreender a rela o entre o mapeamento do território e o grau de susceptibilidade   inunda o   essencial para poder mitigar os riscos e prepare-se para esse tipo de evento.

O mapeamento das áreas susceptiv is às inunda es   de capital relevância para o planejamento territorial, pois   uma ferramenta que subsidia a preven o e controle de desastres naturais decorrentes da expansão urbana e rural, que está diretamente associada ao grau de risco e prejuízos causados por estes eventos. Os mapeamentos produzem, em geral, cartas de suscetibilidade, perigo ou risco e têm correspondência com os objetivos do mapa e com as escalas de trabalho envolvidas (BARBOSA, 2006; CAMPOS *et al.*, 2015 citados por GONÇALVES, 2016).

O presente artigo objetiva analisar espacialmente a susceptibilidade   inunda es da bacia hidrográfica do Rio Zambeze 2, em Moçambique. Pretendemos auxiliar as comunidades locais e sector produtivo no que respeita a selec o de áreas adequadas para a ocupa o e utiliza o do espaço físico, evitando-se, deste modo, o desenvolvimento de actividades sócioeconômicas em

¹ Programa Alimentar Mundial

² Mozambique: Tropical Cyclones Idai and Kenneth - Emergency Appeal n  MDRMZ014, Final Report. Disponível no site: <https://reliefweb.int/report/mozambique/mozambique-tropical-cyclones-idai-and-kenneth-emergency-appeal-ndeg-mdrmz014-final-report>



áreas propensas à riscos de inundações. Visa-se de igual modo subsidiar o governo na definição de políticas públicas ligadas ao planeamento de uso de terras, bem como, o fornecimento de directrizes ligadas a prevenção e monitoramento de riscos à inundações.

BREVE REFLEXÃO CONCEPTUAL

Inundações e enchentes são ameaças naturais devastadoras que podem causar danos às infraestruturas e à sociedade (SAMANTA et al., 2018, p. 148). Assim, identificar áreas suscetíveis à inundação é uma tarefa importante para o estudo e prevenção das consequências desse fenómeno. As inundações são resultado da forte chuva em um curto espaço de tempo em locais onde há impermeabilização de uma grande área, geralmente causada pela urbanização. A combinação desses factores provoca a cheia de rios que encobrendo regiões adjacentes (TEHRANYET et al., 2018 e Ali *et al.*, 2020 citados por OLIVEIRA, 2021, p. 148). Por sua vez, as cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito menor e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por atividades humanas (ZÊZERE *et al.*, 2006, p. 7). Enchentes e inundações são consideradas os tipos de desastres naturais mais comuns e os que geram maiores prejuízos económicos e humanos, sendo responsáveis por cerca de 31% do total de danos à economia provenientes de eventos naturais catastróficos (YALCIN; ARYUREK 2004; DANO et al., 2019 *apud* Oliveira 2021, p. 2). Desta forma, é fundamental mitigar ou minimizar os possíveis danos causados pelas inundações. O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é uma ferramenta inicial relevante.

Por sua parte, o conceito de suscetibilidade foi usado por Julião *et al.*, (2009, p. 20) como parte do processo de análise de risco e corresponde:

“A incidência de perigo. Representa à propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência”.

A suscetibilidade deve ser entendida como a probabilidade espacial de ocorrência de um fenómeno potencialmente danoso. Suscetibilidade significa algo ou alguém passível de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades, ou seja, a predisposição natural à ocorrência de



um acaso. Assim, a susceptibilidade à inundações de uma área está diretamente relacionada à probabilidade dela em ser atingida por enchentes, cheias e alagamentos.

A importância de compreender a dinâmica de uma bacia hidrográfica está ligada a diversas questões que interessem a sociedade, sendo importante entender as transformações feitas pelo homem e as respostas que ele oferece. Deste modo, para Tucci (2001, p. 41) a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente. A adoção da bacia hidrográfica como uma unidade física de planejamento é de aceitação universal, pois constitui um sistema natural delimitado no espaço, cujas interações físicas são integradas e de fácil compreensão (SANTOS, 2004).

O fenômeno da inundação é um evento natural, provocado pelo extravasamento da água para o leito maior do rio, ele mesmo consequente de precipitações intensas que aumentam a quantidade de água chegando simultaneamente para um ponto do rio cuja capacidade de escoamento se revela insuficiente (DEFESA CIVIL, 1996). Para Enomoto (2004) citado por Prochmann (2004, p. 19), as planícies de inundações dos rios, áreas geralmente planas e férteis que favorecem o assentamento humano, transformam este evento natural em um risco para a população que ali reside. A planície de inundação de um rio pode apresentar diferentes níveis de risco, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Para os autores, quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor do rio é superior a dois anos, existe a tendência da população em ocupar a área. As cheias impactam o assentamento humano localizado nas várzeas mas também as populações instaladas a montante do rio, em consequência da obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros ocupantes.

As inundações nas áreas urbanas e rurais acarretam inúmeros prejuízos para a população, e muitas vezes resultam em vítimas. Elas se agravam em decorrência da urbanização, do uso indevido da terra, do assoreamento dos rios, do desmatamento e, principalmente, da ocupação das áreas suscetíveis à inundação. Estas práticas impedem a infiltração e percolação das águas no subsolo fazendo com que escoem diretamente para os rios, ocasionando perdas de solo e aumento da vazão dos rios. Além dos fatores anteriormente citados, somam-se, aos tipos climáticos, cujos



geram altos índices pluviométricos, a irregularidade topográfica, o que propicia a recorrência as inundações.

A Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, localizada na região central de Moçambique foi marcada por uma ocupação desordenada, num contexto de crescimento demográfico rápido, ocasionando assentamentos em áreas com maior propensão a desastres naturais, o que tem propiciado a inevitáveis riscos e perigos à população.

Em Moçambique, os centros urbanos são cada vez mais atrativos por concentrar infraestruturas, serviços, emprego, educação entre outros. Contudo, a oferta limitada de terra, o alto custo de vida e a falta de políticas efetivas de gestão e ordenamento territorial e de habitação para responder ao crescimento populacional resultam no surgimento de bairros assolados pela pobreza urbana, com infraestruturas predominantemente precárias e com uma grande densidade populacional. Esses espaços são, muitas vezes, propensos a grandes riscos ambientais, em que a inundação se afigura como um dos mais evidentes.

As populações adquirem terrenos a baixo custo, sem condições de habitabilidade em locais não apropriados, em virtude destes se situarem junto aos vales, margens dos rios, nascentes, planícies aluviais e de inundação, representando assim, uma negação da sustentabilidade ecológica por esses locais serem de maior susceptibilidade à inundações e enchentes de elevada magnitude. As construções de habitações e desenvolvimento de outras atividades econômicas junto aos rios contribui para o assoreamento do leito do rio e o extravasamento do caudal do rio em épocas de precipitação pluviométrica, provocando, deste modo, inundações. Há relatos de ocorrências de inundações datadas dos anos 1830³ na Bacia Hidrográfica do Rio do Zambeze, havendo ocorrências registradas atualmente (2019 e 2022) nas Cidades de Tete, Moatize, Distrito de Caia e Mutarara.

A Bacia em que está inserida a Bacia do Zambeze 2 (área em estudo), sofre ciclicamente de cheias e inundações, devido, fundamentalmente, a sua localização fisiográfica ao longo da secção média do grande Zambeze. Pode-se destacar alguns episódios de cheias e inundações que foram determinantes, tanto de ponto de vista de alteração ambiental, quanto em dramas

³ Relatos de cheias no Rio Zambeze, que remontam a 1830, são comuns nas histórias faladas dos povos da região do Delta. As enchentes trazem os sedimentos ricos em nutrientes, alimentam de água as planícies aluviais secas, lavam as massas de água parada e limpam os canais, braços e afluentes (Ribeiro e Dolores, 2011).

humanitários, que várias vezes se transfiguraram em perdas de vidas humanas, notadamente: As cheias de 1938, 1940, 1952, 1958, 1975, 1978, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991, 1996, 1997, 2000, 2001, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2019, 2021 e 2022 (Figura 1).

Figura 1. Extractos sobre as cheias na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze



Fonte: Arquivo do Jornal Notícias, datado de 23/02/1940; 09/02/1984 e 17/03/2010.

A frequência de inundações é ampliada pelo facto de ser um rio de gestão internacional e, também pelas descargas de segurança da maior barragem hidroelétrica no território moçambicano (Cahora Bassa), gerando frequentes *flash-floods* (HIPÓLITO e VAZ, 2017, p. 34).

As cheias sempre fizeram parte da história do Rio Zambeze e tendo impactos negativos aos seus benefícios na vida do rio. As enchentes trazem os sedimentos ricos em nutrientes, alimentam as áreas húmidas, limpam os canais, braços e afluentes, e muito mais. No passado, o regime de cheias altamente previsíveis do Rio Zambeze permitiu o surgimento de práticas tradicionais e sistemas sociais que dependiam e beneficiavam do funcionamento natural do rio (RIBEIRO e DOLORES, 2011, p. 2).



Diante do exposto, o mapeamento de suscetibilidade à inundação é pertinente para o manejo do uso da terra e a gestão de riscos e perigos, podendo, desse modo, subsidiar na previsão e provisão de medidas que visam a sua redução. Neste contexto, a geografia se afigura pertinente no estudo das áreas de inundação. Esta ciência é fundamental para explicar os processos desencadeados pela atividade humana, que têm origem nas alterações da morfologia e da rede de drenagem da superfície. Assim, a necessidade de mapeamento das áreas que possuem maiores suscetibilidade às inundações auxilia na prevenção dos prejuízos, evitando, portanto, as adversidades. A esse respeito, Prochmann (2004, p. 19) citando Mendes e Cirilo (2001), refere que “é essencial a existência de informações sistematizadas para subsidiar, por exemplo, a previsão e o controle de processos naturais ou induzidos pelo homem nas bacias”.

O mapa de susceptibilidade fornece informações para definir potenciais de ocorrência de inundações para o local. Cristo (2002, p. 36) considera que

“O estudo direcionado ao mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos é de fundamental importância, principalmente na realização de planejamentos urbano e rural, pois fornecem subsídios na execução de Planos Diretores, Planos de Ações Preventivas a Desastres, bem como na tomada de decisão para amenizar, reduzir ou até mesmo eliminar as situações de riscos”.

Para Ahmad e McCalpin (1999, p. 51), o mapa de susceptibilidade é fundamental para os planejadores, pois permite elaborar medidas de prevenção, amenizar de danos e direcionar as políticas públicas para a regulamentação das formas de uso e ocupação da terra. O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é um recurso importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações. Ele auxilia na tomada de decisões para mitigação desses problemas. Atualmente, em virtude da capacidade de armazenamento e análise de informações, o geoprocessamento surge como uma ferramenta dinâmica capaz de conferir mais precisão aos mapeamentos e à análise espacial. O uso dessas ferramentas permite a implantação de um SIG, reunindo um conjunto de bases digitais e de banco de dados que podem ser manipulados, com a finalidade de promover uma análise espacial, de acordo com os objetivos do usuário (Oliveira e Guasseli, 2011, p. 6).



Mecúcoè e Sanângoè-Mefidézi), caracterizadas pela ocorrência de grandes depósitos de carvão e extensa actividade ígnea (DNG, 2006).

A fisionomia da região em estudo caracteriza-se pelos acidentes geográficos, tais como planícies, planaltos, colinas, *inselbergs*, vales e montanhas. Apresenta, igualmente, depressões erosivo-desnudadas e de acumulações de sedimentos, provenientes dos troços superiores e médios, transfigurando-se em cotas que estão entre 1040 e 30m em direção a grande planície costeira atribuída ao Plio-Pleistocénico. Do ponto de vista estratigráfico, a bacia pertence ao grupo de Ecça (Supergrupo do Karoo) no carbónico superior-jurássico médio/Superior, com sedimentos de natureza fluvial ou flúvio-torrencial provenientes da fusão da calote glacial do Gondwana. Estes sedimentos foram depositados em vales tectónicos alargados, devido ao “*rifting*” (AFONSO *et al.*, 1998, p. 87).

Hidrologicamente, o rio Zambeze é o mais extenso da Bacia Hidrográfica com o mesmo nome. Nasce nas montanhas de Kalene, extremo noroeste da Zâmbia, à altitude de 1450 m e desagua por Delta no Oceano Índico (Canal de Moçambique) após percorrer 2 700 km. No seu percurso, atravessa o Noroeste de Angola e o Oeste da Zâmbia, forma a fronteira Norte da Namíbia e a divisa entre a Zâmbia e o Zimbabué. Ele entra em Moçambique na localidade de Zumbo na Província de Tete.

Do ponto de vista climático e em conformidade com a classificação climática de Köppen, a bacia em análise é marcada pela ocorrência de dois tipos de climas: tropical de savana (ou clima tropical úmido) caracterizado por duas estações bem definidas: *Aw* (inverno seco) e *As* (verão seco); semiárido quente (INAM, 2020).

Procedimentos metodológicos

Para além do mapeamento das áreas susceptíveis à riscos de inundações efectuado através do *ArCMap* 10.6, a revisão bibliográfica consistiu na consulta de diversas fontes de informações (artigos científicos, livros e relatórios técnicos). De igual modo, adotamos o método de Análise Hierárquica de Processo (AHP) (em português) desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70 (SAATY, 1980). O método tem como principal característica a decomposição hierárquica do



problema, criando-se uma hierarquia de critérios e convertendo avaliações subjetivas de importância relativa em um conjunto de pontuações e pesos gerais.

A metodologia AHP consiste em três fases principais: estruturação do problema; julgamentos comparativos e análise das prioridades. Ela determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa priorizando-a ao utilizar o método (GALLI *et al.*, 2007 citado por GOMES *et al.*, 2014). Por sua vez, Santos (2010, p. 65) afirma que os fatores determinados como relevantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente, independente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo.

a) Altitude

Essa variável influencia no risco a inundação devido à probabilidade de inundação em áreas mais baixas e também “(...) Considera-se que, quanto maior for a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona o escoamento das águas para as regiões mais baixas” (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p. 65).

b) Declividade

A declividade do terreno influencia diretamente no acúmulo de água. Áreas consideradas planas apresentam maiores índices de probabilidades de sofrerem inundações do que áreas escarpadas. Variável importante na determinação dos riscos de inundação de uma área, ela influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Assim, áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas” (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p. 65).

c) Uso e ocupação da terra

O estudo do uso da terra e ocupação do solo busca é indispensável. A forma de ocupação da terra influencia na infiltração e escoamento superficial da água. Para Magalhães *et al.*, (2011, p. 65) “as áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados”.



d) Precipitação

A precipitação é um factor importante na análise de riscos a inundação, pois em precipitações altas maior é o nível de risco.

Matrizes de decisão

Para elaboração da matriz utilizou-se a escala fundamental de Saaty, conforme apresentado no Quadro 1. A elaboração é definida a partir de uma escala linearmente hierárquica de importância entre os fatores de estudo.

Quadro 1. Escala de comparadores

Valores	Nível de Importância
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Santos et al. (2010, p. 65) afirmam que a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante o processo de confecção dos mapas de inundação já que os valores de importância atribuídos a um fator interferiram diretamente no resultado obtido. A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada na Tabela 1. Portanto o fator altitude foi definido como mais importante diante dos outros três fatores e em seguida foi a declividade.



Tabela 1. Matriz de comparação dos fatores.

Uso e ocupação da terra	Precipitação	Declividade	Altitudes
1	0.33	0.33	0.25
3	1	0.50	0.50
3	2	1	1
4	2	1	1
0.08	0.20	0.34	0.36

Fonte: Matriz AHP, adaptado pelos autores (2022).

Para essa etapa foram realizadas operações aritméticas utilizando a ferramenta *raster calculator* do software *ArcGIS*, onde foram associados os parâmetros de risco à inundação reclassificados e representados por dados matriciais com os pesos estabelecidos na etapa anterior. Após a obtenção dos pesos de cada fator, atribuiu-se de seguida os valores conforme a equação 1, para elaboração do mapa de área de risco inundação.

$$R = 34D + 36A + 8US + 20P \text{ (Eq. 1)}$$

Em que:

- R: Risco de Inundação na BHRZ2;
- D: Mapa de declividade (%);
- A: Mapa de Altitude (m)
- US: Mapa de uso e ocupação de Solo;
- P: Precipitação (mm)

Elaboração dos mapas dos fatores analisados

Com os fatores considerados influentes para o mapeamento de áreas susceptíveis à risco de inundação, foram definidas as principais classes associadas a cada fator. Isto significa que o tema, ou fator, foi subdividido em classes que mais influenciam na suscetibilidade das áreas, onde serão expostos a seguir:



Altitude (m)

Adquiriu-se um SRTM no site da USGS⁴, com a resolução espacial de 30m e de seguida foi feita a sua correcção (*fill*) para preencher os vazios. Seguiu-se a selecção e recorte do contorno geral da área de estudo, o seu Shapefile (*shp*), onde foi sobreposta ao modelo digital de elevação (MDE) e feito o processo de extracção da máscara "*Extract by Mask*" para se ter apenas o recorte do MDE da área de estudo, onde posteriormente foi elaborado o mapa de altitude com as cotas em metro e, ulteriormente, reclassificadas segundo o quadro 2.

Quadro 2. Peso atribuídos ao MDE

Classes de Altitude (m)	Notas
30 - 250	10
250 - 450	8
450 - 640	7
640 - 840	2
840 - 1040	1
1040 - 1250	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Declividade

A partir do *layer* do limite da área recortada do local da pesquisa e diante dos dados extraídos automaticamente para a tabela de atributos gerou-se o mapa de altitude que transformados em *Raster* criados, permitiu a geração do mapa de declividade da área de estudo. O MDE foi posteriormente reclassificado em cinco classes e as notas foram aplicadas de acordo com o quadro 3.

Quadro 3: Peso atribuídos a Declividade.

Declividade (%)	Classes de Relevô	Notas
0 – 3	Plano	10
3 – 8	Suave Ondulado	9
8 – 20	Ondulado	7
20 – 45	Fortemente Ondulado	3
>45	Montanhoso	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

⁴ United States Geological Survey: <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Uso e ocupação da terra

Para a identificação de classes de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, foi mediante a utilização da base de dados pré-existente, fornecida pelo CENACARTA (*Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção*), posteriormente reclassificada e atribuída os seguintes pesos, conforme ilustra o Quadro 4:

Quadro 4: Peso atribuídos a classe de uso e ocupação de solo.

Classes de uso e ocupação de Solo	Notas
Arbustos	1
Vegetação 1	2
Área de Cultivo	5
Urbanização	8
Água	10
Vegetação 2	3

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Precipitação

O mapa foi obtido com base na metodologia proposta por Crepani et al. (2001) e a representação da precipitação média anual, a partir do método de interpolação denominado IDW (*Inverse Distance Weighted*) gerado pelo software ArcGIS.

Quadro 5: Peso atribuídos a classe de precipitação

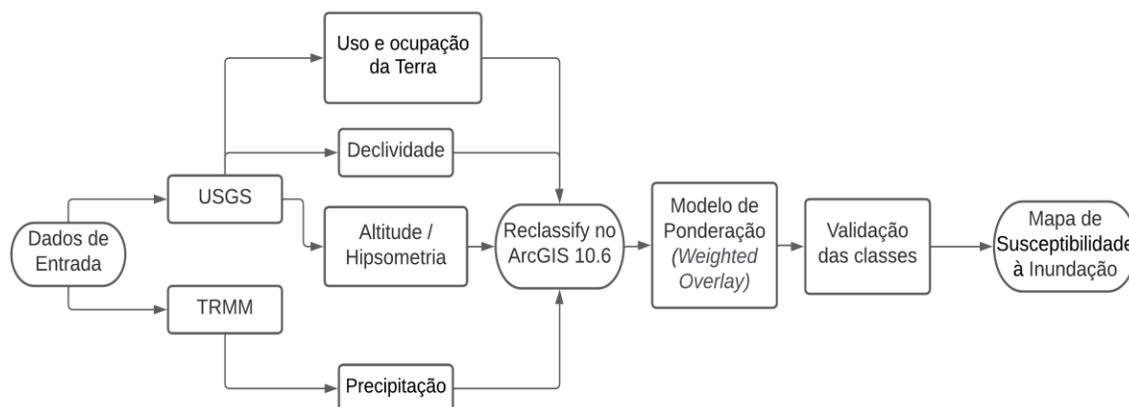
Precipitação (mm)	Notas
700 – 800	1
800 – 900	2
900 – 1000	5
1000 – 1100	8
1100 – 1200	10

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Após os procedimentos realizados, fez-se necessário a utilização do método AHP decompor o problema em níveis hierárquicos. Foi realizada uma matriz de comparação par a par com uma escala de comparação adotada de acordo com a experiência dos autores, no *software* Excel. Posteriormente, definiu-se linearmente a hierarquia de importância entre os fatores

definidos através de pesos. Após a execução do cálculo algébrico do risco, foi convertida para polígono para possibilitar o cálculo e a delimitação da área de alta susceptibilidade ao risco de inundação. De um modo geral, os procedimentos metodológicos empregues para a análise da susceptibilidade às áreas de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, podem ser observadas no fluxograma da figura 3.

Figura 3. Fluxograma de procedimentos metodológicos aplicados.



Fonte: Autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapeamento de Susceptibilidade à Inundação

Os produtos temáticos elaborados e utilizados para geração de áreas susceptíveis aos riscos de inundações da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, são apresentadas na Figura 4. A sobreposição dessas variáveis e a combinação das notas atribuídas a cada classe e dos pesos identificados para cada tema permitiram estabelecer o diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade ambiental da bacia.

No intuito de identificar e analisar as áreas de risco à inundação, dividiu-se a área da bacia de Zambeze em três classes quanto a esse risco, variando de baixo, médio e alto, conforme a figura 4. Foi possível identificar as áreas da bacia que são susceptíveis a processos de inundações. A bacia possui uma área de aproximadamente 25.348,59 km², desta área 6,9% (1.752,82 km²)

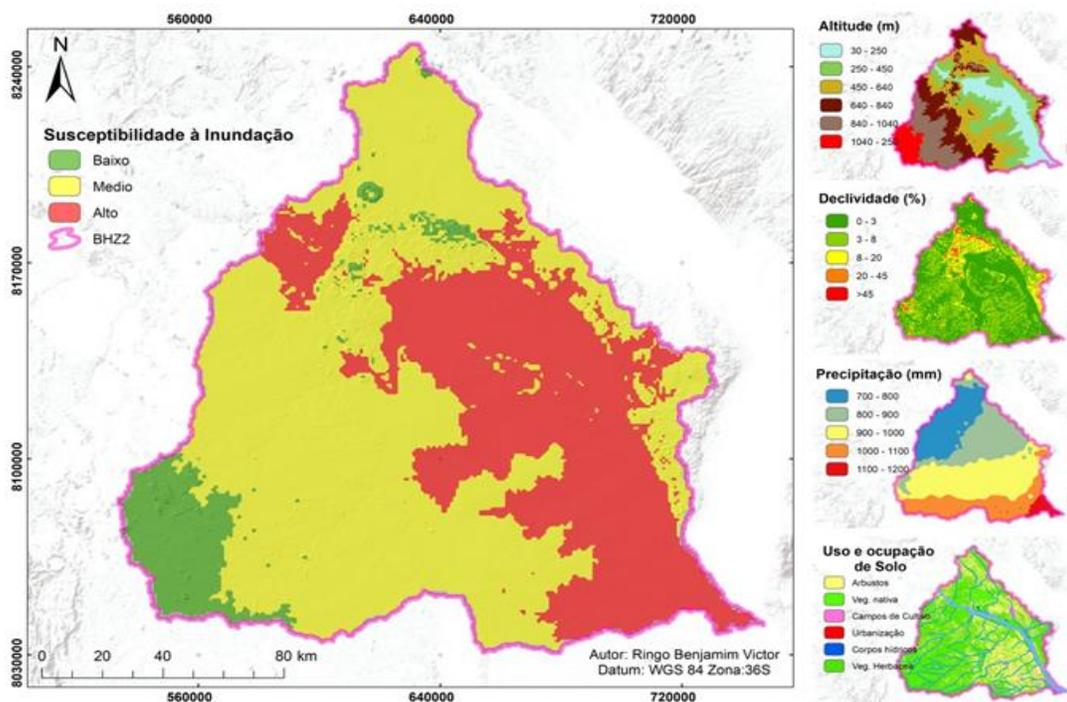
enquadraram-se na classe de baixo risco, 58,75% (14.893,06 km²) de médio risco e finalmente 34,33% (8.702,71 km²) de alto risco.

Tabela 2: Categorias de áreas susceptíveis á risco de inundação

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Baixo	1.752,82	6,9
Médio	14.893,06	58,75
Alto	8.702,71	34,33
Total	25.348,59	100

Fonte: Autores (2022).

Figura 4. Mapa de Susceptibilidade à risco de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2.



Fonte: Victor, 2022.

Com base na tabela 2, percebe-se que as áreas consideradas como de alto risco de susceptibilidade à inundação estão concentradas, principalmente nas regiões mais baixas da bacia (altitude menor que 250 m) e com declividade menor, isto é, plano (0 a 3%) e suave ondulado (3 a 8 %). Nessas áreas concentram-se muitos assentamentos humanos, os quais impedem que ocorra infiltração de água de chuva no solo. Apesar dessas áreas estarem localizadas maioritariamente em



solos considerados bem drenados, percebe-se que à baixa declividade intensifica de forma significativa o grau de risco a inundação, uma vez que a água tende a escoar e acumular-se nestas regiões com maior intensidade por falta de áreas permeáveis. Ademais, a supressão da biomassa vegetal nestes locais, acelera a acumulação das águas decorrentes de inundação.

A menor declividade confere às áreas diminuição da capacidade de escoamento da água por consequência do maior tempo de retenção e acúmulo. Segundo quanto maior a altitude e declividade, menos suscetível é a área à ocorrência de inundações (RUDARI et al., 2014, p. 432).

A classe de risco médio se concentra em espaços com declividades onduladas (8 a 20%), e em altitude acima de 1000 metros e com variação do tipo de solo e precipitação. Contudo observamos que a existência de área não edificada contribui para permeabilidade nesses locais, diminuindo assim a susceptibilidade à ocorrência de inundação. A classe de baixo risco situa-se em áreas com declividades fortemente ondulado a escarpado e/ou montanhoso (20 a 40% e de 40 a 75%), em altitude acima de 1200 m, espaços não edificadas e com cobertura vegetal. Por apresentarem baixo índice de permeabilidade e relevo montanhosos e com elevado pendora, nessas áreas a possibilidade de haver inundação é totalmente inexistente. Entretanto, tais áreas podem se tornar geradoras potenciais de fluxo superficial.

Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2

A análise morfométrica de uma bacia hidrográfica é efetivada por meio de cálculos de parâmetros morfométricos que são classificados segundo Christofolletti (1980) citado por Leite et al., (2012, p. 683) em lineares, zonais e hipsométricos. A escolha dos mesmos é baseada naqueles que mais condizem a realidade da bacia a estudar. Os parâmetros aplicados no presente estudo, são apresentados na tabela 3.



Tabela 3. Descrição dos parâmetros morfométricos calculados para Bacia Hidrográfica do Zambeze2

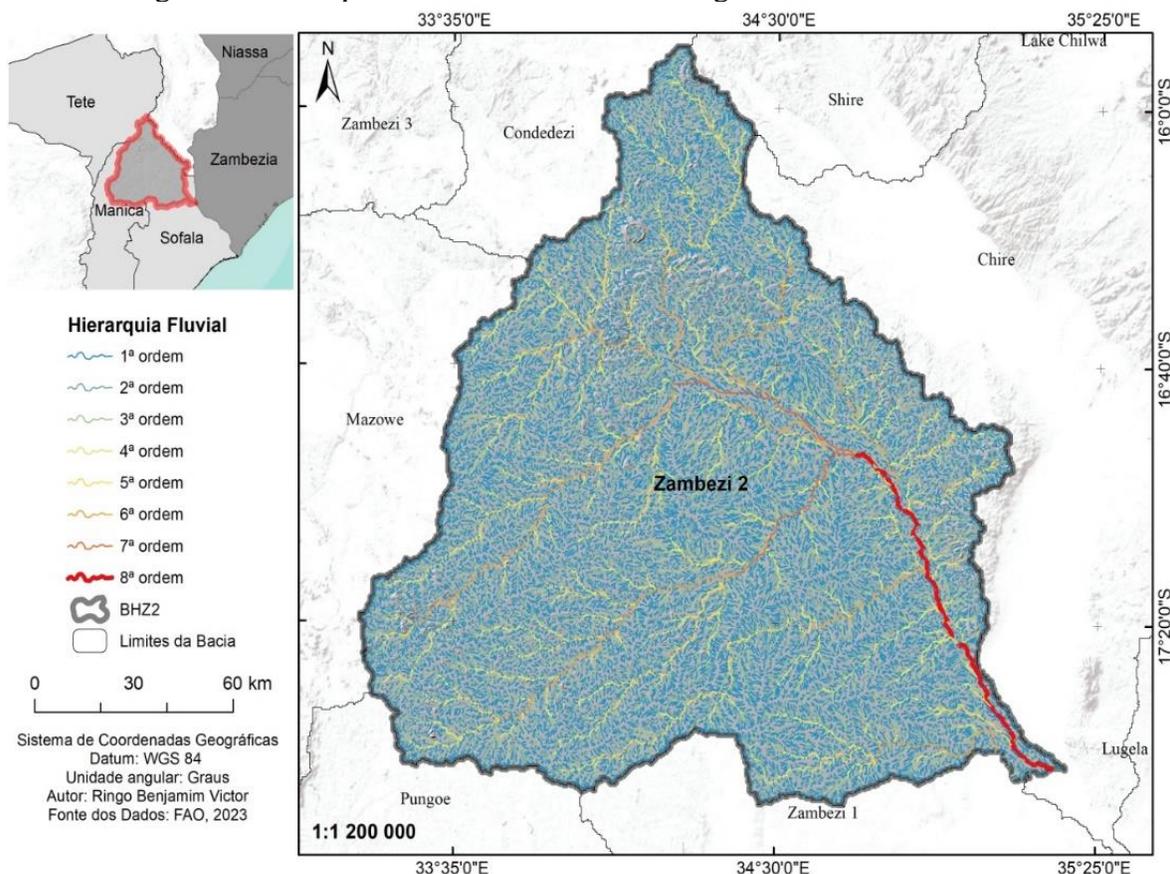
Parâmetro	Forma	Objectivos	Tendência a enchentes
Área da Bacia		É a área total projectada sobre um plano horizontal, da área de contribuição de escoamento para a determinada ordem, e incluindo todos os tributários de ordem inferior.	-----
Perímetro	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Projecção horizontal da linha que contorna o divisor de águas.	-----
Densidade de Drenagem		Soma de comprimento dos canais, em que se verifica a velocidade da drenagem.	5,0 km/km ² = baixa 5,0 – 13,5 km/km ² = média 13,5 – 155,5 km/km ² = alta > 155,5 km/km ² = muito alta
Densidade dos rios (Dr), ou densidade hidrográfica (Dh)	$Dr/Dh = \frac{N}{A}$	Compara a frequência de cursos de água e estima a capacidade de gerar novos cursos de água.	<3 = baixa 3 – 7 = média 7 – 15 = alta >15 = muito alta
Factor Forma Kf	$Kf = \frac{A}{L_2}$	Relação entre largura e comprimento para avaliação de geometria.	≥ 0,75 = alta 0,75 – 0,50 = média ≤ 0,50 = baixa
Índice de Circularidade Ic	$Ic = \frac{12,57 * A}{P^2}$	Quanto mais próximo do valor 1, maior a circularidade e mais sujeita a inundações.	> 0,51 = alta 0,51 = média < 0,51 = baixa
Ordem do rio	-----	A ordem dos rios é uma classificação que reflecte o grau de ramificação dentro de uma bacia.	-----

Fonte: Adaptado de Cherem (2008); Franco & Santo (2015) & Gerber et al. (2018).

Os resultados mostram que a Bacia do Rio Zambeze 2 tem uma área de drenagem de 26.070Km² e um perímetro de 1104 km. O sistema de drenagem foi classificado como sendo da oitava (8ª) ordem, o que lhe confere um nível de eficiência elevado considerando os critérios de Strahler (1957), pois, quanto mais ramificada a rede, mais eficiente será o sistema (Figura 5).

A Bacia Hidrográfica do Zambeze 2 apresentou uma densidade de drenagem igual a 1,45 canais/Km². Santos & Targa et al., (2012), consideram que o valor que vai até 0,5 demonstra a baixa densidade; de 0,5 a 2,00 média; 2,01 a 3,50 alta; e valores superiores a 3,50 como densidade de drenagem muito alta. No entanto, fica evidente que a bacia do Zambeze 2 tem capacidade mediana de drenagem. A densidade de rios (*stream frequency*) significa a quantidade de rios por unidade de área (CHRISTOFOLETTI & OKA-FIORI, 1980, p. 12; SOUZA e PADILHA, 2005, p. 61). Em relação a densidade hidrográfica ou de rios, o valor encontrado foi de 0,73 em gerar novos eflúvios em função das variáveis geomorfológicas, geológicas, vegetacionais, climáticas e hidrológicas. O valor evidencia que a bacia tende para uma baixa frequência de gerar novos. Esse parâmetro ao se analisar deve ser subsidiado com estudos relacionados a geologia ou/e hidrogeologia da área estudada.

Figura 5. Hierarquia de canais da Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2



Fonte: Autores (2022).



A despeito do Índice de Circularidade, a bacia evidenciou 0,26, o que demonstra uma bacia de formato alongado. O índice encontrado não favorece a ocorrência de inundações e cheias. Não só por esse facto, mais também por colaborar com a densidade de drenagem. Alves & Castro (2003); Veiga & Santos et al., (2013, p. 131) *apud* Félix e Souza (2017, p. 82) esclarecem que esse parâmetro indica uma bacia mais alongada (com índice abaixo de 0,51) o que favorece o escoamento. Se estiver acima de 0,51, a bacia tem forma geométrica mais circular com escoamento reduzido e alta probabilidade de inundações e cheias. Esses resultados ao denotarem a existência de uma bacia com formato alongado propiciam tendências baixas a médias a enchentes (Tabela 4). De acordo com Villela e Matos (1975, p. 12), ao comparar uma bacia de formato alongado com uma bacia de formato circular, ambas com a mesma área, verifica-se que a primeira é menos suscetível a enchentes, por haver menor probabilidade de ocorrência de chuva simultaneamente em toda área. O parâmetro Fator Forma também conhecido como fator de Gravellius, de acordo com Vilella & Mattos (1975, p. 13) é expresso como sendo a razão entre a área da bacia (A) e o comprimento axial (L) da mesma. Este parâmetro varia entre 0,50, para bacias de baixa propensão a enchentes, de 0,50 a 0,75 média propensão e de 0,75 a 1,00 altamente propensa a grandes enchentes. O fator de forma encontrado na bacia em análise foi de 0,56, o que revela que a bacia tende à média propensão a inundações e cheias (Tabela 4). Assim, para os autores anteriormente citados, uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior.

Tabela 4: Dados e parâmetros morfométrico da Bacia Hidrográfica do Zambeze 2

Características morfométricas	Unidades	Formulas	Valores
Área	Km ²	**	26070
Perímetro	km	**	1104
Comprimento do Rio principal	km	**	218,70
Comprimento Total dos cursos de água (Lt)	km	**	37919,13
Extensão média de escoamento superficial (I)		$I = A/4Lt$	0,17
Densidade de Drenagem (Dd)	Km/km ²	$Dd = Lt/A$	1,45
Densidade de Rios (Dr)	Canais/km ²	$Dr = n / A$	0,73
Factor Forma (Kf)	---	$Kf = A/L^2$	0,56
Índice de Circularidade (Ic)	---	$Ic = 12,54*(A/P^2)$	0,26
Ordem da Bacia	---	--	8 ^a

Fonte: Autores (2023).



Análise da altitude, declividade, precipitação e uso do solo

A análise da altitude numa bacia hidrográfica torna-se pertinente porque exerce uma influência directa sobre os eventos climáticos (como a precipitação) e a cobertura vegetal. A bacia em estudo apresenta altitude mínima de 30 metros e máxima de 1040 metros. Como pode-se perceber a amplitude altimétrica é de 1010 m. Segundo Trentin e Robaina (2005) *apud* Reckziegel e Robaina (2006:5) o mapa hipsométrico tem fundamental importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude. No entanto, na parte norte e sudoeste a altitude oscila entre 640 e 840 com uma declividade de 3 a 20%, com relevo classificado de plano a fortemente ondulado e uma precipitação entre 700 e 900mm, que é a montante da bacia. Com uma vegetação arbustiva e nativa na parte norte e sudoeste, predomina igualmente a vegetação herbácea.

Na parte oriental e central predomina altitude que varia entre 30 e 450m com a declividade de 8 a 20%, com o relevo classificado como fortemente ondulado e elevadas somas pluviométricas que oscilam entre 800 e 1200mm, o que consubstancia a ocorrência de elevados escoamentos superficiais. Vale ressaltar ainda que além de predomínio de vegetação arbustiva e de campos de cultivos, notabiliza-se o processo de urbanização. Nessa porção, a relação entre o uso de solo, a retirada da cobertura vegetal para dar lugar a urbanização e atividades agropecuárias, favorece a potencial erosivo da bacia.

Cardoso, Dias, et al., (2006) *apud* Félix e Souza (2017, p. 84) destacam que a cobertura vegetal exerce função de interceptação⁵ e redistribuição das águas pluviais, sendo que sua remoção pode desencadear processos erosivos sistêmicos que degradam o ambiente, expandindo dos pontos de ruptura (drenagens acentuadas e concentradas em áreas de declives) a áreas adjacentes. E essa situação exacerba-se porque na mesma área há abundância da precipitação. Na mesma perspectiva, os autores anteriormente citados, afirmam que em bacia onde a variação anual da precipitação oscila entre 1000 e 1500 mm, o regime hidrológico apresenta uma intermitência pluviométrica que associada a intensa distribuição da rede de drenagem (densidade dos rios e canais), picos de cheias

⁵ Refere-se a parcela total da precipitação que é impedida de atingir diretamente o solo devido a presença da cobertura vegetal, o que reduz a probabilidade de formação de ravinas ou sulcos.



(intensidade da vazão e escoamento superficial) e variação altimétrica provoca e acelera processos erosivos.

Na porção central a declividade oscila entre 0 e 8% com predominância de relevo plano e suave ondulado a moderado, com uma precipitação que varia entre 800 a 1000 mm. Coincidentemente, a mesma apresenta características semelhantes com a parte oriental, comportando-se com a intensificação das atividades antrópicas e uma vegetação nativa rarefeita. A altitude varia entre 30 e 250m, o que favorece a ocorrências de inundações e cheias em caso de precipitações intensas, que além disso, é exacerbado pelo aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração de água no perfil do solo. Por outro lado, a porção sudoeste e noroeste da bacia, a altitude varia entre 840 a 1040 m, por sinal, é a porção com altimetria mais acentuada. A declividade varia entre 8 e 45%, com predomínio de relevo fortemente ondulado com tendência a montanhoso. Diferentemente de outras áreas da bacia, nessa há predomínio da vegetação herbácea e nativa, o que favorece a infiltração e percolação. Refira-se que a precipitação é inferior a 1100 mm.

CONCLUSÕES

Do estudo efectuado constatam-se as seguintes ilações:

- 1) O mapeamento de áreas susceptíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze 2, cobriu numa área de drenagem de 26.070km². Neste, indicou o predomínio de classe de risco médio com 14.893,06 km² (58,75%), seguindo-se de área de alto risco com 8.702,71 km² (34,33%) e, por último, áreas de baixo risco com 1.752,82 km² (6,9%).
- 2) Com base na análise morfométrica, a bacia é de oitava (8^a) ordem. O fator de forma (0,56), o índice de circularidade (0,26), a densidade de drenagem (1,45) e densidade de canais (0,73) demonstraram que a bacia hidrográfica em estudo exibiu um formato alongado, contribuindo, para baixa à média susceptibilidade à ocorrência de inundações e cheias.
- 3) A área de estudo sofre profundas transformações paisagísticas de uso e ocupação das terras, pois a desflorestação crescente, a agropecuária, sucessão urbana que não obedecem princípios ambientais e as queimadas reduzem significativamente a biomassa vegetal, impelindo assim na menor permeabilidade dos solos e, por conseguinte, as inundações recorrentes.



- 4) O monitoramento e fiscalização por parte das instituições de tutela, deve ser materializada, por forma a assegurar urbanização compatível a legislação ambiental vigente no país (Lei de Terras, Lei nº 19/97 De 1 de Outubro e a Lei do Ambiente, Lei nº 20/97 De 1 de Outubro), assegurando deste modo, que não haja sobreposição dos assentamento humanos nas Zonas de Protecção Parciais.
- 5) A partir desse mapeamento, os gestores públicos de maneira geral poderão tomar medidas preventivas a inundações, bem como, o estabelecimento de critérios rigorosos de uso e ocupação das terras a fim de se garantir a ocupação segura do espaço físico.
- 6) Nas áreas determinadas como de alto e médio risco de susceptibilidade às inundações, devem ser implementadas ações que evitem a ocupação ou estabeleçam nesses locais um uso restrito. Em alguns casos reassentamentos devem ser avaliados, enfatizando nesse processo a participação da população envolvida, no planeamento das ações.
- 7) Como recomendação para futuros trabalhos fica a elaboração de mapas de uso e ocupação das terras e de aptidão agrícola, com informações mais detalhadas da área, para ulterior utilização pelas comunidades locais.

REFERÊNCIAS

ALI, Sk Ajim et all. GIS-based comparative assessment of floodsusceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: A case of Topla basin, Slovakia. **Ecological Indicators**,117 [Online] 1066202. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>

AHMAD, R.; MCCALPIN, J. **Landslide susceptibility maps for the Kingston Metropolitan area, Jamaica with notes on their use**. UDS Publication, n. 5, 1999, 25 p.

AFONSO, R. S., Marques, J. M., & Ferrara, M. **A evolução geológica de Moçambique**. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, 1998.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia; 2006.

CAMPOS, S, J, A, M. **Cartas de suscetibilidade à inundaçãõ. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 9º, 2015, Cuiabá, MT**. Anais. Artigo, 51. p 1-8.



CHEREM, L.F.S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto do Rio das Velhas – MG.** xii, 110 f., Minas Gerais, 2008.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: SAE/INPE. 2001.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi,** Florianópolis - SC. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82704>.

DANO, U.; et al. **Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: a case study of Perlis, Malaysia.** Water, v. 11, n. 3, p. 615, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11030615>.

DEFESA CIVIL NACIONAL. **Manual de Desastres. Ministério do planejamento e orçamento.** Brasília, 1996.

DNG (DIRECÇÃO NACIONAL DE GEOLOGIA). Angónia: Folha Geológica N° 1633 folha no1633, Escala 1:250.000. MRM/DNG, Maputo, 2006.

ECKSTEIN, David et al., **Global Climate Risk Index 2021: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2019 and 200- 2019.** GermanWatch. Berlin. 2021.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FÉLIX, E.A & Souza, C.A. **Levantamento e análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Cabaçal-MT, 2017.** XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – Campinas SP. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.1779-ISBN 978-85-85369-16-3.

FRANCO, A. C. V & Santo, M. A. D. **Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves/SC,** 2015. Mercator, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 151-167, set./dez. 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1403.

GERBERL, D. et al. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí – Santa Catarina.** Acta Biológica Catarinense. 2018 Jan-Jun;5(1):72-8.



GOMES, M. A. SANTANA, F. C.; RIBEIRO, W. G. R.; PAULINO, G, M. **Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de João Monlevade – MG, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas.** In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, V, Belo Horizonte. 2014. p 1-8.

GONÇALVES, Nivea M. Miranda. **Análise Espacial da Suscetibilidade à Inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá – MT.** Florianópolis, 2016. TCC (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

HIPÓLITO, J. R., & Vaz, Á. C. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** L. Pedro, Ed.; 3a Edição, 2017.

INAM- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados Climáticos de Tete, 2020.** Maputo, 2022.

JULIÃO, R. P. et al; **Guia Metodológico para Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base Municipal.** Porto/Portugal: Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2009.

KANG, M.S. et al. **Estimating desing floods based on the critical storm duration for small watersheds.** Journal of Hydro-environment Research, v. 7, p. 209-218, 2013.

LEITE, M.E. et al., **Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da bacia do Rio Pacuí/MG, 2012.** In: Revista Brasileira de Cartografia, N0 64/5, p. 677-691, 2012.

MACHADO, G. Souza, J.O.P. **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio chôco – IBAITI - PR , 2005.** Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo.

MAGALHÃES, I. A. L.; et al. **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, nov. 2011, p. 63-70.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 2. p. 57-111.

MINAP (MINISTÉRIO DE AGRICULTURA E PESCA). **Lei do Ambiente. Lei nº 20/97 De 1 de Outubro.** Maputo, 1997.



MINAP (MINISTÉRIO DE AGRICULTURA E PESCA). **Lei de Terras. Lei nº 19/97 De 1 de Outubro.** Maputo, 1997.

OLIVEIRA, G. C.; et al. **Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após 20 anos de manejo e cultivo do solo.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 28, p. 335-344, 2004.

OLIVEIRA, G. G. & GUASSELLI, L. A. **Relação entre a Susceptibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 5-15, mar. 2011.

OLIVEIRA, G. G. de; SALDANHA, D.L.; GUASSELLI, L. A. **Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí/RS.** Geociências, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 413-427, 2010.

OLIVEIRA, Hugo L. Chaves et al., **Mapeamento de Suscetibilidade à Inundação utilizando o Método da Razão de Frequência Aplicado à Bacia do Riacho Fundo - Distrito Federal.** In: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). Gesta, vol. 9, n. 1- Chaves, Costa Koide et al. p. 148-166, 2021, ISSN: 2317- 563X.

RECKZIEGEL, E. W. & ROBAINA, L. E. de S. **Estudo de Parâmetros Morfométricos do Relevo e da Rede de Drenagem da Área Situada entre os Rios Jaguari e Ibicuí no Município de São Vicente do Sul – RS.** 2006. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. Goianias, 6 a 10 de Setembro de 2006.

RIBEIRO, Daniel e DOLORES, Silvia. **Gestão da Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Zambeze em Períodos Críticos.** Editora/Publicação: JA! Justiça ambiental FOE Moçambique, Maputo, 2011.

RUDARI, R.; GABELLANI, S.; DELOGU, F. **A simple model to map areas prone to surface water flooding.** International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 10, p. 428-441, 2014.

SAMANTA, R. K et. al. **Flood susceptibility mapping using geospatial frequency ratio technique: a case study of Subarnarekha River Basin, India.** Modeling Earth Systems and Environment [Online], n.4, p. 395-408, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0427-z>.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática.** São Paulo/SP: Ed. Oficina de Textos, 2004.



SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 totais: aplicações para dados especiais**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.

SANTOS, A. M & Targa et al, M. S. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil, 2012**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>).

SOUZA, Célia Alves de & FÉLIX, Evandro André. **Levantamento e Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal-Mt**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. 28 de Junho a 02 de Julho. Instituto de Geociências- Unicamp, Campinas, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1. ed, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre: Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005. 269 p.

TUCCI, C, E, M; BERTONI, J, C (orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 25 agosto 2016.

VILLELA, S.M.; Mattos, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, New York, NY, US, 1980.

YALCIN, G.; AKYUREK, Z. **Analysing flood vulnerable areas with multicriteria evaluation**. In: ISPRS CONGRESS, 20., 2004, Istanbul. Proceedings...Istanbul-Turkey:ISPRS, 2004.p. 359-364. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/42739/24544>

ZÊZERE, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. **Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental**. *Apontamentos de Geografia*, C.E.G., 19, 1-17. 2006.



Agradecimentos

Os autores do presente artigo, agradecem à Comissão Europeia pelo financiamento do projeto Europeu Erasmus + HumACT - Humanitarian Action: Climate Changes and Displacements (Grant Agreement 619207-EPP-1-2020-1-PT-EPPKA2- CBHE-JP), no qual este artigo é parte integrante. Os nossos agradecimentos estendem-se, igualmente, à instituição coordenadora do projecto: o ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa, e às instituições parceiras: Universidade Púnguè, Universidade Rovuma, Universidade Pedagógica de Maputo, Universidade de São Tiago, Universidade de Cabo Verde e Universidade de Atenas, pela profícua cooperação.