

ANÁLISE MULTICRITERIAL DE DECISÃO APLICADA ÀS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO DO LENHEIRO – SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS

Thiago Gonçalves Santos¹

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)
São João del-Rei, MG, Brasil

André Barbosa Ribeiro Ferreira²

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Rio Claro, SP, Brasil

Sílvia Elena Ventorini³

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Rio Claro, SP, Brasil

Andréa Aparecida Zacharias⁴

Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Rio Claro, SP, Brasil

Ana Luísa Teixeira⁵

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)
São João del-Rei, MG, Brasil

Enviado em 20 nov. 2020 | Aceito em 9 mai. 2022

Resumo: O objetivo deste artigo é apresentar a aplicação da Análise Multicriterial de Decisão (AMD) e a Análise Hierárquica de Processos (AHP) para geração de um modelo de representação das áreas suscetíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro, em São João del-Rei, Minas Gerais. A modelagem foi elaborada por meio da álgebra dos mapas de declividade, hipsometria, densidade de drenagem, uso e cobertura da terra, os quais foram normalizadas entre 1 e 5. A partir disso, foram atribuídos níveis de influência, ou notas, aos mapas por meio da matriz de correlação da AHP. Os resultados do processamento foram quatro graus de suscetibilidade para a área de estudo, que variam de muito baixo a alto, conforme a localização e característica morfológica do terreno. Os resultados mostram-se importantes para modelar aspectos naturais e antrópicos em áreas urbanas, além de poderem ser aplicados em distintos fenômenos e variáveis em diferentes espaços.

Palavras-chave: Análise Hierárquica de Processos. Bacia hidrográfica. Cartografia de paisagens.

1. Mestre em Geografia (PPGeog/UFSJ), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5720-0260>, E-mail: thiaguim.13@gmail.com
2. Doutorando em Geografia (IGCE/UNESP-Rio Claro), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3041-4012>, E-mail: andreriibeirogeo@gmail.com
3. Doutora em Geografia (IGCE/UNESP-Rio Claro), Professora Associada I do Departamento de Geociências da UFSJ, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3783-3164>, E-mail: sventorini@ufsj.edu.br
4. Doutora em Geografia (IGCE/UNESP-Rio Claro), Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia do IGCE-UNESP, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9992-7927>, E-mail: andrezacharias9@gmail.com
5. Mestranda em Geografia (PPGeog/UFSJ), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4381-9345>, E-mail: ana_luisateixeira@hotmail.com

MULTICRITERIAL DECISION ANALYSIS APPLIED TO AREAS SUSCEPTIBLE TO FLOODING IN THE CÓRREGO DO LENHEIRO BASIN – SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS

Abstract: This paper aims to present the application of Multicriterial Decision Analysis (MDA) and Hierarchical Process Analysis (AHP) to generate a representation model of areas susceptible to flooding in the Córrego do Lenheiro Hydrographic Basin, in São João del-Rei, Minas Gerais, Brazil. The modeling was elaborated through the algebra of maps as slope, hypsometry, drainage density, and land use, which were normalized between 1 and 5. The levels of influence, or grades, were assigned to the maps through the HPA correlation matrix. The processing results were four degrees of susceptibility for the study area, which vary from very low to high, according to the location and morphological characteristics of the terrain. The results are essential to model natural and anthropic aspects in urban areas. They can be used and applied, also, to model different phenomena and variables in other spaces.

Keywords: Hierarchical Process Analysis. Watershed. Landscape cartography.

ANÁLISIS MULTICRITERIO DE DECISIÓN APLICADO A ÁREAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL CÓRREGO DO LENHEIRO – SÃO JOÃO DEL-REI, MINAS GERAIS

Resumen: El objetivo de este artículo es presentar la aplicación del Análisis Multicriterio de Decisión (AMD) y el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) para generar un modelo de representación de áreas susceptibles a la inundación en la Cuenca Hidrográfica Córrego do Lenheiro, en São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil. La modelación se elaboró a través del álgebra de mapas de pendientes, hipsometría, densidad de drenaje y uso y cobertura del suelo, los cuales se normalizaron entre 1 y 5. A partir de esto, se asignaron niveles de influencia o grados a los mapas mediante la matriz de correlación AHP. Los resultados del procesamiento fueron cuatro grados de susceptibilidad para el área de estudio, los cuales varían de muy bajo a alto, según la ubicación y características morfológicas del terreno. Los resultados son importantes para modelar aspectos naturales y antrópicos en las áreas urbanas, pueden ser utilizados y aplicados, todavía, para modelar fenómenos y variables distintos en diferentes espacios.

Palabras clave: Análisis Jerárquico de Procesos. Cuenca hidrográfica. Cartografía del paisaje.



Introdução

O período contemporâneo vem sendo marcado pela acentuação dos conflitos entre sociedade e natureza, os quais resultam, sobretudo, do rápido e desordenado processo de urbanização das cidades. Esse processo é um dos responsáveis pela modificação do equilíbrio e dinâmica de fenômenos naturais e resulta em impactos ambientais, prejuízos sociais, econômicos e perdas de vidas em diferentes regiões e países (GARCIA *et al.*, 2020; GIRÃO; CORRÊA, 2004; ZACHARIAS *et al.*, 2021). Diante disso, torna-se, cada vez mais, latente a importância do planejamento e de políticas de ordenamento territorial que preconizem a dinâmica da paisagem no cerne da prevenção e mitigação de desastres, como os ocasionados por inundações e enchentes urbanas (ZACHARIAS, 2015; ZACHARIAS; GUERRA, 2019).

Nesse sentido, White (1945) foi pioneiro na investigação das causas, efeitos e fatores que potencializam a ocorrência dos referidos fenômenos em áreas urbanas. Desde então, novas abordagens e ferramentas foram introduzidas na temática (SANTOS, 2017). Isso ocorreu, sobretudo após os avanços tecnológicos dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das ferramentas de geoprocessamentos (MATERANO; BRITO, 2020) que viabilizaram a elaboração de modelos de representação espacial dos diferentes graus de suscetibilidade aos fenômenos desencadeados em determinado espaço.

Estes modelos consistem, geralmente, na justaposição sistemática de informações integradas e características físicas da área analisada. Por esse motivo, a bacia hidrográfica torna-se o principal

recorte espacial dos estudos relacionados ao planejamento, pois é considerada a unidade básica de análise da paisagem e integra, de forma sistemática, características topográficas, hidrológicas, ecológicas, sociais, econômicas, culturais, dentre outras.

A modelagem dessas diferentes características e componentes pode ser efetuada, dentre outras maneiras, por meio da Análise Multicriterial de Decisão (AMD). Esta é amplamente utilizada para tomadas de decisões complexas e para a análise de fenômenos baseados em informações de mapas temáticos (WANG, *et al.*, 2011; BATHRELLOS *et al.*, 2011; CHOWDARY *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2014; OGATO *et al.*, 2020).

Neste caso, a AMD consiste em uma metodologia que permite relacionar diferentes variáveis, como o uso da terra, a declividade, o sistema de drenagem e outras informações sobre aspectos naturais e antrópicos por meio da atribuição de influências nos mapas e valores numéricos (pesos) em suas classes. Os critérios para a determinação dessas influências e pesos têm como base testes preliminares, conhecimentos científicos de especialistas, informações primárias e secundárias, dentre outros (GIGOVIC *et al.*, 2009; RIMBA *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020; MATERANO; BRITO, 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é apresentar a aplicação da AMD para geração do modelo de suscetibilidade à inundação tendo como área de aplicação uma Bacia Hidrográfica. A fundamentação teórico-metodológica foi baseada na aplicação de álgebra de mapas em ambiente SIG e no uso da Análise Hierárquica de Processos (AHP).

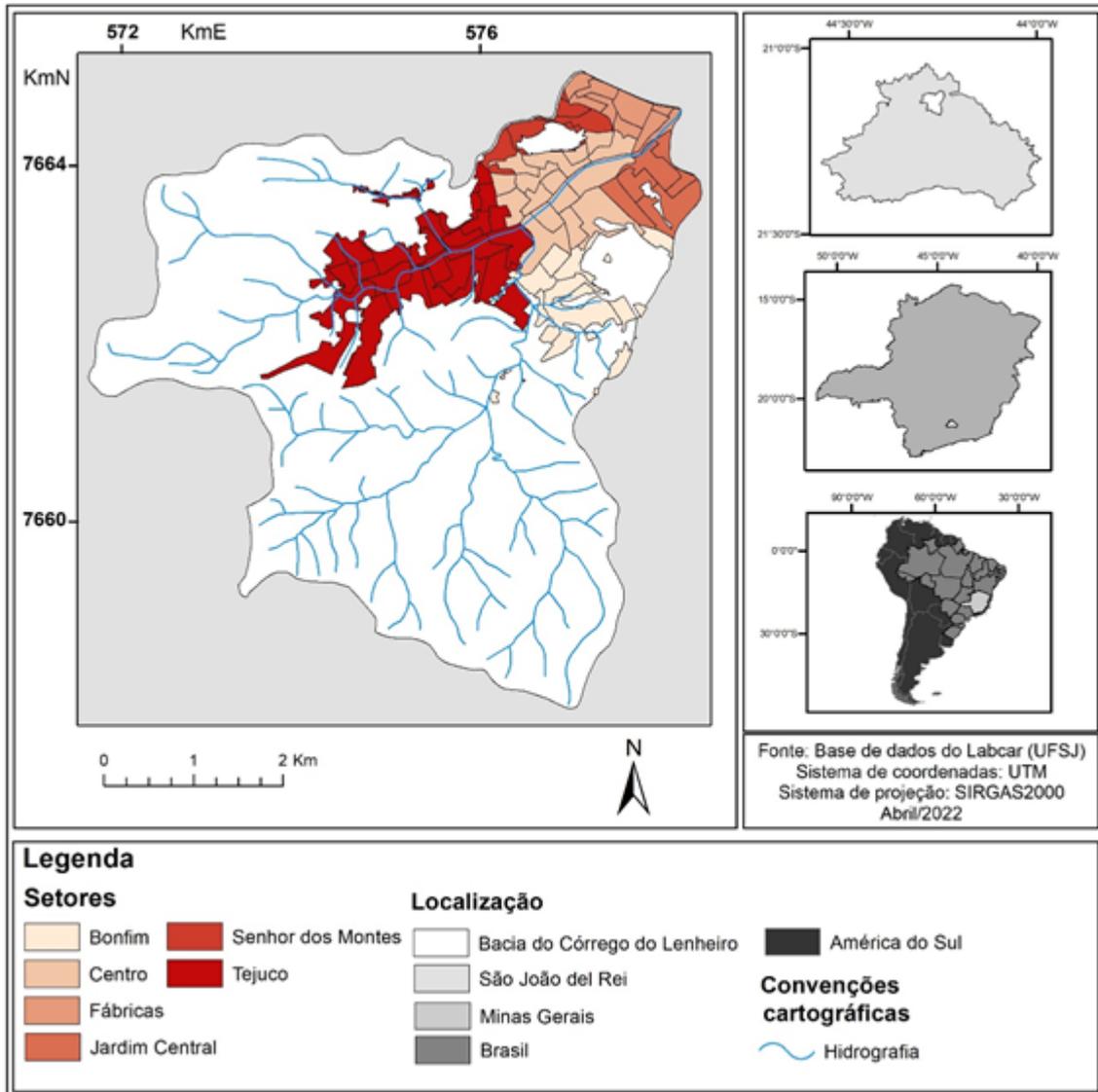
Materiais e Métodos

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro está localizada no município de São João del-Rei, Minas Gerais, entre as coordenadas UTM 572 a 578 KmE e 7658 a 7664 KmN (Figura 1). A área possui 27,592 km², amplitude altimétrica de 300 metros e declividades que variam de 0° a 72° (SANTOS, 2017). Na hierarquia fluvial (STRAHLER, 1959), em escala de 1:50.000, o canal principal ocupa a 5.^a ordem.

O clima regional é o tipo Cwa, conforme a classificação de Köppen-Geiger e apresenta, basicamente, dois regimes hídricos: um período de estiagem entre os meses de junho a agosto e um período chuvoso de outubro a março, o qual representa 80% do índice pluviométrico anual (IGAM, 2010). O mês de agosto é considerado o mais seco e apresenta precipitação média de 12 mm, enquanto dezembro é o mais chuvoso, com média de 302 mm. A temperatura média anual é de 20,1°C, fevereiro o mês mais quente e julho o mais frio, com médias de 22,8°C 16,7°C, respectivamente.

Figura 1- Localização da Bacia do Córrego do Lenheiro.



Fonte: Autores, 2022.

O uso e cobertura da terra é composto, em especial, por vegetação rasteira natural (31,7%), plantio agrícola (1,1%), pastagem (10,8%), campos rupestres (19,2%), solo exposto (2,6%) e mancha urbana (21,7%) (SANTOS, 2017). O número de habitantes residentes no limite da bacia é de, aproximadamente, 37.277 (IBGE, 2010), a infraestrutura urbana é precária quanto à captação de águas pluviais e não há rede de esgotamento sanitário em todos os bairros.

Base de dados cartográficos

Os pressupostos metodológicos baseiam-se na aplicação de modelagem por meio da AMD em SIG e da AHP, tendo como referência as investigações de Gigović *et al.*, (2009), Rimba *et al.* (2017), Hoang; Tran; Nguyen (2020); Ogato *et al.*, (2020), dentre outras.

A base cartográfica digital foi adquirida no Banco de Dados Geográficos e Cartográficos (BDGC) do Departamento de Geociências da Universidade Federal de São João del-Rei –MG. O material é composto por curvas de nível com equidistância de 20 metros, mapa de uso da terra, ano 2017, atualizado para o ano de 2020 por meio da imagem do satélite CBERS-4 (resolução espacial de 2 metros), mapa da hidrografia e limite da bacia. Para o processamento desses produtos foi utilizado o SIG *ArcGis*, na versão 10.7® e suas extensões (*ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*).

As bases vetoriais de curvas de nível e hidrografia foram analisadas e erros como quebras de linhas foram corrigidos. A partir da base topográfica gerou-se o Modelo Numérico de Terreno (MNT). A adoção da altimetria na modelagem da suscetibilidade às inundações ocorre devido à sua importância no controle do movimento, direção e extrapolação das águas de um canal fluvial, bem como o fluxo de escoamento na superfície (STIEGLITZ *et al.*, 1997; GIGOVIĆ *et al.*, 2009; OGATO *et al.*, 2020).

O MNT foi base para a elaboração do mapa de declividade, em que se optou pela unidade de medida em graus. Este atributo possui relação intrínseca com o escoamento e retenção das águas fluviais e pluviais (STIEGLITZ *et al.*, 1997; GIGOVIĆ, L. *et al.*, 2009; CASTRO, 2012; RIMBA *et al.*, 2017; OGATO *et al.*, 2020).

Os vetores da hidrografia e do limite da bacia foram utilizados para o processamento da Densidade de Drenagem. O processamento desse parâmetro foi efetuado a partir da função *Line Density*, do *ArcToolbox*. Essa ferramenta calcula a densidade de feições lineares na vizinhança de cada célula. Ou seja, o estimador considera que quanto maior a extensão de um ou mais canais fluviais dentro de uma determinada célula ou raio estabelecido, maior a densidade de drenagem dessa área. Às células desprovidas de vetores de hidrografia são atribuídos valores zerados. Desse modo, a Densidade de Drenagem foi aplicada à diversas porções da área contempladas pela rede de drenagem, não à bacia na totalidade, sem considerar as particularidades.

A utilização desse parâmetro morfométrico é essencial para a definição do potencial de escoamento superficial, pois é proporcional à velocidade com que a água precipitada atingirá os canais perenes de escoamento da bacia (DIAS, 2013). Além disso, este parâmetro possui influência na capacidade de erosão fluvial, transporte de sedimentos e dissecação do relevo, sendo inversamente proporcional à capacidade de infiltração das águas (CASTRO; CARVALHO, 2009; CECONI *et al.*, 2018; OGATO *et al.*, 2020). Assim, quanto maior a Densidade de Drenagem, maior a suscetibilidade de acúmulo do fluxo de escoamento e, conseqüentemente, a possibilidade de transbordamento.

O uso e cobertura da terra foi classificado a partir de chaves de fotointerpretação, tais como: cor, textura, rugosidade, tamanho e forma das feições. As classes geradas foram validadas em campo, bem como por inspeção visual no aplicativo *Google Earth-Pro*. As classes do mapa de uso e cobertura foram organizadas e nomeadas considerando critérios de alteração da dinâmica natural das águas, conforme ilustra o Quadro 1:

Quadro 1 - Organização da classe do mapa de uso e cobertura do solo

Classes mapeadas	Alteração da dinâmica natural das águas
Mata ciliar e vegetação rasteira.	Sem alteração (SA)
Plantação, pastagem e solo exposto.	Alteração moderada (AM)
Bairros inseridos nos Setores Censitários denominados Centro, Bonfim e Jardim Central.	Alteração intensa e infraestrutura adequada para a captação das águas fluviais e pluviais (AIIE)
Bairros inseridos nos Setores Censitários Tejuco, Senhor dos Montes e Fábricas.	Alteração intensa devido à impermeabilização do solo e à ausência de infraestrutura adequada para a captação das águas fluviais e pluviais (AIIA)
Área de extrapolação das águas ⁶ .	Área de extrapolação das águas do Córrego do Lenheiro (AEACL) com distância euclidiana de 130 metros medida a partir do Córrego do Lenheiro e em cada margem e ao longo deste.

Fonte: Autores, 2022.

Os mapas no formato vetor foram convertidos em raster e no mesmo tamanho do pixel de 10 metros na escala de 1:50.000 (OGATO *et al.*, 2020; MATERANO; BRITO, 2020).

Aplicação da AHP

A primeira etapa da aplicação da AHP (Quadro 2) consistiu na estruturação dos critérios hierarquizados com base em uma matriz de comparação pareada 4x4. Esses critérios corresponderam à quantidade de variáveis selecionadas e organizadas na mesma ordem de disposição sob forma de linhas (i) e colunas (j), cuja leitura obedece a este sentido e tem como parâmetro a classificação da AHP com valores de importância de 1 a 9 (SAATY, 2005, 2006, 2008; WOLFF, 2008; GIGOVIC *et al.*, 2009; VARGAS, 2010; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020).

Quadro 2 - Classificação da AHP

Análise Hierárquica de Processos (AHP)	
Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível (9).
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008, p. 86). Elaboração: Autores, 2022.

Geralmente, uma matriz de comparação pode ser compreendida pelo número de variáveis (n) em relação aos critérios analisados (C), em que o valor de comparação corresponde a a_{ij} obtido a partir da avaliação de qual variável é mais importante para um determinado objetivo. O processo de comparação gera relações recíprocas entre as variáveis, dado que se $a_{ij} = x$, então, $a_{ji} = 1/x$. Na diagonal da matriz, a comparação entre a mesma variável (linha/coluna) corresponde ao valor de 1 -

⁶ Esta área foi delimitada por um dos autores em pesquisa anterior (SANTOS; VENTORINI, 2017a; SANTOS, 2017) a partir de dados coletados em campo por meio de entrevistas com os moradores sobre os locais em que as águas atingem ruas e casas em períodos de chuvas intensas

importância igual. (SAATY, 2005, 2006; VARGAS, 2010; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020). A Tabela 1 indica matriz elaborada para a modelagem da Bacia do Córrego do Lenheiro.

Tabela 1 - Matriz de julgamento elaborada para a modelagem da Bacia do Córrego do Lenheiro

Critérios	Declividade	Uso da Terra	Densidade de Drenagem	Altimetria
Declividade	1	2	3	2
Uso da Terra	1/2	1	2	3
Densidade de Drenagem	1/3	1/2	1	2
Altimetria	1/2	1/3	1/2	1

Fonte: Autores, 2022.

As variáveis foram atribuídas com referência na literatura científica (FLORENZANO, 2008; HOANG; TRAN; NGUYEN, 2020; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2020; OGATO *et al.*, 2020; MATERANO; BRITO, 2020), Planos de Contingência, Proteção e Defesa Civil (DEFESA CIVIL, 2013, 2015), dados primários coletados em campo sobre os locais de ocorrências de inundações e dados secundários coletados na Defesa Civil para o período de 2016 a 2020.

Após elaborar a matriz de julgamento, a próxima etapa de avaliação foi a somatória dos valores obtidos pela comparação pareada. Inicialmente, somaram-se os julgamentos das variáveis n_j (soma das colunas) cujo resultado obtido permitiu realizar o processo de normalização da matriz, constituída pelos valores de cada linha em razão da somatória de cada coluna como apresenta a equação 1:

$$V_i = n_i / \sum n_j \quad (1)$$

Em que: V_i , corresponde ao valor de normalização; n_i o valor de cada linha e $\sum n_j$ corresponde ao somatório das colunas de cada variável.

A veracidade da matriz normalizada foi verificada a partir do somatório de todas as colunas, cujo resultado foi 1. Posteriormente, calculou-se o vetor de prioridade em porcentagem (%), realizando o somatório de todas as linhas da matriz, em que o resultado foi dado pela média aritmética entre os valores e expressa o percentual relativo das prioridades em relação ao objetivo de estudo. Ressalta-se que, nesta etapa, a somatória dos vetores de prioridade deve ser igual a 1, ou na transformação para porcentagem, igual a 100% (SAATY, 2005, 2006). A equação 2 ilustra esta etapa:

$$V_p = \sum a_i / n \quad (2)$$

Em que: V_p corresponde ao vetor de prioridades, $\sum a_i$ corresponde ao somatório das linhas normalizadas e n corresponde ao número de variáveis.

Os estudos que envolvem a tomada de decisões complexas oferecem, naturalmente, aos seres humanos significativas dificuldades de resolução, fato que torna fundamental a validação dos dados estatísticos em relação aos critérios de julgamentos, tornando os resultados coerentes e pertinentes (SAATY, 2005, 2006; RIBEIRO; ALVES, 2016; MATERANO; BRITO, 2020). Diante disso, Saaty (2005) propôs parâmetros para calcular a consistência dos valores atribuídos pelos julgamentos entre variáveis em uma matriz de comparação, onde se admite uma tolerância de 10% (0,10) para inconsistência. Para isso, calcula-se o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{Max}) que corresponde ao somatório das linhas da matriz normalizada ($\sum a_i$) pelo número (n) de variáveis julgadas. Com base nestes valores, calcula-se o Índice de Consistência (IC), conforme ilustra a equação 3.

$$IC = (\lambda_{Máx} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

A Razão de Consistência (RC) é dada pelo Índice Aleatório (IA) que corresponde aos valores dados à consistência de uma matriz recíproca gerada, aleatoriamente, em uma escala de 1 a 9 (Quadro 2), com valores idênticos às suas diagonais (onde o cruzamento corresponde à mesma variável), conforme indica a Tabela 2 (SAATY, 2006).

Tabela 2 - Índices aleatórios em matrizes para AHP

Tamanho da matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11
Valores aleatórios	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

Fonte: Adaptado de Saaty (2006, p. 4). Elaboração: Autores, 2022.

O valor de RC deve ser igual ou menor que 0,10 para ser validado estatisticamente. Resultados com valores diferentes exigem a revisão dos valores atribuídos na matriz de julgamento (equação 4).

$$RC = IC/IA \quad (4)$$

Após realizar todos os procedimentos descritos, foi efetuada a reclassificação dos atributos dos mapas com limite de 5 classes, as quais consideraram os graus de relação/importância destas com o fenômeno modelado: 1- muito baixa importância, 2 - baixa importância, 3 - média importância, 4 - alta importância, 5 - muito alta importância. (GIGOVIC *et al.*, 2009, RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2020; OGATO *et al.*, 2020).

Aplicação do método da Análise Multicritério de Decisão

Para a elaboração do modelo de áreas suscetíveis à inundação adotou-se a equação 5.

$$M = (MT_1 * IF_1) + (MT_2 * IF_2) + (MT_3 * IF_3) + (MT_4 * IF_4) \dots (MT_n * IF_n) / 100 \quad (5)$$

Em que: M representa o modelo desejado, MT o mapa temático e IF as influências (em %) resultantes da matriz de julgamento.

Para gerar o modelo, antes de submeter os mapas a ferramenta *Weighted Overlay* no ArcGis, suas classes foram agrupadas e reclassificadas recebendo valores numéricos de 1 até 5, na ordem de maior ou menor influência nas ocorrências de inundação (Tabela 3).

Tabela 3 - Atribuição de pesos as classes mapeadas

Mapa	Classes	Reclass	Pesos
Altimetria (m)	<900	5	5
	900 – 920	3	3
	920 – 1.215	1	1
Declividade (°)	0 – 5	5	5
	5 – 7	3	3
	7 – 71	1	1
Densidade de drenagem (km/km ²)	0 – 0,5	1	1
	0,5 – 3,0	2	2
	3,0 – 6,0	3	3
	6,0 – 10,0	4	4
	10,0 – 10,5	5	5
Uso e cobertura da terra	AS	1	1
	AM	2	2
	AIE	3	3
	AIIA	4	4
	AEEA	5	5

Fonte: Autores, 2022.

A validação do modelo foi efetuada por meio de informações primárias e secundárias. As primeiras corresponderam a trabalhos de campo realizados entre os anos de 2014 a 2019, registros fotográficos, observação e identificação de fatores naturais (confluência e margens dos rios, mata ciliar, escoamento rápido e lento) e antrópico-estruturais (ocupação em margens de rios, redução da capacidade de infiltração das águas naturais, obstáculos artificiais que retêm o escoamento das águas, descarte inadequado de resíduos, infraestrutura para coleta de águas pluviais e fluviais, infraestrutura para coleta de esgoto, retificação de rios, desmatamento da mata ciliar).

Já os dados secundários incluíram o Plano de Contingência da Defesa Civil Municipal (2013, 2015), registros de inundações da Defesa Civil Municipal para o período de 2016 a 2020 e o mapa digital com a setorização dos locais de risco muito alto e alto às ocorrências de inundações na cidade de São João del-Rei, elaborado e disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, no *website* <http://cprm.gov.br>.

Resultados

O resultado da aplicação da AHP para a modelagem das áreas de inundação na Bacia do Córrego do Lenheiro teve como objetivo a atribuição dos valores de influência em cada variável utilizada na álgebra de mapas. A Tabela 4 indica os valores de julgamentos da matriz normalizada e o vetor de prioridade correspondente. O autovalor da matriz ($\lambda_{\text{Máx}}$) permitiu estabelecer o índice e a razão de consistência (equações 4 e 5) que corresponde a 0,06 para ambos, demonstrando a consistência dos valores julgados inicialmente.

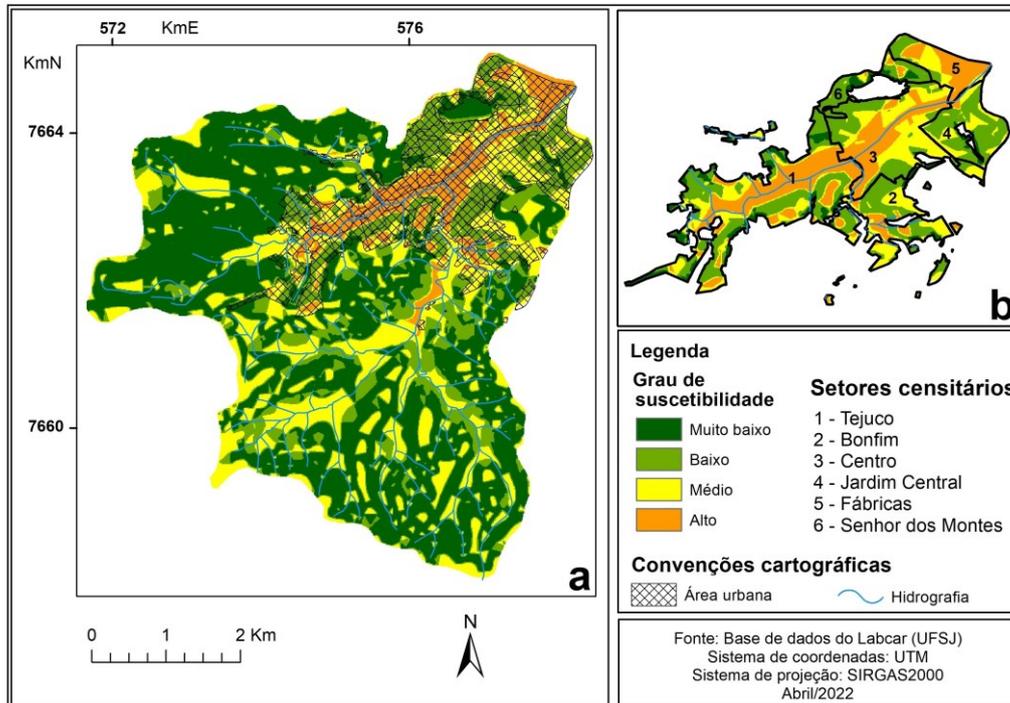
Tabela 4 - Normalização da matriz para o cálculo do vetor de prioridade

Crítérios	DEC	USO	DD	ALT	Vetor prioridade	Pesos (influências) (%)	Autovalor
DEC	0,429	0,522	0,462	0,250	0,415	41	4,221
USO	0,214	0,261	0,308	0,375	0,289	29	4,191
DD	0,143	0,130	0,154	0,250	0,169	17	4,159
ALT	0,214	0,087	0,077	0,125	0,126	13	4,091
$\lambda_{\text{Máx}}$							4,166

Elaboração: Autores, 2022.

A aplicação do método AMD com a reclassificação das classes dos mapas temáticos resultou em um modelo de representação dos graus de suscetibilidade, o qual vai de muito baixo a alto (Figura 2). O grau muito baixo corresponde a 45,2% da bacia e 5,9% da área urbana. Os terrenos inseridos nesta classe possuem declividade, predominantemente, acima de 7°, maior presença de cobertura vegetal do tipo pastagem e mata ciliar, densidade de drenagem baixa e muito baixa e altitude acima de 920m.

Figura 2 - Modelo das áreas suscetíveis às inundações:
(a) Bacia do Córrego do Lenheiro (b) área urbana



Fonte: Autores, 2022.

As áreas com baixo grau de suscetibilidade representam 23,2% do total da bacia e 38,3% do limite urbanizado. A ocorrência dessa classe está relacionada à predominância de declividades médias, as quais varia de 5° a 7°; altitudes acima de 920m, densidade de drenagem que varia entre baixa e média; e canais de ordem hierárquica baixa, entre 1 e 2. No perímetro urbano, a classe em questão contempla partes dos bairros inseridos nos Setores Censitários Tejuco, Bonfim, Centro, Jardim Central e Senhor dos Montes (números 1, 2, 3, 4 e 6 - Figura 2), os quais, apesar de não terem infraestrutura urbana satisfatória, situam-se em áreas com declividades acima de 7° e encontram-se distantes de corpos hídricos de ordem superior, reduzindo a suscetibilidade.

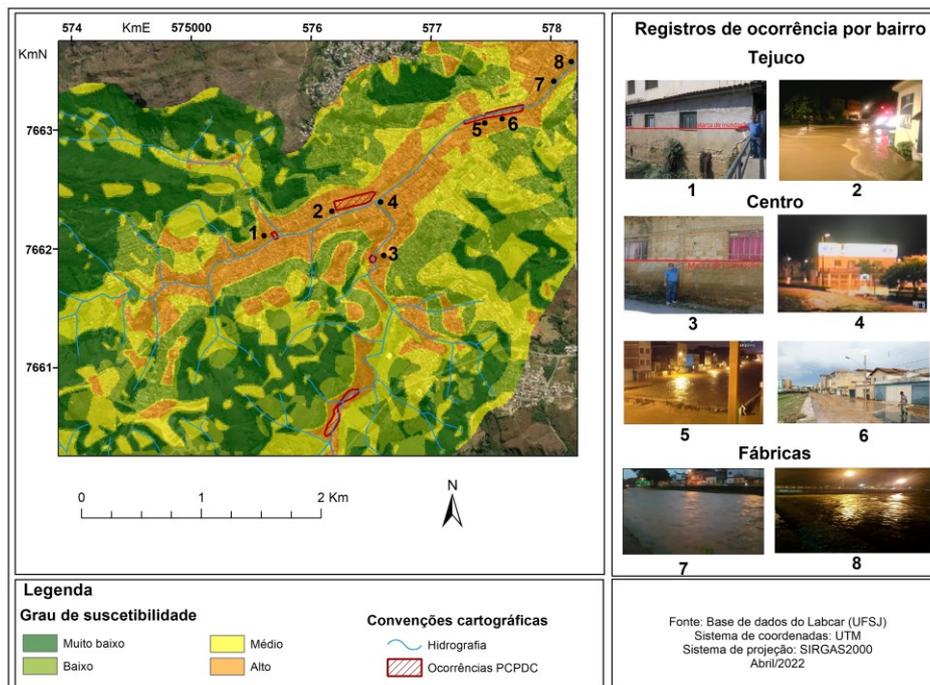
A classe de grau médio corresponde a 24,3% da bacia e 27,5% da área urbana. Neste domínio, há presença de cobertura vegetal e a infraestrutura urbana é mediana. Predominam altitudes acima 900m e, apesar da densidade de drenagem variar entre média e alta, a variação topográfica favorece o escoamento em detrimento ao acúmulo.

O grau de suscetibilidade alto concentra-se, principalmente, no médio e baixo curso dos dois canais principais que compõem a Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro (Córrego do Lenheiro e Rio Acima). A classe corresponde a 7% da bacia e a 28,2% da área urbanizada, o que é um indicativo de atenção. Essas áreas de alta suscetibilidade possuem altitudes que variam de cotas abaixo 900m até 920m, ou seja, são as seções mais baixas da bacia. Além disso, possuem declividades abaixo de 5.º e densidade de drenagem que varia de alta, na média encosta, à baixa, no terço inferior da bacia, onde há menor número de afluentes e maior proximidade com a mais próxima à foz.

Deste modo, considerando os atributos utilizados, não foram identificadas áreas com grau de suscetibilidade muito alto, o que corresponde ao grau 5. Esse resultado apresenta conformidade com as classes utilizadas pelo Plano de Contingência e Proteção da Defesa Civil na determinação do grau de risco, o qual é baseado apenas na recorrência de fenômenos e não nas características morfométricas.

Assim, a sobreposição desses resultados às delimitações estabelecidas pela Defesa Civil Municipal e Serviço Geológico mostra-se pertinente, visto que coincide com áreas as quais o órgão classifica como de alto risco⁷ (Figura 3). Além disso, a modelagem indica áreas não delimitadas pelos referidos órgãos. Nessas áreas, foram identificadas ocorrências de inundações que indicam a suscetibilidade destas, inferindo a possibilidade de um evento de inundações afetar a população inserida às margens do Córrego do Lenheiro (Quadro 3).

Figura 3 - Validação do modelo de áreas suscetíveis as inundações.



Fonte: Autores, 2022.

Quadro 3 - Histórico de inundações entre 2001 e 2020

PONTOS	SETORES	ANOS
1	Tejuco	2001, 2004, 2007, 2012, 2013,
2		2017, 2018, 2020
3	Centro	2007, 2013, 2017, 2018, 2019, 2020
4		
5		
6		
7	Fábricas	2001, 2004, 2007, 2012, 2013,
8		2017, 2018, 2019, 2020

Fonte: Defesa Civil, Mídia e registros particulares. Elaboração: Autores, 2022.

Por fim, o histórico e recorrência dos eventos indicam que o modelo e a atribuição dos pesos possuem pertinência e permitem representar a suscetibilidade ao fenômeno em macro escala, o que é compatível com as bases de 1:50.000 utilizadas nesta investigação.

⁷ Vide nota número 6.

Conclusões

A proposta de estudo consistiu em aplicar a Análise Multicriterial de Decisão e a Análise Hierárquica de Processos para a obtenção de um modelo de representação das áreas suscetíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro a partir de uma base cartográfica digital contendo mapas temáticos na escala de 1:50.000, ou seja, uma escala de reconhecimento.

Assim, o modelo resultante do processamento, apesar de não possuir riqueza de detalhe compatível aos estudos urbanos – escala de detalhe -, permitem a identificação de áreas suscetíveis à inundação. Nesse sentido, observa-se que, na totalidade da bacia, apenas 7% da área apresentou alta suscetibilidade, sendo, majoritariamente, unidades da paisagem que possuem baixa declividade e elevada densidade de drenagem. Entretanto, cerca de um terço da área urbana (28,2%) está localizada neste domínio. Portanto, o fato é um indicativo de que parte da população da cidade de São João del-Rei reside em área suscetível à inundação.

Além disso, a identificação de classes de média suscetibilidade na área total da bacia, sobretudo, no limite urbanizado, fornece indícios que a intervenção humana e a ausência de planejamento, em ambos os recortes espaciais, podem ampliar os graus de suscetibilidade.

Desse modo, acredita-se que esta pesquisa apresenta aporte inicial para futuros mapeamentos em escala de detalhe. Para isso, é necessário considerar, principalmente, as seguintes questões: a Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro é naturalmente propícia à ocorrência de inundações; o processo de urbanização tricentenário e a infraestrutura urbana disfuncional ou inadequada (sistema de drenagem insuficiente; impermeabilização exacerbada) contribuem para o aumento do pico de vazão, estrangulamento e transbordamento dos canais.

A partir disso, evidencia-se que o modelo elaborado pode ser considerado um importante produto cartográfico capaz de contribuir para o planejamento e gestão da bacia, visto que não há estudos de maior detalhamento para a cidade de São João del-Rei.

Por fim, ressalta-se que, ao aplicar os procedimentos metodológicos deste estudo em outros fenômenos e áreas, faz-se, igualmente, importante a validação dos mapas temáticos e da matriz de julgamento, conforme aqui aplicado.

Agradecimentos

O presente trabalho foi desenvolvido durante o período de concessão de bolsa de mestrado e doutorado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Universidade Federal de São João del-Rei (Programa Institucional de Iniciação Científica). Códigos de Financiamento: 88887.607668/2021-00 (Capes Mestrado); 88882.434000/2019-1 (Capes Doutorado) e 158062/2021-3 (CNPq Doutorado).

Referências

- ALMEIDA, G. P.; VENTORINI, S. E. (2014) Mapeamento participativo de áreas de risco a movimento de massa no bairro Senhor dos Montes – São João del-Rei, MG. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 79-93, (1). Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/7593>. Acesso em 17 mai. 2020.
- AUMOND, J. J.; LOCH, C.; COMIN, J. J. (2012) Abordagem sistêmica e o uso de modelos para recuperação de áreas degradadas. *Revista Árvore*, [s.l.], v. 36, n. 6, p. 1099-1118, dez. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000600011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n6/11.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- BATHRELLOS, G. D *et al.* (2011) Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters. *Environmental Earth Sciences*, [s.l.], v. 66, n. 2, p. 537-548, 4 ago. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1263-x>.
- BRASIL. (2007) Instituto de Pesquisa Tecnológica. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasília: Ministério das Cidades.
- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. (2009) Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena*, Aracaju, v. 5, n. 2, p. 1-7, jul. Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/623/284>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- CASTRO, J. F. M. (2012) *História da cartografia e cartografia sistemática*. Belo Horizonte: PUC Minas.
- CECONI, D. E. *et al.* (2018) Análise de vulnerabilidade visando o planejamento ambiental em bacia de captação para abastecimento público. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 1-22, dez.
- CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (1993) *Carta Topográfica, Escala 1: 2.000 - São João del-Rei. Região Sudeste do Brasil*: CEMIG: Belo Horizonte,
- CHOWDARY, V. M *et al.* (2013) Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. *Water Resour Manage* 27, 3555–3571. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0364-6>
- CHRISTOFOLETTI, A. (1979) *Análise de sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec/Edusp.
- DEFESA CIVIL. (2013) *Plano de contingência de proteção e defesa civil*. São João del-Rei, 159 p.
- DEFESA CIVIL. (2015) *Plano de contingência de proteção e defesa civil*. São João del-Rei, 159 p.
- DIAS, C. C. (2013) *Avaliação geoambiental da região do Médio Rio Grande*. 2013. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- DIAS, V. S. B.; SILVA, A. B. (2014) AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 66, p. 1363-1377, dez.. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44719/23733>. Acesso em: 21 abr. 2020.
- EMBRAPA. (2006) *Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campo das Vertentes – MG*, Rio de Janeiro.
- FLORENZANO, T. G. (2008) *Cartografia. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. p. 105–128.
- GARCIA, P. M. B *et al.* (2020) Índice geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano. *Mercator*, Fortaleza, v. 19, n. 2, p. 1-27. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator>. Acesso em: 14 de abr. 2020.
- GIGOVIC, L. *et al.* (2017) Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. *Water*, [s.l.], v. 9, n. 6, p. 1-26, 24. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9060360>.
- GIRÃO, O; CORREA, A. C. B. (2004) A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. *Revista de Geografia*. Recife, v. 21, n. 2, p. 36-58. Disponível em <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>. Acesso em: 14 abr. 2022.

- GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. (2009) Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente: estudo de caso em Muriaé – MG. *Revista Agrogeoambiental*, pp. 46 -52. Disponível em <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/>. Acesso em: 13 mai. 2020.
- GUO, E. *et al.* (2014) Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China. *Natural Hazards*, [s.l.], v. 74, n. 2, p. 947-965, 21 maio. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-014-1238-9>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266321954_Integrated_risk_assessment_of_flood_disaster_based_on_improved_set_pair_analysis_and_the_variable_fuzzy_set_theory_in_central_Liaoning_Province_China. Acesso em: 17 maio 2020.
- HOANG, V. D.; TRAN, H. T.; NGUYEN, T. T. (2020) A GIS-based Spatial Multi-criteria Approach for Flash Flood Risk Assessment in the Ngan Sau-Ngan Pho Mountainous River Basin, North Central of Vietnam. *Environment And Natural Resources Journal*, Thailand., v. 18, n. 2, p. 110-123. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/enrj/issue/view/16505/3826>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- HORTON, R. E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v. 56, n. 3, p. 275-370. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- IBGE. (2010) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: www.censo2010.ibge.gov.br. Acesso em: 20 mai. 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1975) *Carta Topográfica, Escala 1:50.000 São João del-Rei. Região Sudeste do Brasil*. 2. ed. Minas Gerais: IBGE. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=6401>. Acesso em: 25 jan. 2020.
- IGAM, *Instituto Mineiro de Gestão das Águas*. Disponível em: www.igam.mg.gov.br. Acesso em: 13 abr. 2020.
- MATERANO, L. S.; BRITO, J. L. S. (2020) Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do Rio Castán, estado Trujillo - Venezuela. *Caminhos de Geografia*, [s.l.], v. 21, n. 73, p. 86-97, 6 mar. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217347216>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/47216>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- MAUS, J. J *et al.* (2014) Análisis multicriterio y vulnerabilidad a la ocupación urbana: estudio de caso en la cuenca del Rio São Francisco Xavier -São João del-Rei - MG - Brasil. In: *Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica*, 2014, Buenos Aires. Logros y desafíos de la cartografía.
- OGATO, G. S. *et al.* (2020) Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, [s.l.], v. 27, p. 1-18, fev. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581819300801>. Acesso em: 16 abr. 2020.
- PÔSSA, E. M; VENTORINI, S. E. (2015) Mapeamento digital da bacia do córrego do Júlio – São João del-Rei - MG como suporte ao diagnóstico geoambiental. *Boletim de Geografia*, v. 33, p. 64-80.
- RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. (2015) Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 19 maio. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2015.1045043?needAccess=true>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. de. (2017) Construção de modelo no Qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico – AHP para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de Paracatu – MG. *Caminhos de Geografia*, [s.l.], v. 18, n. 61, p. 1-18, 30 mar. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg186101>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/31408>. Acesso em: 01 mai. 2020.

- RIBEIRO, M. C. de C. R.; ALVES, A. da S. (2016) Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. *Sistemas & Gestão*, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 270-281, 3 nov. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>. Disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/988/494>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- RIMBA, A *et. al.* (2017) Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. *Urban Science*, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 7, 28 jan. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/urbansci1010007>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313109466_Physical_Flood_Vulnerability_Mapping_Applying_Geospatial_Techniques_in_Okazaki_City_Aichi_Prefecture_Japan. Acesso em: 13 mai. 2020.
- SAATY, T. L. (2005) *Analytic Hierarchy Process. Encyclopedia of Biostatistics*, [s.l.], p. 1-9, 15 jul. John Wiley & Sons, Ltd. <http://dx.doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- SAATY, T. L. (2006) The Analytic Network Process. *Decision Making With The Analytic Network Process*, [s.l.], p. 1-26. Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-33987-6_1.
- SANTOS, T. G. (2017) *Modelagem como apoio ao planejamento urbano-ambiental e a redução de riscos na Bacia do Córrego do Lenheiro*. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Degeo, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2017.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. (2016) Análise multicritério: enchentes e inundações na Bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei – MG. In: *II SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 2.*, Juiz de Fora. Anais. Juiz de Fora: UFJF, 2016. p. 1517 - 1533.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. (2017a) Mapeamento digital das áreas propícias às enchentes e inundações na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei – MG. *Revista Percursos*, [s.l.], v. 18, n. 36, p. 95-124, 8 jan. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/1984724618362017095>. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/percursos/article/view/984724618362017095>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. (2017) Análise Multicritério: Modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do Córrego Do Lenheiro. *Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v. 9, n. 64, p. 1-18, dez. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40912/21635>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. (2018) Mapeamento de áreas suscetíveis aos desastres humanos de natureza na bacia do Córrego do Lenheiro, Minas Gerais, Brasil. *Revista Venezolana de Geografia*, Mérida, v. 59, n. 1, p. 162-181, jun. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/44700>. Acesso em: 16 mai. 2020.
- STIEGLITZ, M. *et al.* (1997) An Efficient Approach to Modeling the Topographic Control of Surface Hydrology for Regional and Global Climate Modeling. *Journal of Climate*, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 118-137, jan. *American Meteorological Society*. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)0102.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1997)0102.0.co;2).
- VARGAS, R.V. (2010) *Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio*. PMI Global Congress – América do Norte. Washington – EUA. Disponível em <https://ricardo-vargas.com/pt/downloads/download-file/6103/6816>. Acesso em: 27 abr. 2020.
- VENTORINI, S. E.; POSSA, E. M.; ALMEIDA, G. P. (2016) Mapeamento de situações de vulnerabilidades e riscos no processo de expansão urbana na bacia do Água Limpa. In: SEABRA, G. (Org.). *TERRA: Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver*. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, v. 1, p. 1318-1330.
- WANG, Y. *et al.* (2011) A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resour Manage* 25, 3465–3484. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>.

- WOLFF, C. S. (2008) *O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação*. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, PUC-RJ, Rio de Janeiro. Cap. 3. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_4.PDF. Acesso em: 27 abr. 2020.
- ZACHARIAS, A. A. (2015) Políticas de sustentabilidade municipal e a canalização da drenagem urbana: gestão ambiental que potencializa áreas vulneráveis aos riscos ambientais. In: FREITAS, M. I.; LOMBARDO, M. A.; ZACHARIAS, A. A. (Org.). *Vulnerabilidades riscos: reflexões e aplicações na análise do território*. Rio Claro: IGCE-CEAPLA- UNESP/Rio Claro. p. 95-114.
- ZACHARIAS, A. A.; GUERRA, F. C. (2019) A Cartografia de paisagens em áreas com vulnerabilidades aos riscos ambientais: reflexões e estudo de caso. In: DIAS, L. S; CHÁVEZ, E. S. (Org.) *Cartografia Biogeográfica e da Paisagem (Volume II)*. Editora ANAP. Associação Amigos da Natureza da Alta Paulistana. Tupã. p. 55-88.