

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

Mapeamento da suscetibilidade ao alagamento urbano usando abordagem AHP e SIG: um estudo de caso em Pirapora - MG

Breno Alcântara Silva¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9237-280X>

Marcus Vinícius Ramos de Souza² - Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-8484-6254>

¹ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Pirapora/MG, Brasil*

² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Pirapora/MG, Brasil**

Artigo recebido em 07/07/2025 e aceito em 08/10/2025

RESUMO

Os alagamentos recorrentes em áreas urbanas comprometem a infraestrutura, a qualidade de vida e a economia local. Com o objetivo de identificar e mitigar esses impactos, este estudo realizou o mapeamento de suscetibilidade a alagamentos no município de Pirapora - MG, utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram analisadas variáveis essenciais, como hipsometria, declividade, precipitação, tipo de solo, uso e ocupação do solo e geomorfologia, para avaliar a vulnerabilidade do território. Como resultado, foi gerado um mapa de suscetibilidade que indicou que 56,21% da área do município apresenta alta e muito alta suscetibilidade a alagamentos. Este trabalho fornece subsídios importantes para o planejamento urbano e a gestão de desastres na região, destacando a eficácia da integração entre AHP e SIG na análise de riscos.

Palavras-chave: alagamentos; suscetibilidade; planejamento urbano; desastres.

Urban waterlogging susceptibility mapping using AHP and GIS approach: a case study in Pirapora - MG

ABSTRACT

Recurrent waterlogging in urban areas compromises infrastructure, quality of life, and the local economy. To identify and mitigate these impacts, this study conducted a susceptibility mapping of waterlogging in the municipality of Pirapora, Minas Gerais, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) techniques. Key variables such as hypsometry, slope, rainfall, soil type, land use

* Mestre em Tecnologia, Ambiente e Sociedade (UFVJM), Professor do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG). E-mail: breno.silva@ifnmg.edu.br

** Estudante de Engenharia Civil do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG). E-mail: marcusramosdesouza@gmail.com



and occupation, and geomorphology were analyzed to assess the vulnerability of the territory. As a result, a susceptibility map was generated, indicating that 56.21% of the municipality's area has high and very high susceptibility to waterlogging. This study provides important insights for urban planning and disaster management in the region, highlighting the effectiveness of integrating AHP and GIS in risk analysis.

Keywords: waterlogging; susceptibility; urban planning; disasters.

Mapeo de la susceptibilidad a las inundaciones urbanas utilizando enfoques AHP y SIG: un estudio de caso en Pirapora - MG

RESUMEN

Las inundaciones recurrentes en áreas urbanas comprometen la infraestructura, la calidad de vida y la economía local. Con el objetivo de identificar y mitigar estos impactos, este estudio realizó un mapeo de susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Pirapora, Minas Gerais, utilizando el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se analizaron variables clave como hipsometría, pendiente, precipitación, tipo de suelo, uso y ocupación del suelo y geomorfología para evaluar la vulnerabilidad del territorio. Como resultado, se generó un mapa de susceptibilidad que indicó que el 56,21% del área del municipio presenta una susceptibilidad alta y muy alta a inundaciones. Este estudio proporciona información importante para la planificación urbana y la gestión de desastres en la región, destacando la eficacia de la integración entre AHP y SIG en el análisis de riesgos.

Palabras clave: inundaciones; susceptibilidad; planificación urbana; desastres.

INTRODUÇÃO

O município de Pirapora, localizado no estado de Minas Gerais, enfrenta recorrentes episódios de alagamentos que comprometem sua infraestrutura urbana e a qualidade de vida da população. Esses eventos resultam em danos materiais, prejuízos econômicos e impactos sociais significativos, afetando residências, comércio e vias públicas. Entre os fatores que contribuem para a intensificação do problema estão a impermeabilização do solo urbano, a insuficiência ou obstrução de sistemas de drenagem, a ocupação inadequada do solo e as características topográficas locais, como declives acentuados (Valente, 2009).

O desenvolvimento urbano acelerado, aliado à expansão desordenada das áreas urbanizadas, tem gerado uma série de impactos negativos devido às profundas transformações no uso e ocupação do solo ao longo do tempo. Entre esses impactos, destacam-se os alagamentos e enchentes, que são frequentemente agravados pelas mudanças no meio ambiente e nas dinâmicas do ciclo hidrológico (Mantis; Vaz, 2019).

Os alagamentos são um fenômeno urbano que ocorre em áreas onde a impermeabilização do solo impede a absorção adequada da água da chuva, resultando em um acúmulo momentâneo de águas em um dado local ou em uma grande área, e que pode ser agravada ou não por processos fluviais (Mantovani; Bacani, 2018; Mantis; Vaz, 2019). Eles se intensificam em locais com baixa declividade e onde as infraestruturas de drenagem estão obstruídas ou são insuficientes, gerando situações de desconforto e até riscos para a população local. A falta de planejamento e ocupação inadequada do solo são fatores que agravam essa situação (Valente, 2009).

Os alagamentos urbanos variam de eventos menores a incidentes graves, com cidades podendo ficar alagadas por horas ou dias, aumentando o risco em até três vezes em comparação com áreas rurais (Rafiq et al., 2016; Roy et al., 2021). Essas inundações causam impactos significativos, como evacuações temporárias, deterioração da qualidade da água, risco de epidemias e danos à infraestrutura municipal. Esses problemas afetam a paisagem urbana, geram perdas econômicas e ameaçam o desenvolvimento sustentável das cidades. Além disso, as mudanças climáticas agravam a situação, aumentando a variabilidade das chuvas e intensificando os efeitos negativos sobre a sociedade (Roy et al., 2021).

A identificação das variáveis que influenciam a suscetibilidade a alagamentos é imprescindível para subsidiar políticas públicas voltadas à gestão do território e à redução de riscos. O uso de ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS, permite a análise espacial e a elaboração de mapas temáticos que evidenciam áreas vulneráveis. Para a análise das variáveis, a aplicação do método AHP (Analytic Hierarchy Process) possibilita a hierarquização dos fatores envolvidos, através da atribuição de pesos, proporcionando uma abordagem estruturada para a priorização de medidas preventivas (Marins; Souza; Barros, 2009; Pereira et al., 2024).

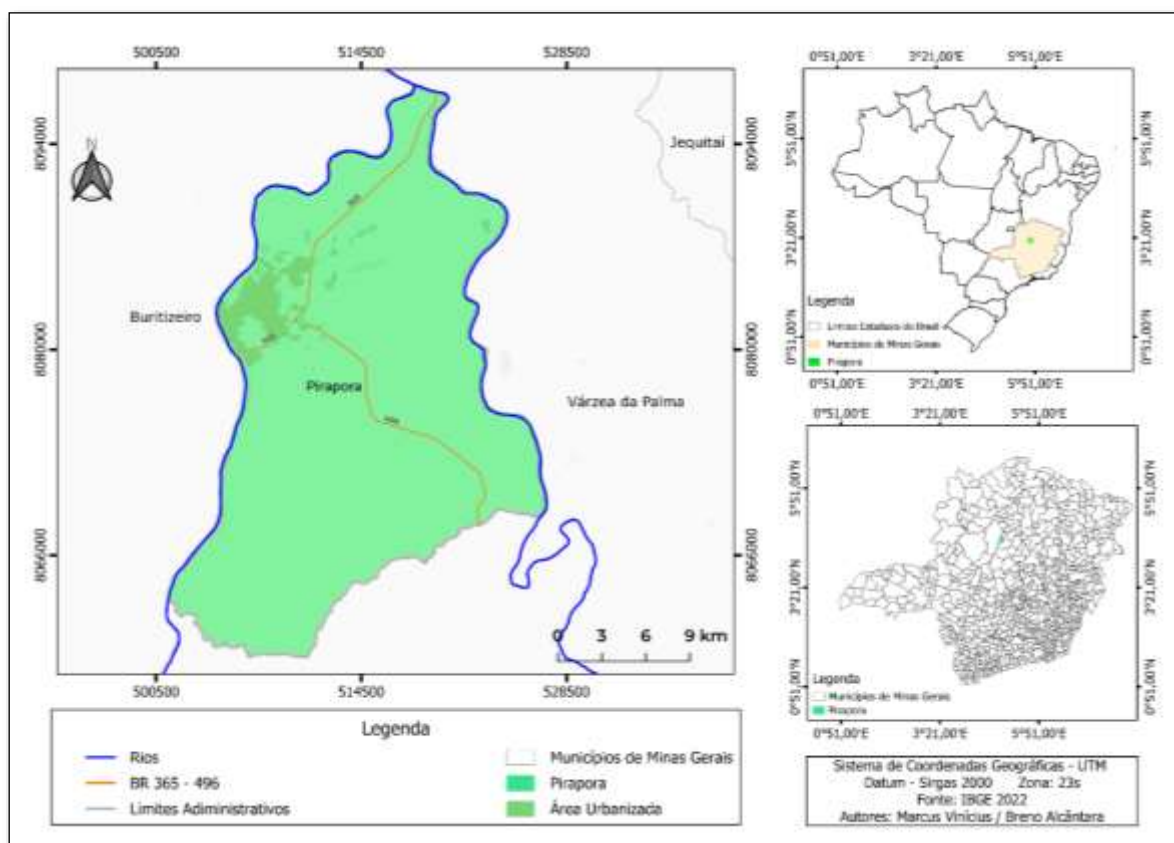
Este estudo tem como objetivo integrar técnicas de geoprocessamento e análise multicritério à gestão de riscos urbanos, com foco na criação de um mapa de suscetibilidade a alagamentos no município de Pirapora – MG, utilizando as variáveis: hipsometria, declividade, uso e ocupação do solo, precipitação, geomorfologia e tipo de solo. A partir da identificação e delimitação das áreas mais vulneráveis, busca-se fornecer subsídios técnicos para o planejamento urbano e a gestão de desastres, permitindo uma ocupação do solo mais segura e sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Pirapora, no norte de Minas Gerais, às margens do Rio São Francisco, é um município histórico de importância para a navegação fluvial. Fundada em 1911 como São Gonçalo das Tabocas, tornou-se cidade em 1912 e foi renomeada para Pirapora em 1923. O município possui uma área de 549,5 km² e uma população de 55.606 habitantes, resultando em uma densidade populacional de 102,7 hab/km² (IBGE, 2022). Suas regiões geográficas são 17° 20' 9" S e 44° 53' 53" O. A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município de Pirapora-MG.

Figura 1 – Pirapora - Mapa de localização - 2025



Fonte: Autores (2025).

Procedimentos metodológicos

Os métodos utilizados para a realização do estudo foram divididos em 6 etapas:

1. Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade a alagamentos

As variáveis condicionantes aos alagamentos foram selecionadas após análise de diversos estudos semelhantes, em nível nacional e internacional, disponíveis no portal de periódicos da CAPES e em outros bancos de dados de acesso aberto, usando o AHP e SIG como fonte de busca. De acordo com Hora e Gomes (2009) na identificação de áreas de risco utiliza-se da combinação de dados como a geologia, declividade, hipsometria, tipologias de ocupação e tipos de vegetação. Após essa análise, foram selecionadas as variáveis: hipsometria, declividade, solos, precipitação, uso e cobertura do solo e geomorfologia. As justificativas para o uso estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Fatores condicionantes aos alagamentos e suas justificativas

Variável	Justificativa
Hipsometria	Áreas de maior altitude têm menor probabilidade de alagamento, pois a água tende a se deslocar para regiões mais baixas devido à gravidade (Amaya et al., 2021; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022). O município de Pirapora possui uma altitude média de 630 metros, com variação entre 472 e 788 metros.
Declividade	O fator de declividade tem um papel importante na velocidade do escoamento superficial e na infiltração das águas precipitadas (Karymbalis et al., 2021; Olii; Olii; Pakaya, 2021; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022). A declividade do terreno afeta a acumulação de água, sendo que em regiões planas o risco de alagamentos é maior, enquanto em áreas com maiores inclinações a água escoar mais rapidamente (Magalhães et al., 2011). Em Pirapora, a declividade varia de 0% a 62%, com as maiores inclinações na região central e sul.
Solos	O tipo de solo influencia a infiltração e o escoamento da água, com solos argilosos aumentando o risco de alagamentos e solos arenosos facilitando a infiltração (Magalhães et al., 2011).
Precipitação	A precipitação é crucial nos alagamentos, pois chuvas intensas podem ultrapassar a capacidade de absorção do solo, resultando em acúmulo de água na superfície. Em áreas urbanas densas, os alagamentos são comuns, especialmente em chuvas rápidas e intensas (Wollman; Sartori, 2009).
Uso e Cobertura do Solo	Fatores como o movimento da água, infiltração no solo e a interação entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos são influenciados por superfícies impermeáveis, como asfalto, que reduzem a infiltração e aumentam o acúmulo de água. Já áreas com cobertura florestal e solos menos compactos facilitam a infiltração e diminuem o acúmulo superficial (Karymbalis et al., 2021; Magalhães et al., 2011).
Geomorfologia	Quanto mais plano for o terreno, maior a possibilidade de alagamentos e inundações (Bitar, 2014). A geomorfologia é associada ao relevo, que assim como a declividade, influencia de acordo com suas classes. Planícies são mais favoráveis a inundações que morros por exemplo (Bitar, 2014). Influencia os alagamentos ao determinar o escoamento da água, intensificado pela urbanização que impermeabiliza o solo e sobrecarrega a drenagem (Ferraz, 2019).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

2. Coleta, tratamento e processamento dos dados espaciais

A aquisição dos dados espaciais para a elaboração dos mapas temáticos referentes às variáveis, foi feita em diversas plataformas digitais, apresentadas nos endereços eletrônicos dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Dados vetoriais utilizados e suas respectivas fontes de consulta

Variável	Tipo do Arquivo	Fonte	Endereço
Hipsometria	Raster	MDE SRTM	http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php
Declividade	Raster	MDE SRTM	http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/17S45_SN.zip
Solos do Brasil 1:250.000	Vetor	IBGE (2023)	https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/
Precipitação de MG 1991-2020	Vetor	INMET	https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ada7e050-b097-4b62-9c17-c1d70f20197a
Uso e cobertura do solo de 2024 1:100.000	Raster	Mapbiomas (2024)	https://brasil.mapbiomas.org/downloads/
Geomorfologia de MG 1:250.000	Vetor	IBGE (2019)	https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1cb02225-49a6-45b0-b4a4-a4d4824a21c7

Fonte: Autores (2025).

Todos esses dados espaciais foram trabalhados no software QGIS (versão 3.34.4), reprojutados para coordenadas planas UTM SIRGAS 2000.

3. Reclassificação das variáveis quanto à suscetibilidade aos alagamentos

Nessa etapa, os dados espaciais relacionados aos fatores condicionantes de alagamentos foram reclassificados com base no método AHP, utilizando uma escala de 1 a 10, na qual 1 representa as áreas menos suscetíveis e 10 as mais vulneráveis. Para definir os pesos das variáveis, foi elaborado um formulário eletrônico e enviado a pesquisadores das áreas de Engenharia Civil, Geotecnia, Geologia e afins. Com as respostas obtidas, foi construída a matriz de paridade para a determinação dos autovalores. Já os pesos das classes de cada variável foram estabelecidos a partir de estudos prévios e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Reclassificação dos critérios das variáveis, conforme suscetibilidade aos alagamentos

Classes	Fatores	Notas
Hipsometria (m)	472 – 489	10
	489 – 504	9
	504 – 519	8
	519 – 529	7
	529 – 539	6
	539 – 569	5
	569 – 609	4
	609 – 659	3
	659 - 720	2
Declividade (%)	0 a 3%	10
	3 a 8%	9
	8 a 20%	5
	20 a 45%	3
	45 a 75%	1
Solos	Corpos d'água	10
	Neossolo flúvico	10
	Latossolo	2
	Neossolos litólico	1
Precipitação média anual (mm)	1550 - 1600	6
Uso e Cobertura do Solo	Área artificial	10
	Corpo hídrico	10
	Mangue	9
	Área agrícola	7
	Vegetação campestre	3
	Floresta	1
Geomorfologia	Corpos d'água	10
	Planície	9
	Terraço	6
	Pediplano	4
	Topo tabular	2
	Topo convexo	1

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de revisão da literatura (2025).

A reclassificação foi feita de duas formas: criando uma coluna na tabela de atributos dos dados vetoriais, e reclassificando por tabela, no caso dos dados raster.

4. Aplicação do método AHP

Para a análise de alagamentos em Pirapora, foi adotado o Processo Analítico Hierárquico (AHP) como ferramenta principal para calcular e ponderar as variáveis envolvidas. Esse método converte julgamentos subjetivos em dados quantitativos por meio da comparação paritária e da hierarquização de fatores, permitindo a definição de prioridades conforme a importância relativa de

cada classificação (Marins; Souza; Barros, 2009). O método AHP é um método de análise multicritério que auxilia na organização e sistematização da avaliação das áreas vulneráveis a alagamentos, diminuindo a subjetividade no processo decisório (Carvalho, 2020).

Aplicando o método AHP, foi definida uma escala de importância com base nos pesos atribuídos aos fatores avaliados, considerando a relevância de cada um na suscetibilidade a alagamentos. Para isso, os fatores foram inicialmente organizados em uma Matriz de Comparação Pareada, permitindo a análise das relações de prioridade entre eles, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Matriz de Comparação Pareada

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator m
fator 1	1	...	a_{1p}	...	a_{1m}
...	...	...	...	...	...
fator p	a_{p1}	...	1	...	a_{pm}
...	...	...	...	...	...
fator m	a_{m1}	...	a_{mp}	...	1

Fonte: Pessoa Neto; Silva; Barbosa (2022).

Os critérios de importância usados no método AHP obedecem ao critério de Saaty, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Escala de julgamento de importância do AHP

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Os dois parâmetros contribuem equitativamente.
3	Moderada	O parâmetro comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um parâmetro sobre o outro.
7	Muito forte	Um parâmetro é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O parâmetro comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada, obtém-se o vetor de pesos, que representa a importância relativa de cada critério em relação aos demais. Existem diferentes métodos para sua determinação, e neste caso, foi adotado o método da média geométrica. Nele, cada componente do vetor de pesos é calculado como a média geométrica dos elementos da respectiva linha, normalizada por um fator de ajuste, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo dos pesos pelo método AHP

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator m	auto-vetor	Pesos
fator 1	1	...	a_{1p}	...	a_{1m}	$\bar{g}_1 = \sqrt[m]{a_{11} * \dots * a_{1p} * \dots * a_{1m}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator p	a_{p1}	...	1	...	a_{pm}	$\bar{g}_p = \sqrt[m]{a_{p1} * \dots * a_{pp} * \dots * a_{pm}}$	$\omega_p = \frac{\bar{g}_p}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator m	a_{m1}	...	a_{mp}	...	1	$\bar{g}_m = \sqrt[m]{a_{m1} * \dots * a_{mp} * \dots * a_{mm}}$	$\omega_m = \frac{\bar{g}_m}{S}$
Soma (ωS)	$\sum_{p=1}^m a_{p1}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pp}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pm}$	$S = \sum_{p=1}^m \bar{g}_p$	1

Fonte: Pessoa Neto; Silva; Barbosa (2022).

No AHP, a consistência das comparações é avaliada com uma margem aceitável de até 10%. Isso indica que, dentro desse limite, as avaliações são consideradas adequadas, reconhecendo que a perfeição é difícil de alcançar. Contudo, se a inconsistência exceder 10%, o modelo recomenda que os tomadores de decisão revisem e ajustem suas comparações para melhorar a qualidade dos resultados (Saaty, 1987). Podemos calcular o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC), através das Equações 1 e 3, respectivamente.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - m}{m - 1} \quad (1)$$

Em que m é a quantidade de variáveis utilizadas na Matriz de Comparação Pareada e $\lambda_{\text{máx}}$ é o auto-valor máximo, obtido através da Equação 2.

$$\lambda_{\text{máx}} = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{p=1}^m \frac{\omega S_p}{\omega_p} \quad (2)$$

Onde $\sum_{p=1}^m \frac{\omega_{Sp}}{\omega_p}$ é o Vetor Coerência (C) e ω_p é o Coeficiente de Ponderação.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Onde IR é o Índice de Randômico que é influenciado pelo tamanho de variáveis da Matriz de Comparação Pareada (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

5. Álgebra de Mapas no QGIS

Os mapas temáticos foram trabalhos dentro do QGIS utilizando a Calculadora Raster, onde os dados matriciais reclassificados das variáveis de suscetibilidade a alagamentos foram multiplicados pelos pesos estabelecidos no método AHP. A Equação 4 apresenta o modelo matemático utilizado, onde o resultado gerado foi o mapa de suscetibilidade a alagamentos.

$$M = \omega_H * H + \omega_D * D + \omega_S * S + \omega_P * P + \omega_U * U + \omega_G * G \quad (4)$$

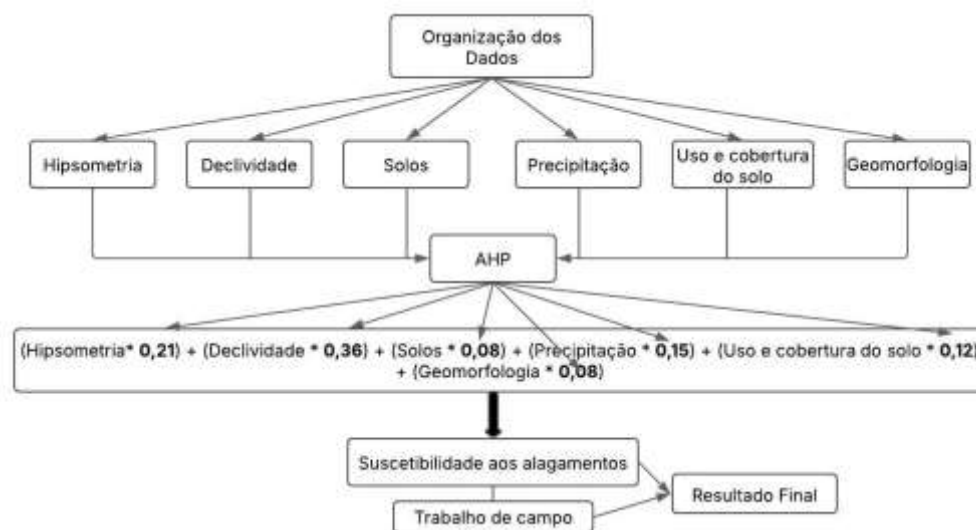
Onde H é a hipsometria, D a declividade, S o solo, P a precipitação, U o uso e cobertura do solo, e G a geomorfologia.

6. Verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade a alagamentos

Pirapora enfrenta alagamentos recorrentes durante as temporadas de chuva, impactando o tráfego urbano, o acesso às escolas e locais de trabalho, além de gerar transtornos à população e aumentar as preocupações com segurança e eficiência do transporte. Por isso, para verificar a eficiência do mapa gerado na etapa anterior, foram levantados os locais de ocorrência desses alagamentos, em sites de notícias e através de trabalho de campo, após eventos chuvosos, que ocorreram ao longo dessa pesquisa.

A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico utilizado nesse trabalho.

Figura 2 – Estruturação metodológica da pesquisa



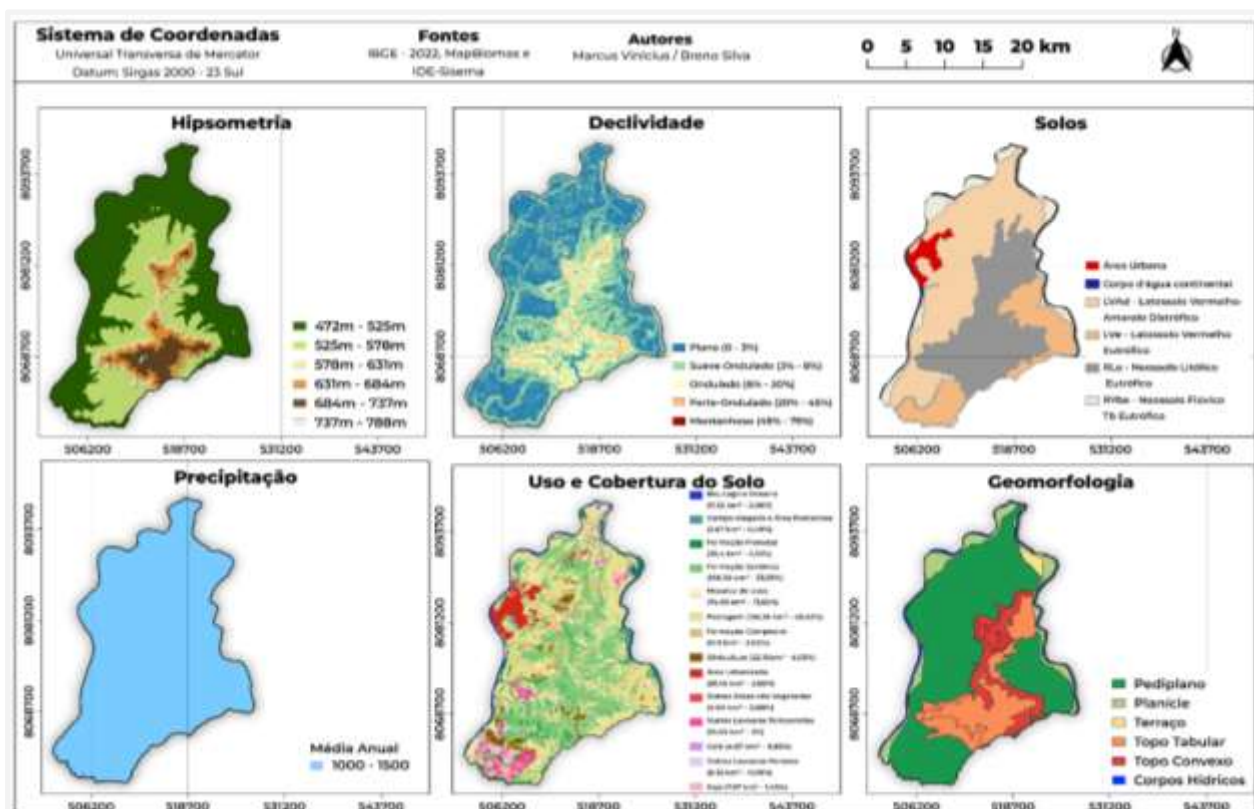
Fonte: Autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de suscetibilidade a alagamentos de Pirapora foi gerado por meio de álgebra de mapas, integrando as variáveis declividade, hipsometria, pluviosidade, uso do solo, pedologia e geomorfologia, apresentadas na Figura 3. Esse processo possibilitou a identificação das áreas mais vulneráveis e a visualização espacial das zonas de risco. A validação do mapa foi realizada por comparação com registros de alagamentos obtidos de portais de notícias e relatos de moradores, garantindo a confiabilidade dos resultados.

A elaboração do mapa foi realizada em duas etapas distintas, cada uma com procedimentos específicos para garantir a precisão e a consistência na análise. Na primeira etapa, as classes das variáveis temáticas foram cuidadosamente classificadas em uma escala que variava de 1 (indicando a menor suscetibilidade) a 10 (representando a maior suscetibilidade). Tais variáveis foram selecionadas devido à sua relevância na caracterização da suscetibilidade a fenômenos naturais, como os alagamentos, e são fundamentais para a avaliação das condições de risco na área de estudo.

Figura 3 – Mapas das variáveis temáticas que influenciam na suscetibilidade a alagamentos

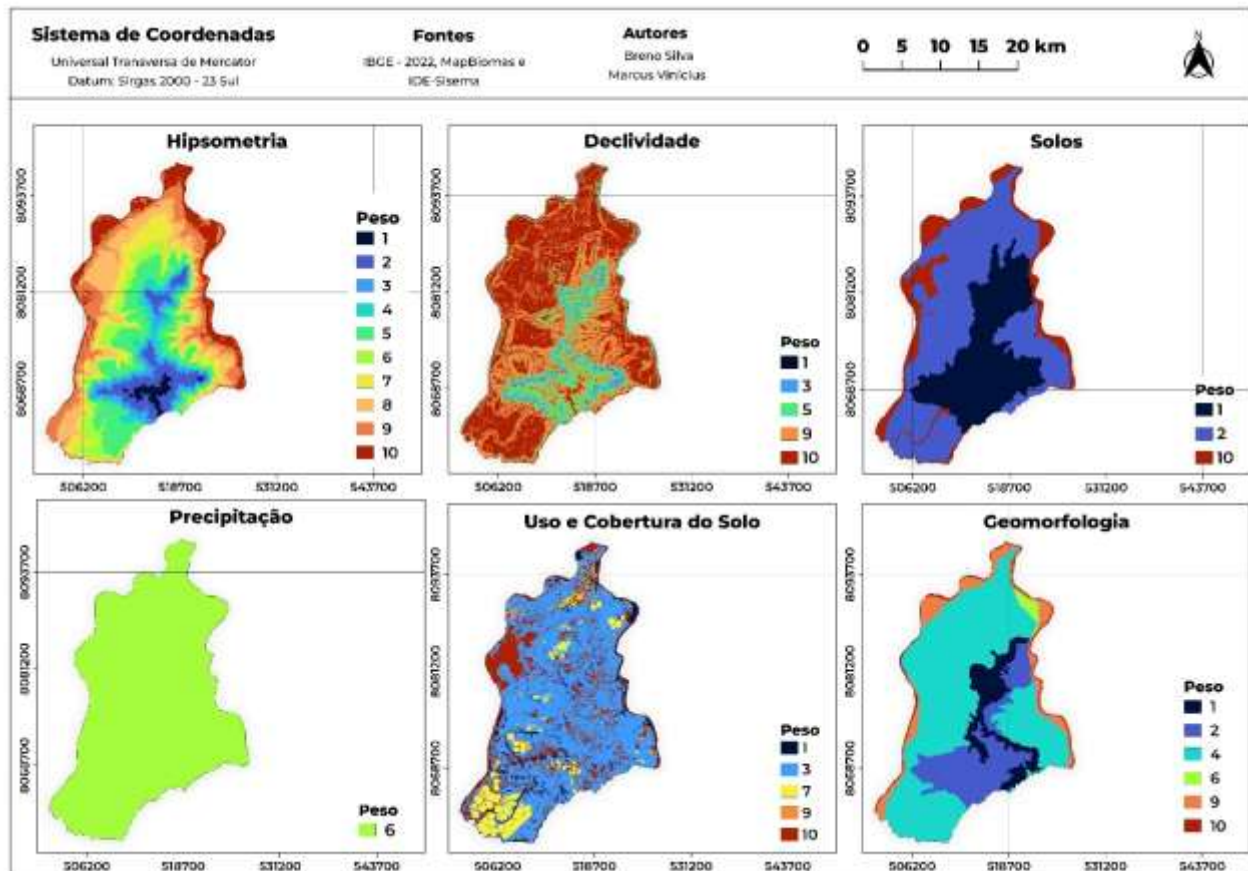


Fonte: Autores (2025).

De acordo com a Figura 3, a altitude da maior parte do território de Pirapora encontra-se entre 472 m e 578 m. Em relação à declividade, o município apresenta relevo plano a suave ondulado, na maioria do território. Em relação ao tipo de solo, temos a maior presença de latossolos vermelho-amarelo. A precipitação média anual varia entre 1000 e 1500 mm. No uso e cobertura do solo, Pirapora apresenta sua área coberta, principalmente pelo bioma Cerrado e por pastagem. Por fim, a geomorfologia de Pirapora é caracterizada pela presença do pediplano, que é uma planície extensa que se desenvolve em regiões de clima semiárido.

A Figura 4 apresenta os mapas das mesmas variáveis, após a reclassificação das suas classes. Para produzir esses mapas, as variáveis no formato raster foram reclassificadas por tabela, e as variáveis em formato vetorial tiveram sua tabela de atributos modificada com a inclusão dos pesos, e depois foram rasterizadas. Os pesos são os mesmos apresentados na Tabela 1.

Figura 4 – Mapas das variáveis temáticas que influenciam na suscetibilidade a alagamentos



Fonte: Autores (2025).

Na segunda etapa, foi produzida a Matriz de Comparação Pareada, apresentada na Tabela 3. Em seguida, os mapas temáticos foram integrados, e os pesos atribuídos a cada fator foram organizados conforme a Tabela 1. Esses pesos foram usados na análise hierárquica para calcular a importância relativa de cada variável, seguindo o método AHP.

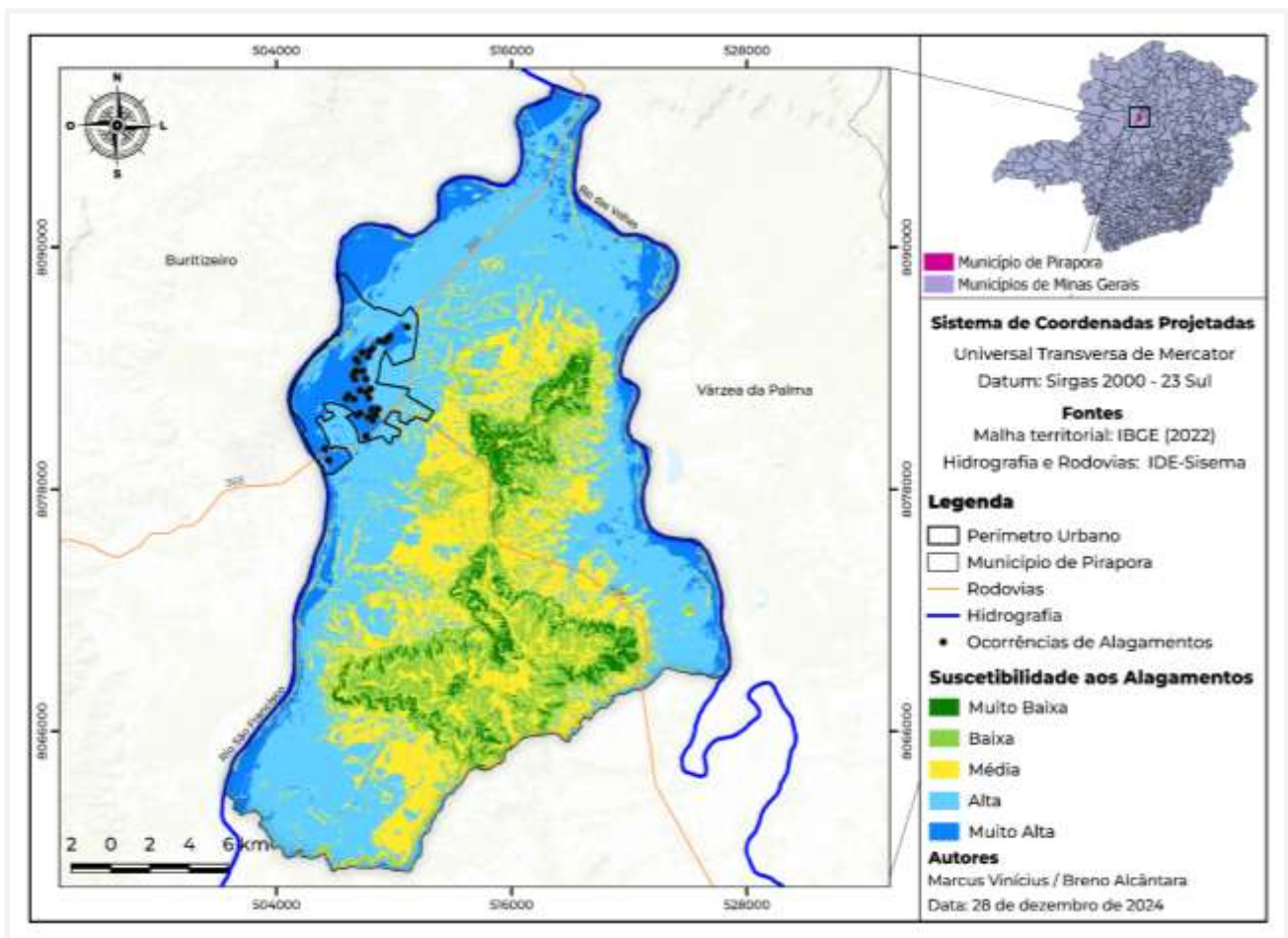
Com esses pesos, foi possível elaborar o modelo matemático para a produção do mapa de suscetibilidade a alagamentos no município de Pirapora, conforme a equação: $M = 0,21 \cdot H + 0,36 \cdot D + 0,08 \cdot S + 0,15 \cdot P + 0,12 \cdot U + 0,08 \cdot G$. Essa equação foi aplicada no QGIS, na calculadora raster, e o resultado foi o mapa de suscetibilidade a alagamentos, conforme apresentado na Figura 5.

Tabela 3 – Matriz de Comparação Pareada com os pesos dos fatores que influenciam os alagamentos deste estudo

	Hipsometria	Declividade	Uso e ocupação	Geologia	Precipitação	Solos	Pesos
Hipsometria	1,00	0,028	0,016	0,014	0,062	0,021	0,21
Declividade	0,207	1,00	0,402	0,329	0,122	0,309	0,36
Uso e ocupação	0,172	0,034	1,00	0,219	0,099	0,103	0,12
Geologia	0,138	0,028	0,020	1,00	0,099	0,052	0,08
Precipitação	0,276	0,682	0,402	0,274	1,00	0,412	0,15
Solos	0,172	0,057	0,080	0,110	0,123	1,00	0,08

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 5 – Mapa de suscetibilidade aos alagamentos no município de Pirapora – MG



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Tabela 4 apresenta os resultados detalhados desse mapa e das ocorrências de alagamentos levantadas em Pirapora. Algumas dessas ocorrências estão apresentadas na Figura 6.

Tabela 4 – Resultados das análises do mapeamento de suscetibilidade a alagamentos e das ocorrências

Suscetibilidade	Área (km ²)	% da área	nº de ocorrências	% de ocorrências
Muito Baixa	21.855	4,00%	0	0
Baixa	71.851	13,16%	0	0
Média	145.431	26,63%	0	0
Alta	245.223	44,90%	1	3,8
Muito Alta	61.788	11,31%	37	96,2
Total	546.148	100%	38	100%

Figura 6 – Pirapora – Localização de ocorrências de alagamentos



Fonte: Pirapora News (2025). Elaboração: Autores (2025).

A análise revelou que os bairros Cícero Passos, Nova Pirapora, Cidade Jardim, Santos Dumont e São Geraldo são os mais vulneráveis, demandando ações imediatas, como a melhoria da drenagem e a elaboração de planos de evacuação para a segurança da população. Além disso, os dados fornecem uma base sólida para a implementação de um sistema de alerta precoce, que avise sobre chuvas intensas e riscos de alagamentos. A integração desse sistema ao Plano de Contingência de Defesa Civil (PLANCON) é fundamental, permitindo priorizar áreas de risco em ações emergenciais e programas de mitigação.

O uso de sistema de informação geográfica associado a metodologias multicritério, como o AHP, para identificação e classificação de áreas de risco, vulnerabilidade e suscetibilidade, está cada vez mais presente. Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2022) utilizaram dessa metodologia para mapeamento de áreas de risco de inundação e alagamentos para Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. Santos et al. (2022) utilizaram o SIG e a Análise Multicriterial de Decisão (AMD) para geração do modelo de suscetibilidade à inundação. Silva et al. (2024) utilizaram a mesma metodologia deste estudo, porém, para mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos para a cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais. Por fim, Olii, Olii e Pakaya (2021) usaram também a metodologia para mapeamento de distribuição de perigo de inundações para a região de Gorontalo, na Indonésia.

CONCLUSÃO

O mapeamento de suscetibilidade a alagamentos fornece uma base sólida para os gestores públicos, permitindo que políticas de mitigação e adaptação sejam implementadas de maneira mais eficaz e assertiva. Através da identificação das áreas mais suscetíveis e das principais causas dos alagamentos, Pirapora será capaz de direcionar recursos de forma mais eficiente, minimizando os danos materiais, as perdas humanas e os prejuízos econômicos.

Para aprimorar o mapeamento, é fundamental o uso de modelagens hidrológicas avançadas, que possibilitem simulações detalhadas do comportamento das águas pluviais em diferentes cenários. A integração de variáveis climáticas, como a intensidade e frequência das chuvas devido ao aquecimento global, permitirá que o planejamento urbano e a infraestrutura da cidade se tornem mais robustos, adequando-se às novas condições climáticas.

Além disso, a integração do mapeamento com sistemas de monitoramento em tempo real, como sensores de nível d'água e imagens de satélite, permitirá a implementação de alertas mais

precisos e a realização de ações emergenciais mais eficazes, proporcionando maior segurança à população.

Em síntese, a evolução contínua do mapeamento de suscetibilidade a alagamentos e sua aplicação no planejamento urbano, vão garantir que Pirapora se torne uma cidade mais resiliente, capaz de minimizar os impactos dos alagamentos e proteger melhor sua população, enfrentando de forma eficaz os desafios climáticos futuros.

REFERÊNCIAS

AMAYA, A.; NTOUMBÉ, M.; DIGUIM, A. K.; KAH, E. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG): Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun). **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.33, n.3, p.491-501, 2021.

BITAR, O. Y. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000: nota técnica explicativa. [s.l]: **CPRM**, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16588>

CARVALHO, Luísa. **Últimos 15 anos concentram 74% dos desastres por chuvas no Brasil**. Poder360, 2024. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/meio-ambiente/ultimos-15-anos-concentram-74-dos-desastres-por-chuvas-no-brasil/>. Acesso em: 28 jan. 2024.

CARVALHO, Henrique. **Framework AHP: o que é e como utilizá-lo**. *Vida de Produto*, 2020. Disponível em: <https://vidaproduto.com.br/framework-ahp/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

COSTA, Hélder. **Introdução ao método de análise hierárquica**. Maio de 2002. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>. Acesso em: 08 out. 2024.

FERRAZ, C. M. L. **Inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, minas gerais: uma situação de risco ambiental em continuada construção, segundo indicadores geomorfológicos**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.228. 2019.

HORA, S. B. da.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundações do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, v.21, n.2, p.57-75, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>

IBGE. **Censo Demográfico 2022: população e domicílios**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

IBGE. **Pedologia do Brasil: 1:250.000**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>

KARYMBALIS, E.; ANDREOU, M.; BATZAKIS, D.; TSANAKAS, K.; KARALIS, S. Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process for flood-hazard assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece). *Sustainability*, v. 13, n. 18, p. 10232, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su131810232>

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. dos. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v.8, n.2, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288>

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá-SP utilizando método de análise hierárquica. **Leopoldianum**, v.45, n.126, p.68-85, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.58422/releo2019.e910>

MANTOVANI, J.; BACANI, V. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e/ou alagamento, na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v.22, n.3, p. 687-706, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.146752>

MAPBIOMAS – **Coleções**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MARINS, C.; SOUZA, D.; BARROS, M. da S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: XLI – Simpósio Brasileiro e Pesquisa Operacional. 2009. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/redu/article/view/652>

OLII, M. R.; OLII, A.; PAKAYA, R. The integrated spatial assessment of the flood hazard using AHP-GIS: The case study of Gorontalo Regency. **The Indonesian Journal of geography**, v. 53, n. 1, p. 126-135, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22146/ijg.59999>

PEREIRA, J.A.; MARCIAL, V. J.; ANJOS, J. M. M. dos; NUNES, A. de A.; CARVALHO, C. O.; SILVA, T. V. da. Multi-Criteria Analysis for Assessing Flood Susceptibility in the Municipality of Conselheiro Lafaiete (MG). **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo (SP), v. 18, n. 4, p. e07075, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-132>

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. DA; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, 2022. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e63948>

RAFIQ, F.; AHMED, S.; AHMAD, S.; KHAN, A. A. Urban floods in India. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v.7, n.1, p.721–734, 2016. Disponível em: <https://www.ijser.org/researchpaper/Urban-Floods-in-India.pdf>

RIBEIRO, Elizêne. Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: metais pesados e atividades antropogênicas. 2010. Disponível em

<http://hdl.handle.net/1843/MPBB-89JFKJ> . Acesso em: 01 de out. de 2024.

ROY, S.; BOSE, A.; SINGHA, N.; BASAK, D.; CHOWDHURY, I.R. Urban waterlogging risk as an undervalued environmental challenge: An Integrated MCDA-GIS based modeling approach. **Environmental Challenges**, v.4, p.1-21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100194>

SAATY, T. H. A scaling method from priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SANTOS, T.G.; FERREIRA, A. B. R.; VENTORINI, S. E.; ZACHARIAS, A. A.; TEIXEIRA, A.L. Análise Multicriterial de Decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundação na bacia do córrego do Lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. **GEOgraphia**, v. 24, n. 53, p. 1-16, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2022.v24i53.a47218>

SILVA, B. A.; PORTO, T. B.; GOMES, A. J. de L.; GOMES, J. L. dos S. Aplicação de Geotecnologias no Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Eventos Geodinâmicos em Teófilo Otoni – MG. In: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 21., 2024, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: [s.n], 2024. Disponível em: <https://cobramseg.com.br/evento/cobramseg2024/trabalhosaprovados/naintegra/1022>. Acesso em: 10 jan.2025.

VALENTE, Ana. **A gestão das águas urbanas: o papel da drenagem. Minha Cidade**, 2009. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/index.php/revistas/read/minhacidade/10.109/1839> . Acesso em: 27 set. de 2024.

WOLLMANN, C. A. M. SARTORI, da G. B. O estudo das enchentes nas diferentes linhas de pesquisa da geografia física– uma revisão teórica. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, n.13, 2009, Viçosa. **Anais eletrônicos...** Viçosa, 2009.