



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações em Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco

Rosane da Silva Avelino dos Santos¹, Anselmo Cesar Vasconcelos Bezerra², Carlos Eduardo Menezes da Silva³, Amaury Gouveia Pessoa Neto⁴, Tamires Gabryele de Lima Mendes⁵, Caio Maurício Eurico de Oliveira⁶, Jocimar Coutinho Rodrigues Junior⁷, Devson Paulo Palma Gomes⁸

¹ Instituto Federal de Pernambuco, E-mail: rosaneavelino@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7249-1041> (autor correspondente). ² Instituto Federal de Pernambuco, e-mail: anselmo@recife.ifpe.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0722-9417> ³ Instituto Federal de Pernambuco, e-mail: carlosmenezes@recife.ifpe.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-156X> ⁴ Universidade de Pernambuco, e-mail: agpn@poli.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-8066> ⁵ Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: tamilimam25@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1011-0479> ⁶ Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: caioauricio64@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5693-0941> ⁷ Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: jocimar_junior@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4033-3243> ⁸ Instituto Federal de Pernambuco, e-mail: devsonpalma@recife.ifpe.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3447-7953>

Artigo recebido em 20/06/2024 e aceito em 25/12/2024

RESUMO

As mudanças no uso do solo ocasionadas pela expansão urbana, bem como o avanço das mudanças climáticas, trazem consequências como a intensificação dos episódios de inundação. Na região metropolitana do Recife (RMR), o município do Cabo de Santo Agostinho registra episódios de inundações desde 1970 em decorrência da crescente urbanização com a instalação do Complexo Industrial de Suape na região, porém poucos estudos tratam da investigação desses eventos no município. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo mapear a suscetibilidade às inundações em Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. Para isso, utilizou-se o método de Processo Analítico Hierárquico (AHP), em conjunto com o *software* ArcGis Pro, para realizar a modelagem dos níveis de suscetibilidade em cinco classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) no município. No estudo foram considerados fatores condicionantes como declividade, hipsometria, precipitação, uso e ocupação do solo, grupo hidrológico de solo e ordenamento fluvial. Os resultados possibilitaram identificar que cerca de 52,82 km² do município se encontra nas regiões de muito alta suscetibilidade, apresentando riscos à população no entorno. A atribuição de maior importância para a declividade mostrou as maiores suscetibilidades à inundação nas planícies, pois são nelas que ocorrem o acúmulo da água e é intensificada em solos impermeabilizados. Dessa forma, os resultados obtidos sugerem uma maior atenção para intervenção nas áreas planas do município, o que pode nortear o planejamento municipal nos planos de drenagem urbana e na mitigação em resposta aos desastres causados pelas chuvas.

Palavras-chave: Alagamentos, Método AHP, Desastres hidrológicos, SIG.

Mapping areas susceptible to inundation in Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco

ABSTRACT

Changes in land use caused by urban sprawl, as well as the advance of climate change, have consequences such as the intensification of flooding episodes. In the metropolitan region of Recife (RMR), the municipality of Cabo de Santo Agostinho has recorded flooding episodes since 1970 as a result of growing urbanization with the installation of the Suape Industrial Complex in the region, but few studies have investigated these events in the municipality. In this context, this study aims to map the susceptibility to flooding in the municipality of Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. To this end, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used in conjunction with ArcGis Pro software to model the levels of susceptibility in five classes (very low, low, medium, high and very high) in the municipality. The study took into account conditioning factors such as slope, hypsometry, rainfall, land use and occupation, hydrological soil group and river management. The results made it possible to identify that around 52.82 km² of the municipality is located in regions of very high susceptibility, posing risks to the surrounding population. Assigning greater importance to slope showed the greatest susceptibility to flooding in the plains, as this is where water accumulates and is intensified in sealed soils. Thus, the results obtained suggest that greater attention should be paid to intervention in the flat areas of the

Santos, R. S. A., Bezerra, A. C. V., Silva, C. E. M., Neto, A. G. P., Mendes, T. G. L., Oliveira, C. M. E., Rodrigues Junior, J. C., Gomes, D. P. P.

municipality, which can guide municipal planning in urban drainage plans and mitigation in response to disasters caused by rainfall.

Keywords: Flooding, AHP method, Hydrological disasters, GIS.

Introdução

As áreas vulneráveis a alagamentos, especialmente em contextos urbanos e periurbanos, enfrentam uma confluência de desafios derivados de fatores naturais e antrópicos, cujas interações ampliam exponencialmente os riscos associados a tais eventos (Vilaça & Costa, 2022). A ocupação desordenada do solo, combinada à crescente impermeabilização das superfícies e à insuficiência de sistemas de drenagem adequados, exacerba a propensão a inundações em períodos de precipitações intensas (Xavier & Monteiro, 2023; Gomes & Filgueira, 2024). O enfrentamento desse cenário exige uma abordagem integrada que considere as características socioeconômicas, ambientais e infraestruturais das regiões em risco, bem como a adoção de tecnologias de mapeamento e monitoramento que possibilitem a antecipação dos eventos e a gestão eficiente dos riscos (Duarte & Pinto, 2024).

Neste sentido, as mudanças climáticas têm ocasionado a intensificação de eventos extremos de grande impacto, como as inundações que frequentemente afetam áreas urbanas (Hodecker-Dietrich & Aumond, 2024). Um exemplo marcante ocorreu em maio de 2022, quando intensas chuvas em Pernambuco causaram deslizamentos de encostas, inundações devastadoras e mais de 100 mortes na Região Metropolitana do Recife (Nóbrega, 2022). Entre os eventos extremos, as inundações urbanas se destacam pela frequência e gravidade em cidades onde a ocupação desordenada compromete os sistemas de drenagem, provocando significativas perdas econômicas e sociais (Farias e Mendonça, 2022). A intensificação de eventos climáticos extremos, como alterações no regime de chuvas e a aceleração do ciclo hidrológico, decorre desse cenário, já evidenciado pelo aumento das inundações urbanas (Borges et al., 2024).

O aumento das emissões de gases de efeito estufa, intensificado pelas atividades antrópicas, vem elevando a temperatura global e ocasionando mudanças no clima (Silva et al., 2022). Segundo o 6º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), é previsto um aumento de 1,5 a 4°C na temperatura do planeta Terra até o final do século (IPCC, 2022). Em contexto semelhante, estudos recentes destacam que o crescimento urbano desordenado e sem planejamento adequado amplifica a

vulnerabilidade a desastres hidrológicos, agravando impactos como a perda de vidas humanas e a destruição de infraestrutura (Artaxo, 2022; Jandrey & Aumond, 2020).

A urbanização é frequentemente acompanhada por mudanças significativas no uso e ocupação do solo (Eberle et al., 2024), especialmente em municípios como o Cabo de Santo Agostinho, onde o crescimento urbano acelerado e a instalação de empreendimentos como o Complexo Industrial de Suape podem intensificar a pressão sobre as áreas de várzea e os sistemas de drenagem naturais. Essas alterações ampliam a suscetibilidade a inundações, demandando análises detalhadas sobre o impacto dessas transformações no território. Fatores como a impermeabilização do solo, a ocupação de áreas de várzea e a ausência de planejamento adequado alteram os sistemas de drenagem naturais, aumentando a frequência e a intensidade das inundações (Frota et al., 2024). De acordo com Vestena et al. (2020), as inundações como o transbordamento de água em cursos d'água que superam os limites naturais de drenagem, enquanto os alagamentos são caracterizados pelo acúmulo temporário de água em razão da insuficiência de sistemas de drenagem urbana. A intensidade e a duração das chuvas são fatores cruciais na ocorrência desses fenômenos (Pessoa Neto et al., 2022).

No estado de Pernambuco, a frequência de eventos extremos foi evidenciada em maio de 2022, quando chuvas intensas registradas pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) resultaram em deslizamentos de encostas, inundações e mais de 100 mortes na Região Metropolitana do Recife (RMR) (Nóbrega, 2022). Após o ocorrido, foram implementadas medidas emergenciais, como a intensificação do monitoramento pluviométrico e ações de relocação de moradores de áreas de risco, o que ressalta a importância de estudos preventivos para mitigar futuras catástrofes. Dessa forma, esses eventos revelam a vulnerabilidade das regiões urbanizadas do estado, muitas vezes agravada pela falta de infraestrutura adequada e pela ocupação de áreas de risco.

Apesar do avanço das pesquisas sobre inundações na RMR, ainda existem lacunas significativas relacionadas ao estudo desse fenômeno no município do Cabo de Santo

Agostinho. A localização estratégica do município, aliada ao crescimento acelerado impulsionado pelo Complexo Industrial de Suape, intensificou a pressão sobre os recursos naturais e aumentou a suscetibilidade a inundações (Silva et al., 2016). A interação entre fatores como a ocupação irregular, as alterações no uso do solo e a falta de planejamento integrado, aumenta significativamente os riscos de desastres naturais em territórios urbanizados (Leal & Ramos, 2022).

Sendo assim, a hipótese que orienta o presente estudo postula que os fatores associados à urbanização, como a ocupação irregular do solo, a impermeabilização das superfícies e a insuficiência dos sistemas de drenagem, desempenham papel preponderante na intensificação dos alagamentos no município do Cabo de Santo Agostinho. Contudo, considera-se igualmente a possibilidade de que fatores naturais, tais como a topografia, a pluviosidade e as características hidrológicas da região, exerçam uma influência mais determinante nos eventos de inundação. A elucidação dessa relação é crucial para subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficazes, direcionadas à mitigação e ao enfrentamento de desastres ambientais, promovendo maior resiliência e sustentabilidade para a região.

Nesse contexto, o presente estudo busca mapear a suscetibilidade a inundações no município do Cabo de Santo Agostinho, visando identificar as áreas mais vulneráveis à ocorrência de eventos extremos e os fatores ambientais e antrópicos que contribuem para essa vulnerabilidade. Ademais, espera-se oferecer subsídios para um planejamento urbano mais eficiente e a implementação de estratégias de adaptação que minimizem os impactos dos desastres ambientais no município.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo, o município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 1), localizado sob as coordenadas de latitude 8°17'15" sul, e longitude 35°02'00" oeste, a uma altura de 29 metros em relação ao nível do mar. O município fica a cerca de 33 km de Recife, e possui área territorial de 445,386 km², compondo a Mesorregião Metropolitana do Recife, com uma população de 203.216 habitantes (IBGE, 2022).

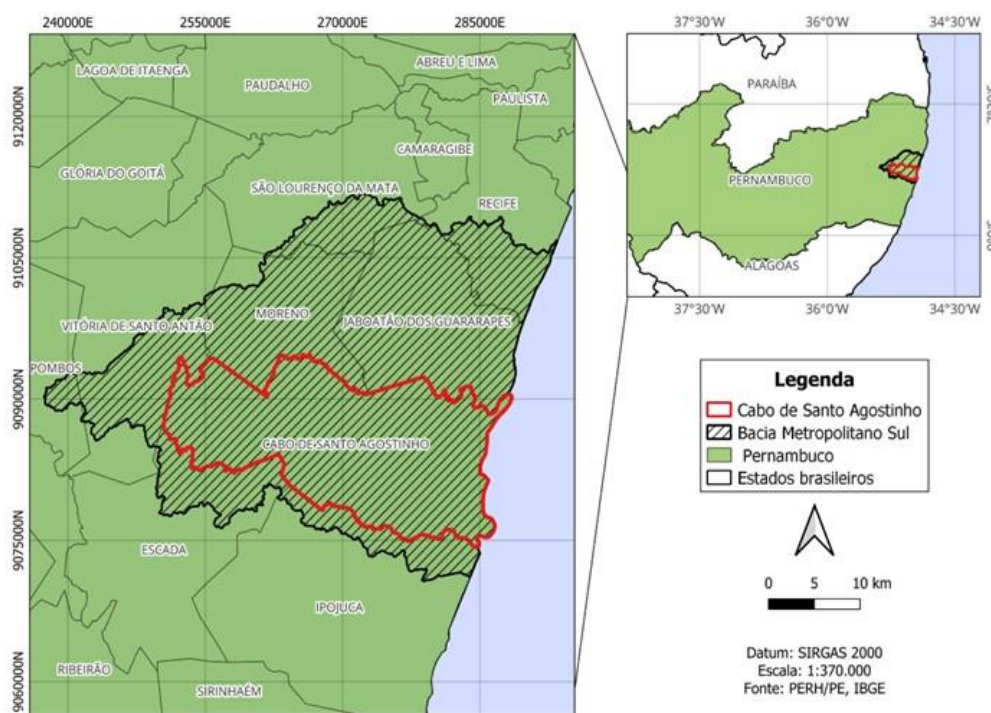


Figura 1. Localização do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Dados de entrada

Os dados espaciais dos fatores condicionantes de entrada considerados no presente estudo foram coletados de fontes oficiais através da plataforma online de cada órgão. As fontes dos dados utilizados para a confecção dos mapas estão listados no Quadro 1.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) adquirido pelo programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) (Pernambuco, 2013) foi utilizado como dado essencial para a análise do terreno, em formato matricial com resolução espacial de 30 m e manipulado por meio de ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) através do *software* ArcGIS Pro.

Quadro 1 - Fontes de obtenção dos dados espaciais.

Fator	Fonte dos dados
Declividade	PE3D
Hipsometria	PE3D
Uso e ocupação do solo	MapBiomas
Pedologia	EMBRAPA
Ordenamento fluvial	PE3D
Precipitação	APAC

Fonte: Autores (2024).

Como o MDT possui dados altimétricos, foi possível extrair informações acerca da hipsometria, no qual foi dividida igualmente em dez classes altimétricas mediante o método estatístico de quantil. Dessa forma, tornou-se viável analisar de forma detalhada todas as cotas hipsométricas, sobretudo as mais baixas, que influenciam em maior grau o processo de inundação.

Por meio do MDT também foi extraída a declividade com a classificação de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1979) (Quadro 2). O fator declividade afeta diretamente nas inundações por meio da influência na velocidade do escoamento da água ao longo do terreno.

Quadro 2 - Classificação da declividade.

Declividade (%)	Forma de relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979)

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos através da plataforma do Google Earth Engine por meio do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil do MapBiomas (MapBiomas, 2022). O arquivo foi oriundo da Coleção 8, no formato matricial e com resolução espacial de 30 metros. Os dados foram processados no *software* QGIS versão 3.28.1, no qual foram observadas regiões com diversos tipos de ocupação do solo, como de formação florestal, mangue, agricultura, área urbana e cursos d'água.

Através da Embrapa foram obtidos os dados acerca da pedologia em formato *shapefile*, com as cores classificadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018). Mediante os dados pedológicos realizou-se a classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS), com base no método de Sartori et al. (2005) (Quadro 3). Após a classificação hidrológica, o arquivo foi transformado em formato matricial.

Quadro 3 - Classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS).

Tipo de solo	GHS
Neossolo quartzarênico	B
Gleissolo háplico	D
Argissolo amarelo	C
Argissolo vermelho amarelo	C
Latossolo amarelo	A
Espodossolo ferrihumilúvico	C
Solos de mangue	D
Nitossolo vermelho	B

Fonte: Sartori et al (2005).

As informações a respeito das precipitações foram adquiridas através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2023) em série histórica de dados mensais de 20 anos, no período de 2003 a 2023, em 8 pluviômetros localizados nos municípios do Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Moreno e São Lourenço da Mata, que fazem parte da bacia Metropolitana Sul. As falhas dos dados foram preenchidas com a utilização do método de ponderação regional.

Para obter o valor da Intensidade Pluviométrica (IP) da bacia, utilizou-se o método de Crepani et al. (2001), onde o valor da pluviosidade média anual (PMA) é dividido pela duração do período chuvoso, medido em meses (DMC), representada na equação 1. Os meses mais chuvosos da bacia são março, abril, maio, junho e julho. O resultado do cálculo da intensidade pluviométrica é apresentado na Tabela 1.

$$IP = \frac{PMA}{DMC} \quad (1)$$

Tabela 1 - Cálculo da Intensidade Pluviométrica.

Código	Posto	PMA	DPC	IP
301	Cabo	1.412	5	282,4
490	Cabo (Barragem de Gurjaú)	1.475,30	5	295
491	Cabo (Barragem de Suape - Utinga)	1.430,30	5	286
603	Cabo (Pirapama)	1.412,40	5	282,4
602	Ipojuca (Suape) - PCD	1.354,40	5	270,8
268	Jaboatão dos Guararapes (Bar.Duas Unas)	1.256,30	5	251,2
205	Moreno	1.213,80	5	242,7
267	São Lourenço da Mata (Tapacurá)	910,3	5	182

Fonte: Autores (2024).

Segundo Crepani et al. (2001), a informação acerca da intensidade pluviométrica permite quantificar o grau de risco que uma área se encontra. Valores de IP elevados representam uma grande precipitação em um curto período de tempo, isso significa um maior risco de cheias, erosões e deslizamentos para a região atingida, situação inversa ao que se refere a IP reduzida.

A espacialização dos dados da intensidade pluviométrica foi feita com o auxílio do *software* ArcGis Pro, com o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD), ou *The Inverse Distance Weighted* (IDW). O método de Interpolação IDW atribui maior semelhança às feições que estão mais próximas umas das outras, do que as que estão mais distantes. Após realizar a interpolação, foi feito o recorte para o município do Cabo de Santo Agostinho.

O MDE (Modelo Digital de Elevação), utilizado para a caracterização do ordenamento fluvial, foi obtido pela plataforma PE3D em formato matricial com resolução espacial de 30 m. No *software* ArcGis Pro, utilizando o método de Strahler, foram encontrados rios de 1ª até 5ª ordem, sendo os de maior ordem aqueles que apresentam risco mais elevado de inundação.

Utilização do Método AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ou Processo Analítico Hierárquico, desenvolvido por Thomas L. Saaty, consiste em hierarquizar os critérios qualitativos e quantitativos conforme sua importância no contexto a que ele é aplicado. O

método AHP, aliado ao geoprocessamento, é relevante no estudo de problemas complexos. Assim, são hierarquizados e comparados entre si em uma matriz de comparação por pares, atribuindo-se um valor de importância relativa (peso) ao inter-relacionamento às multivariáveis. Os valores dos pesos são aplicados com base na escala de Saaty (1977) (Quadro 4) (Leal et al., 2020; Toniolo et al., 2022).

O método AHP é amplamente utilizado no estudo de riscos ambientais, como no mapeamento de áreas de risco a inundação na bacia hidrográfica do Rio Tejió (Pessoa Neto et al., 2023) e no distrito de Chókwe, em Moçambique (Chicombo & Moreira, 2024). Também foi utilizado na criação de um modelo de risco a inundação na bacia do rio Jacuípe (AL/PE) (Lima et al., 2024), entre outros estudos.

Quadro 4 - Escala de julgamento de importância do método AHP.

Pesos	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).

Para a confecção da matriz de decisão, foi utilizada a plataforma BPMSG AHP. A plataforma BPMSG AHP elaborou de forma automática uma matriz com base nos pesos de cada condicionante, que foram determinados através do prévio levantamento bibliográfico. Os fatores considerados na análise da suscetibilidade a inundações foram declividade, hipsometria, ordenamento fluvial, uso e ocupação do solo, intensidade pluviométrica e grupo hidrológico de solo. Após a atribuição dos pesos aos critérios e comparação com os demais, o resultado foi normalizado.

Em seguida, conforme o método de Saaty, é necessário conferir a razão de consistência (RC) que deve ser inferior a 0,1 para ser aceitável. O cálculo é feito através das equações 2, 3 e 4.

Santos, R. S. A., Bezerra, A. C. V., Silva, C. E. M., Neto, A. G. P., Mendes, T. G. L., Oliveira, C. M. E., Rodrigues Junior, J. C., Gomes, D. P. P.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{[A_w]_i}{w_i} \quad (2)$$

Onde:

$\lambda_{\max}$: Autovalor máximo da matriz; A_w : produto resultante da multiplicação da matriz de comparação; w_i : coeficiente de ponderação (pesos); n : número de variáveis.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Onde:

IC: Índice de Consistência; n : número de variáveis presentes na matriz de comparação; $\lambda_{\max}$: maior autovalor da matriz, que é calculado a partir da equação:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Onde:

RC: Razão de Consistência; IR: Índice Randômico; IC: Índice de Consistência.

Os valores de IR se encontram no Quadro 5, e são referentes ao número de critérios empregados no estudo, sendo neste caso, 6 critérios, e IR no valor de 1,24.

Quadro 5 - Valores de IR.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Pessoa Neto et al., 2023.

Em seguida, no *software* ArcGis Pro, para que houvesse a combinação dos fatores através da álgebra de mapas, foi utilizada a ferramenta *raster calculator*, onde todos os arquivos devem estar em formato matricial, pois a probabilidade é calculada a partir dos valores dos pixels. Dessa forma, apenas o grupo hidrológico, que estava em formato

vetorial, precisou ser convertido, já que os demais critérios já estavam no formato adequado. O mapa final de suscetibilidade foi classificado no método quebras naturais em cinco classes.

Resultados e discussão

Mapeamento dos dados espaciais

Através do ambiente SIG, por meio da utilização do *software* ArcGis PRO, foi possível construir os mapas dos fatores de suscetibilidade a inundações, que constam a declividade, hipsometria, intensidade pluviométrica, ordem dos rios, uso e ocupação do solo, e os tipos de solo que deram base para o mapa de grupo hidrológico de solos.

O mapa de uso e ocupação do solo foi separado em 6 classes de uso, representado na Figura 2. A Tabela 2 detalha o percentual e a área em km² ocupada por cada classe no município, onde uma parte expressiva é preenchida pela pastagem e agricultura, com 43% da área e 191,342 km². Em seguida, domina a região a cultura de cana de açúcar e áreas com mosaicos florestais com 23% e 21%, respectivamente. A concentração urbana representa 8%, corpos d'água 3% e o manguezal com cerca de 2%.

Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Área ocupada	
	km ²	%
Cana de açúcar	101,25	23%
Pastagem/Agricultura	191,34	43%
Formação Florestal	95,07	21%
Água	11,18	3%
Área urbana	36,33	8%
Mangue	10,19	2%
Total	445	100%

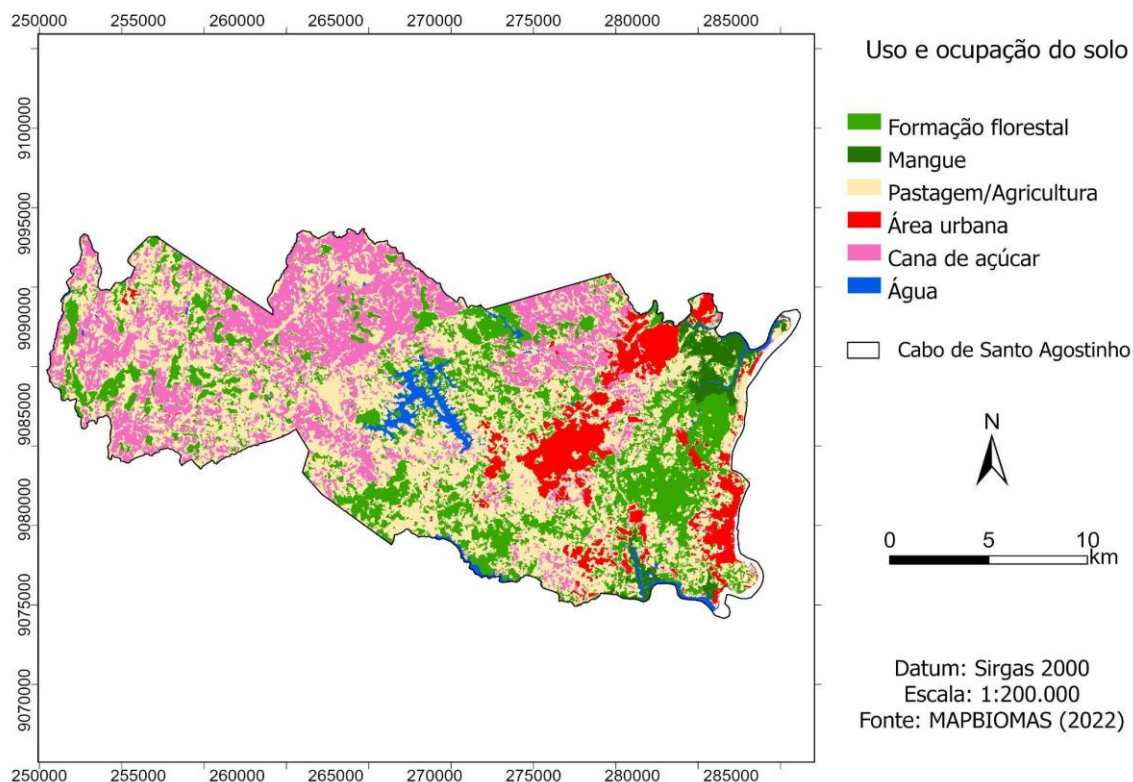


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

A Figura 3 mostra a espacialização da intensidade pluviométrica e a distribuição das chuvas ao longo do município, separadas em 6 classes, detalhadas pela Tabela 3, que releva uma distribuição equilibrada da precipitação. Cerca de 16% da área se encontra com chuvas em torno de

303,823 a 368,565 mm; 16% com 404, 984 a 417,701 mm, e 16% com 425,217 a 421,229mm. 17% com chuvas entre 368,566 e 404,983 mm e 17% entre 417,702 a 420,591 mm. E a maior intensidade de chuvas em 18% do município com precipitação entre 420,592 a 425,216mm.

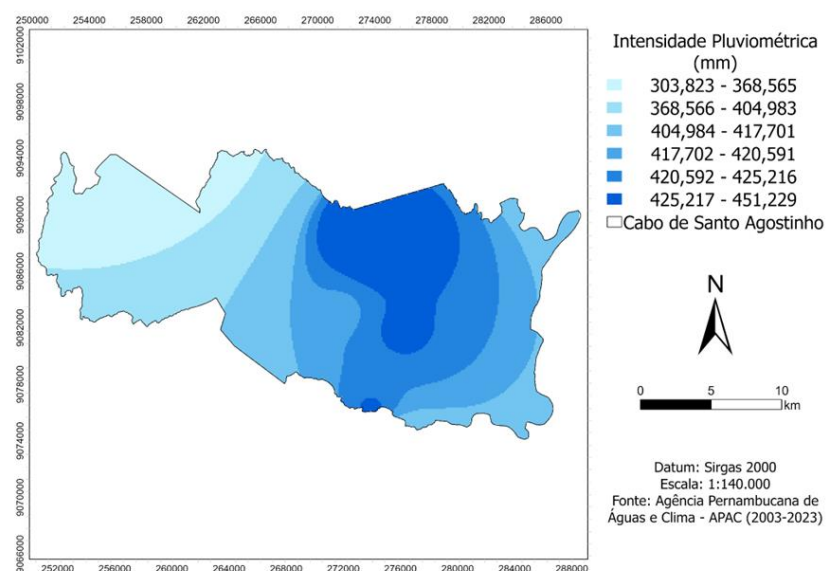


Figura 3. Espacialização da intensidade pluviométrica e a distribuição das chuvas ao longo do município de Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Santos, R. S. A., Bezerra, A. C. V., Silva, C. E. M., Neto, A. G. P., Mendes, T. G. L., Oliveira, C. M. E., Rodrigues Junior, J. C., Gomes, D. P. P.

Tabela 3 - Classes de intensidade pluviométrica do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Área ocupada	
	km ²	%
303,823 - 368,565 mm	72,36	16%
368,566 - 404,983 mm	75,99	17%
404,984 - 417,701mm	71,21	16%
417,702 - 420,591mm	75,17	17%
420,592 - 425,216 mm	77,99	18%
425,217 - 451,229 mm	72,63	16%
Total	445	100%

Os tipos de solo identificados no município do Cabo de Santo Agostinho (Figura 4) são a base para realizar a classificação dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS), apresentada na Figura 5. Na área de estudo, foram reconhecidos oito tipos de solo, além de corpos d'água, representados pela classe rio, e a área urbana. Entre os solos predominantes estão: Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Espodossolo

Ferrihumilúvico Hidromórfico, Gleissolo Háptico, Latossolo Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Nitossolo Vermelho e Solos de Mangue.

A elaboração do mapa de GHS foi baseada na caracterização e distribuição desses solos, permitindo sua classificação em quatro grupos hidrológicos distintos: A, B, C e D. Aproximadamente 46% do território municipal é composto por solos do grupo C, abrangendo uma área de 203,165 km², seguido pelo grupo D, que ocupa 32% da região, correspondendo a 144,196 km². O grupo A representa 17% da área, com 73,764 km², enquanto o grupo B é o menos representativo, abrangendo apenas 5% e uma área de 24,261 km². A predominância de solos pertencentes aos grupos C e D, caracterizados por baixa permeabilidade e drenagem deficiente, reflete a maior tendência ao escoamento superficial, conferindo elevada suscetibilidade a inundações em amplas áreas do município.

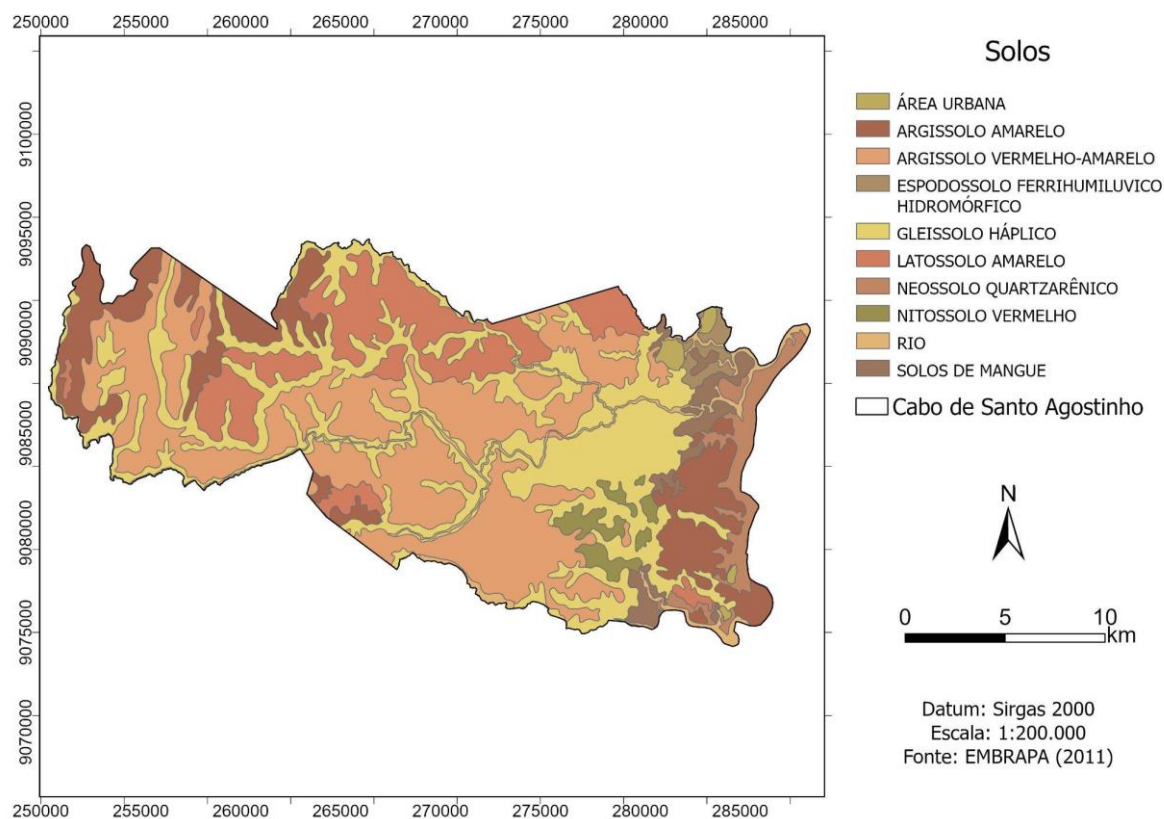


Figura 4. Mapa de solos do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

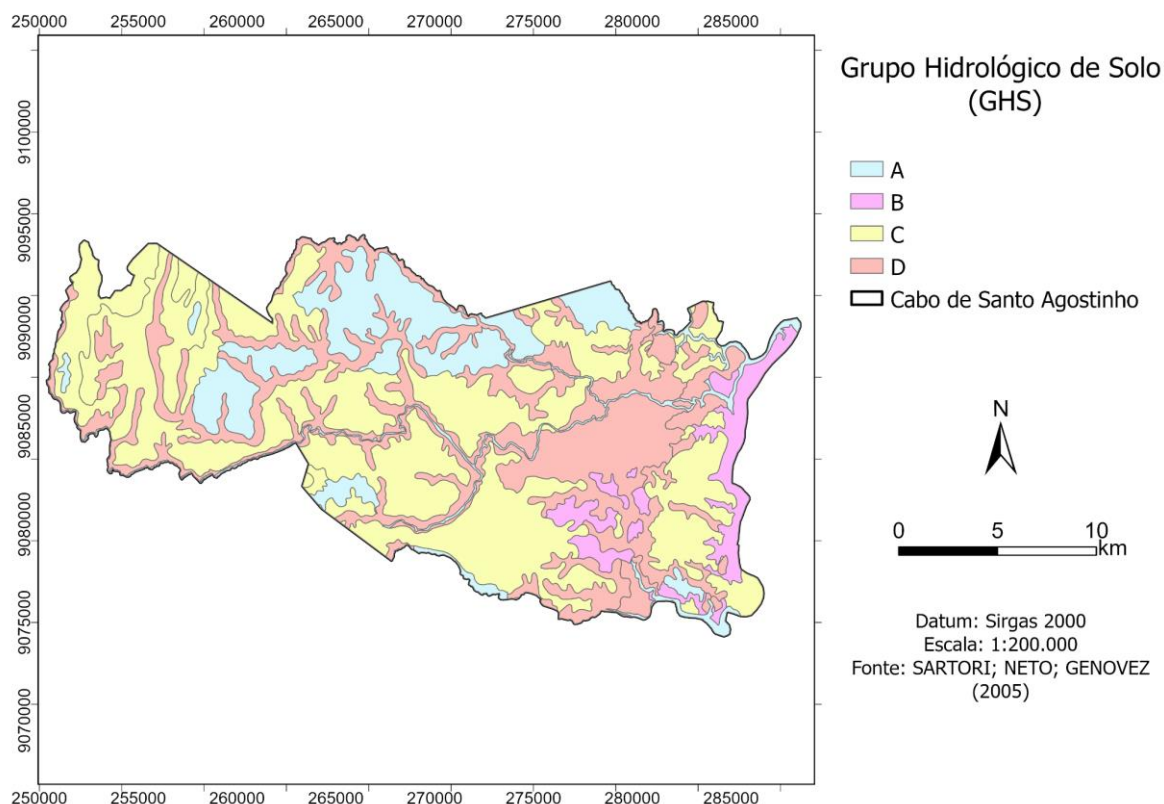


Figura 5. Mapa de grupo hidrológico de solos do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

O ordenamento fluvial (Figura 6) hierarquiza os rios de menor a maior magnitude, sendo os de maior ordem aqueles que possuem maior potencial de inundação. Na Tabela 5, é possível averiguar que a maior ordem da bacia presente no Cabo de Santo Agostinho é 5, com 19,01 km² de comprimento e ocupando 3% da área. Em contrapartida, o de menor ordem, ocupa a maior parte da cidade, com 53% da área, e possui no total cerca de 350,89 km² de comprimento.

Tabela 5 - Classes do ordenamento fluvial do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Comprimento	
	km ²	%
1	350,89	53%
2	181,69	27%
3	82,76	12%
4	32,48	5%
5	19,01	3%
Total	667	100%

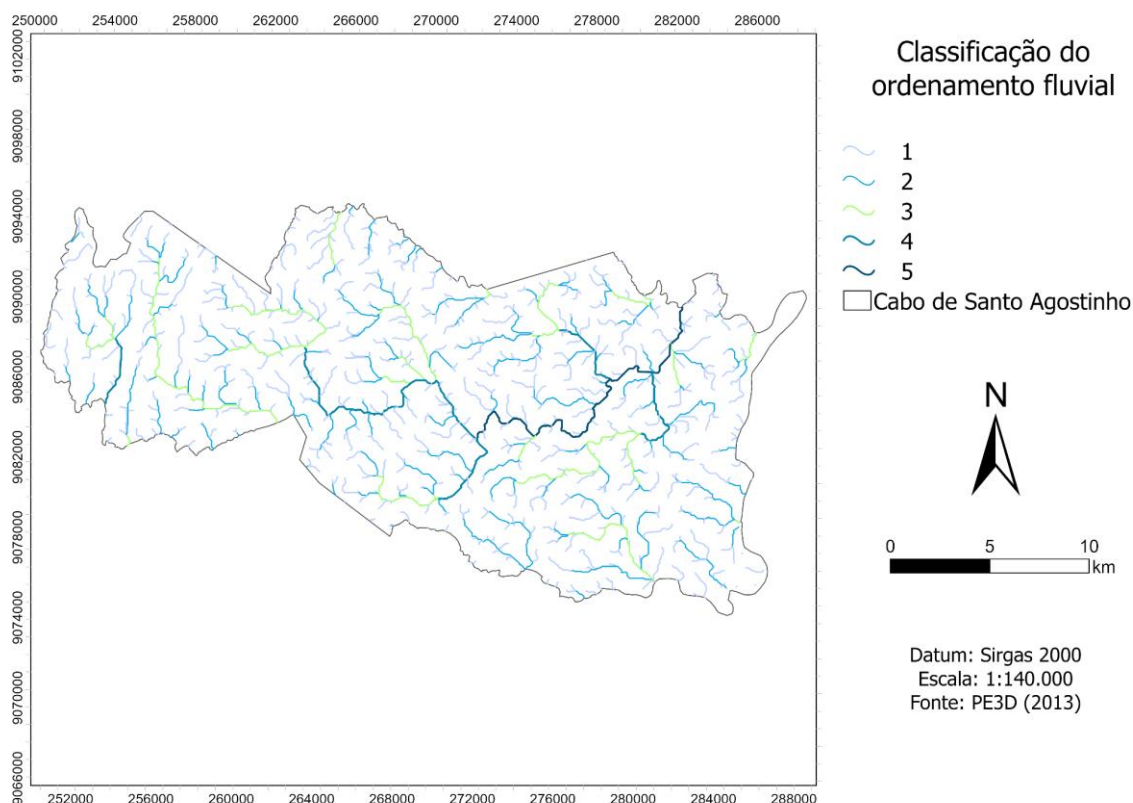


Figura 6. Mapa da ordem dos rios do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

O mapa hipsométrico (Figura 7) foi classificado em 10 altitudes, onde na Tabela 6 é apresentado que a maior parte da área com 25% e 112,27 km² está localizada na região mais plana do município, com altitudes de -1,86 a 20 metros, sendo justamente as áreas mais planas aquelas com maior suscetibilidade a inundação. Entretanto, a área mais alta do município com altitudes de 320 a 423 metros, ocupa apenas 1% do território, que, em contrapartida, são as áreas que apresentam menor potencial de inundação, em consequência da altitude.

Tabela 6 - Classes de hipsometria do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Área ocupada	
	km ²	%
-1,86 a 20 m	112,27	25%
20 a 50 m	63,71	14%
50 a 80 m	66,06	15%
80 a 110 m	91,53	21%
110 a 140 m	55,38	12%
140 a 180 m	23,53	5%
180 a 230 m	9,90	2%
230 a 280 m	9,87	2%
280 a 320 m	8,03	2%
320 a 423 m	5,07	1%
Total	445	100%

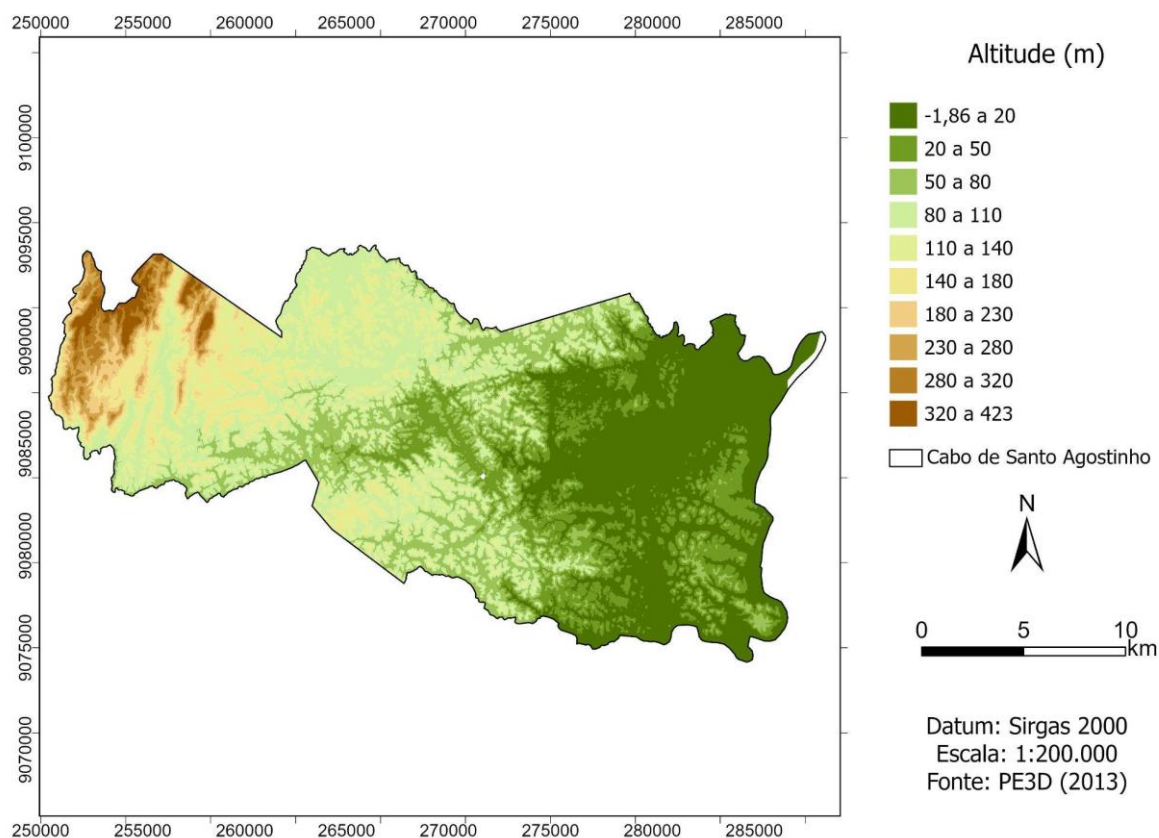


Figura 7. Mapa hipsométrico do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

No que tange a declividade, a Figura 8 aponta o mapeamento, em que há 6 classes, conforme a classificação da Embrapa. De acordo com a Tabela 7, cerca de 40% da região do Cabo de Santo Agostinho está sobre declividade de 8 a 20%. Já nas áreas mais suscetíveis a inundações, que são as áreas com menor declividade, de 0 a 3%, está inserido 21% do município. Em contrapartida, as regiões com a declividade mais acentuada, de 45 a mais de 75%, estão no total, apenas 2% do município.

Tabela 7 - Classes de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Área ocupada	
	km ²	%
0 a 3	92	21%
3 a 8	126,04	28%
8 a 20	178,79	40%
20 a 45	42,47	10%
45 a 75	3,09	1%
>75	2,95	1%
Total	445	100%

Os mapeamentos de dados espaciais são essenciais para compreender as diversas relações das propriedades socioambientais da área. A interação entre a declividade e os processos de urbanização potencializa distintas problemáticas associadas aos alagamentos, impactando diretamente tanto a mobilidade urbana quanto a eficiência dos sistemas locais de drenagem (Azevedo et al., 2020). Em áreas de baixa declividade, a impermeabilização do solo, característica marcante da expansão urbana desordenada, reduz a capacidade de infiltração da água no solo, culminando no acúmulo de volumes hídricos em superfície e na intensificação de eventos de alagamento. Nessas condições, segundo Souza et al. (2023), a tendência ao acúmulo hídrico dificulta o escoamento natural e sobrecarrega as redes de drenagem urbana, agravando os efeitos de precipitações intensas e prolongadas.

Por sua vez, em regiões de maior declividade, a interação entre a redução da cobertura vegetal e o aumento das superfícies impermeabilizadas promove um incremento do escoamento superficial, intensificando processos erosivos, o transporte de sedimentos e a sobrecarga

das infraestruturas de drenagem (Ranieri et al., 2022). De acordo com Goulart e Matsuoka (2021), essa complexa inter-relação entre fatores topográficos e intervenções antrópicas evidencia a necessidade de um planejamento territorial integrado, pautado no reconhecimento das especificidades geomorfológicas e das dinâmicas urbanas. Medidas como a preservação da cobertura

vegetal, o controle do uso e ocupação do solo e a implementação de sistemas de drenagem mais eficientes são, assim, fundamentais para mitigar os impactos ambientais e sociais associados às inundações e promover a resiliência das áreas urbanizadas (Nascimento & Oliveira, 2022).

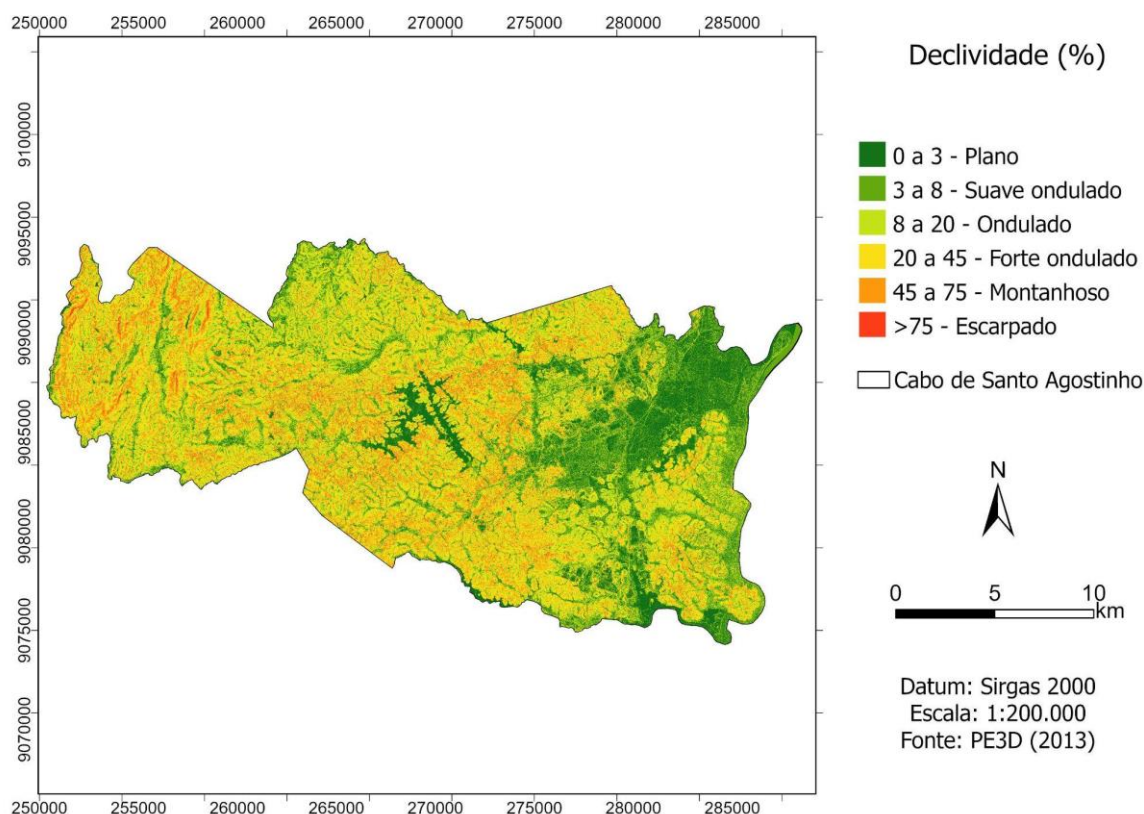


Figura 8. Mapa de declividade do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Álgebra de Mapas

A partir dos mapas de uso e ocupação do solo, intensidade pluviométrica, grupo hidrológico de solo, ordenamento fluvial, hipsometria e declividade gerados, foi possível efetuar a álgebra de mapas. Para isso, todos os dados foram reclassificados com pesos de 1 a 10, sendo 1 o peso dado para a classe que apresenta menos suscetibilidade a inundações, e 10 para a que apresenta maior suscetibilidade. Nessa etapa, foi utilizada a ferramenta da *Spatial Analyst tools - Reclassify*, do software ArcGIS Pro 3.1.0.

No que concerne os referidos pesos de cada variável, na Tabela 8 é apresentado os valores dos pesos atribuídos no processo de reclassificação do uso e ocupação do solo, sendo a água e a área

urbana as classes com maior peso, por indicarem características que favorecem a inundações.

Tabela 8 - Pesos da reclassificação do uso e ocupação do solo, Pernambuco.

Classes de uso e ocupação do solo	Pesos
Cana de açúcar	8
Pastagem/Agricultura	8
Formação Florestal	1
Água	10
Área urbana	9
Mangue	8

Os pesos da intensidade pluviométrica (Tabela 9), foram distribuídos com os valores próximos em razão do equilíbrio na distribuição da

precipitação na cidade, sendo atribuído o valor máximo 10, à maior precipitação em mm, 425,217 a 451,229.

Tabela 9 - Pesos da reclassificação da intensidade pluviométrica.

Classes de intensidade pluviométrica	Pesos
303,823 - 368,565 mm	5
368,566 - 404,983 mm	6
404,984 - 417,701 mm	7
417,702 - 420,591 mm	8
420,592 - 425,216 mm	9
425,217 - 451,229 mm	10

O mapa do Grupo hidrológico de solo primeiramente foi transformado em formato matricial, e os pesos foram atribuídos de acordo com o potencial de escoamento superficial de cada grupo (Tabela 10). Assim, o grupo hidrológico A, que possui maior capacidade de drenagem, foi dado o menor peso 1, e o grupo D, que possui maior potencial de escoamento superficial, foi atribuído o peso 10.

Tabela 10 - Pesos da reclassificação do grupo hidrológico de solo.

Classes de grupo hidrológico de solo	Pesos
A	1
B	4
C	7
D	10

Na reclassificação do ordenamento fluvial (Tabela 11), foi considerada a magnitude do rio, sendo o rio de 1ª ordem com peso 2, e o de 5ª ordem, ou seja, de maior magnitude, peso 10.

Tabela 11 - Pesos da reclassificação do ordenamento fluvial.

Classes do ordenamento fluvial	Pesos
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10

As áreas com menor altitude possuem maior suscetibilidade às inundações, pois a água tende a acumular em planícies. Nessa lógica, para as regiões mais baixas foram atribuídos o maior peso, e para as regiões de maior altitude, foi dado os menores pesos, assim como apresenta a Tabela 12.

Tabela 12 - Pesos da reclassificação da hipsometria

Classes hipsométricas	Pesos
-1,86 a 20 m	10
20 a 50 m	9
50 a 80 m	8
80 a 110 m	7
110 a 140 m	6
140 a 180 m	5
180 a 230 m	4
230 a 280 m	3
280 a 320 m	2
320 a 423 m	1

A Tabela 13 apresenta os pesos para as classes de declividade, que para as áreas com menor declividade, de 0 a 3%, foi dado peso 10, e para as regiões com maior declividade, de 45 a 75% ou superior a 75%, o peso foi 1, pois apresentam menor suscetibilidade a inundação.

Após a reclassificação dos dados de entrada, iniciou-se a etapa da análise multicritério com o AHP. Conforme a Tabela 14, que foi baseada na matriz de comparação de Saaty, as variáveis foram comparadas entre si, apontando o quanto as variáveis da coluna esquerda são mais importantes que as variáveis da coluna direita. Assim, quando uma variável for comparada com ela mesma, o resultado será 1, pois o grau de importância é igual.

Tabela 13 - Pesos da reclassificação da declividade.

Classes de declividade	Pesos
0 a 3	10
3 a 8	5
8 a 20	4
20 a 45	2
45 a 75	1
>75	1

Para definir os pesos das variáveis, na Tabela 15 realizou-se a divisão de cada variável pela soma de todos os valores da coluna a que ela pertence. Após isso, é feita a média dos valores, onde foram somados todos os resultados da linha e dividido pelo total de variáveis, resultando no valor do peso, que será utilizado para realizar a álgebra de mapas.

Tabela 14 - Matriz de comparação

Variáveis	Declividade	Hipsometria	Uso e ocupação	Intensidade pluviométrica	Ordem fluvial	Grupo Hidrológico
Declividade	1	1	8	5	2	9
Hipsometria	1	1	8	4	1	9
Uso e ocupação	1/8	1/8	1	1/2	1/5	1
Intensidade pluviométrica	1/5	1/4	2	1	1/3	3
Ordem fluvial	1/2	1	5	3	1	7
Grupo Hidrológico	1/9	1/9	1	1/3	1/7	1
Soma	2,93	3,48	25	13,83	4,67	30

Tabela 15 - Matriz de pesos.

Variáveis	Declividade	Hipsometria	Uso e ocupação	Intensidade pluviométrica	Ordem fluvial	Grupo Hidrológico	Média/Pesos
Declividade	1/2.93 = 0.3412	1/3.48 = 0.2873	8/25.00 = 0.32	5/13.83 = 0.3615	2/4.67 = 0.4282	9/30.00 = 0.3	0.3348
Hipsometria.	1/2.93 = 0.3412	1/3.48 = 0.2873	8/25.00 = 0.32	4/13.83 = 0.2892	1/4.67 = 0.2141	930.00 = 0.3	0.2919
Uso e ocupação	0.12/2.93 = 0.0682	0.12/3.48 = 0.0344	1/25.00 = 0.04	0.5/13.83 = 0.0361	0.2/4.67 = 0.0428	1/30.00 = 0.0333	0.0424
Intensidade pluviométrica	0.2/2.93 = 0.1628	0.25/3.48 = 0.0718	2/25.00 = 0.08	1/13.83 = 0.0723	0.33/4.67 = 0.0706	3/30.00 = 0.1	0.0929
Ordem fluvial	0.5/2.93 = 0.1706	1/3.48 = 0.2873	5/25.00 = 0.2	3/13.83 = 0.2169	1/4.67 = 0.2141	7/30.00 = 0.2333	0.2203
Grupo Hidrológico	0.11/2.93 = 0.0375	0.11/3.48 = 0.0316	1/25.00 = 0.04	0.33/13.83 = 0.0238	0.14/4.67 = 0.0299	1/30.00 = 0.0333	0.0326

As Tabelas 14 e 15 evidenciam que o fator declividade apresenta uma importância moderada em relação à hipsometria, mas assume maior relevância quando comparado aos demais fatores analisados. Tal preponderância decorre de sua influência direta sobre o escoamento superficial: em áreas com baixa declividade, ocorre o acúmulo de água, configurando-se como um elemento crucial para a ocorrência de inundações.

A hipsometria, por sua vez, destaca-se como o segundo fator mais relevante, sendo moderadamente mais significativa que o ordenamento fluvial. Isso ocorre em razão de baixas altitudes, associadas a declividades reduzidas, exercem uma influência substancial no fenômeno de inundação, favorecendo o acúmulo de água em determinadas regiões.

O ordenamento fluvial, indicador da magnitude dos cursos d'água, também apresenta um impacto significativo. Regiões que abrigam rios de maior ordem tendem a concentrar maiores volumes de água, o que aumenta o potencial de inundações. Por essa razão, o ordenamento fluvial se mostra mais relevante que o uso e ocupação do solo, pois sua influência direta no processo de transbordamento e inundação é determinante.

A intensidade pluviométrica, como fator crucial para a ocorrência de inundações,

desempenha papel central devido à sua relação direta com o aumento da vazão e o transbordamento dos canais. Assim, a elevada intensidade das precipitações possui maior relevância em comparação ao uso e ocupação do solo, uma vez que a chuva constitui o principal elemento desencadeador dos eventos de inundação.

Por fim, o uso e ocupação do solo emerge como um fator essencial na análise do fenômeno, pois permite identificar os tipos de uso predominantes na área, além de avaliar a possível impermeabilização do solo e o comportamento do escoamento superficial. Este fator, combinado com a análise dos grupos hidrológicos de solo, possibilita uma compreensão mais abrangente do comportamento hídrico, fornecendo subsídios indispensáveis para a gestão territorial e mitigação de desastres naturais.

Nesse contexto, a partir da definição dos pesos atribuídos a cada critério, foi avaliada a razão de consistência, um parâmetro essencial para garantir a validade da matriz de comparação paritária, que deve apresentar um valor inferior a 0,1. Para a obtenção dessa razão, foram aplicadas as equações 2, 3 e 4, onde a princípio é calculado o valor do autovalor máximo da matriz (λ_{max}):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{6} * \left(\frac{2,1644}{0,3348} + \frac{1,8512}{0,2919} + \frac{0,2407}{0,0424} + \frac{0,4881}{0,0929} + \frac{1,3985}{0,2203} + \frac{0,2054}{0,0326} \right) = 6,0642$$

Por conseguinte, o índice de consistência (IC), calculado a partir da aplicação da equação 3, resultou em um valor de 0,01228. Com base nos valores obtidos, juntamente com o índice randômico apresentado no Quadro 5, foi determinado a razão de consistência (RC), cujo valor calculado foi de 0,0103. É importante destacar que, para que os pesos atribuídos sejam considerados admissíveis na metodologia aplicada, o RC deve ser inferior a 0,1. Nesse sentido, o resultado obtido demonstra que a razão de consistência está dentro do limite aceitável, garantindo a validade dos pesos utilizados.

Com a validação dos pesos, procedeu-se à álgebra de mapas por meio do ArcGIS Pro, utilizando a ferramenta *Raster Calculator do Spatial Analyst Tools*. A aplicação da equação 8 foi realizada em toda a extensão da área de estudo, permitindo a integração dos dados e a geração de resultados consistentes e espacialmente representativos:

$$S = ("declividade" * 0.3348) + ("hipsometria" * 0.2919) + ("usoocupacao" * 0.0424) + ("pluviometria" * 0.0929) + ("ordenamento" * 0.2203) + ("grupohidrologico" * 0.0326)$$

Na geração do mapa de suscetibilidade a inundações, a escala de valores foi classificada utilizando o método de quebras naturais, resultando em cinco categorias: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta suscetibilidade. Adicionalmente, a espacialização dos níveis de suscetibilidade permitiu a quantificação de cada classe em termos de área (km²) e proporção percentual, conforme apresentado na Tabela 16. Essa abordagem contribui significativamente para a análise do estudo, oferecendo subsídios quantitativos que reforçam a compreensão das dinâmicas espaciais e dos riscos associados às inundações no território investigado.

Tabela 16 - Classes de suscetibilidade a inundação do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

Classes	Área ocupada	
	km ²	%
Muito Baixa	48,38	11%
Baixa	124,6	28%
Média	137,9	31%
Alta	81,36	18%
Muito Alta	52,82	12%
Total	445	100%

Essa classificação, conforme representada na Figura 9, oferece uma análise mais detalhada e interpretativa do comportamento espacial das áreas suscetíveis às inundações. O mapa final de suscetibilidade revela que a maior parte do município do Cabo de Santo Agostinho, correspondente a 31% de sua extensão, apresenta média suscetibilidade, associada a altitudes de até 180 metros e declividades de até 45%. Por outro lado, as classes de baixa e muito baixa suscetibilidade abrangem, respectivamente, 28% e 11% do território, localizando-se predominantemente em áreas de maior altitude e declividades superiores a 20%.

As características das áreas de muito baixa suscetibilidade são marcadas por terrenos elevados, ondulados e escarpados, que favorecem o escoamento superficial da água, minimizando a possibilidade de acúmulo. Nessas regiões, a combinação de baixa intensidade pluviométrica com a presença de rios de menor ordem reforça a validade dos critérios adotados na análise. Esses elementos confirmam a coerência metodológica e destacam as dinâmicas hidrológicas associadas aos diferentes níveis de suscetibilidade no município.

As classes de suscetibilidade média, baixa e muito baixa também evidenciam a presença de cobertura vegetal e solos com maior potencial de drenagem, classificados no grupo hidrológico A, como o latossolo amarelo. Essas características desempenham um papel crucial na facilitação da infiltração de água, contribuindo para a redução da suscetibilidade à inundação nas áreas onde predominam tais condições.

Por outro lado, a classe de alta suscetibilidade abrange 18% do município, correspondente a uma área de 81,36 km². Essas regiões são marcadas por baixas altitudes e declividades de até 8%, condições que favorecem o acúmulo de água e, conseqüentemente, elevam os riscos de inundação. De maneira semelhante, a

classe de muito alta suscetibilidade também compreende 18% do território, sendo caracterizada por terrenos planos que, associados à alta intensidade pluviométrica e à proximidade de rios de maior ordem, tornam essas áreas especialmente vulneráveis ao fenômeno.

Aproximadamente 52,82 km² do município encontram-se nas regiões de maior suscetibilidade a inundações. Nessas áreas, a presença de solos com baixo potencial de drenagem, como os do grupo hidrológico D — representados pelo gleissolo háplico e solos de mangue —, em conjunto com a impermeabilização do solo e sistemas de drenagem insuficientes, intensifica os processos de acumulação superficial. Essa

combinação de fatores limita significativamente a infiltração de água, exacerbando o fenômeno, sobretudo em zonas urbanizadas.

Segundo Tolentino et al. (2023), na foz do rio Cachoeira, localizada no município de Ilhéus, Bahia, os resultados obtidos por meio do método AHP indicaram que mais de 75% da área estudada encontra-se em risco moderado, alto e muito alto de inundação. Nesse contexto, a área urbana destacou-se por estar predominantemente inserida em zonas de risco muito alto, caracterizadas por relevo plano e a presença de manguezais, condições que favorecem o acúmulo de água.

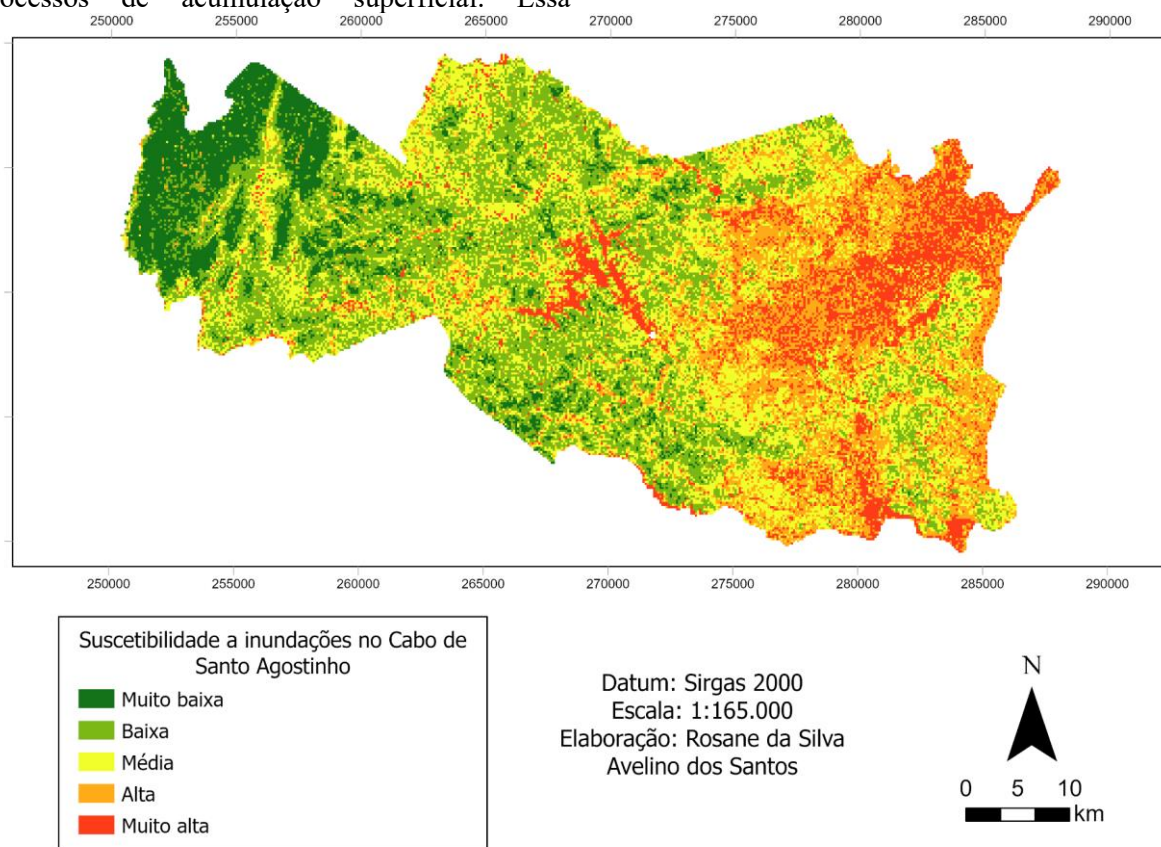


Figura 9. Mapa de suscetibilidade a inundação do município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco.

De forma semelhante, Oliveira et al. (2022), ao investigar a suscetibilidade a alagamentos em Juazeiro do Norte/CE, constatou que a urbanização em áreas de baixa altimetria e declividades suaves promove a redução da velocidade do escoamento hídrico superficial. Esse fenômeno transforma o ecossistema de estado lótico para lântico, favorecendo a ocorrência de alagamentos.

Fonseca et al. (2022) corroboram essa relação ao concluir que, na bacia hidrográfica do Ribeirão Caladão (MG), as áreas de maior risco situam-se em planícies de inundação ocupadas por zonas urbanas. Nesse cenário, a impermeabilização do solo intensifica o escoamento superficial, aumentando a suscetibilidade ao fenômeno.

Adicionalmente, Cury et al. (2021), ao utilizar o método AHP, atribuíram maior peso ao

fator declividade devido à sua influência direta na força do escoamento superficial. Resultados similares foram relatados por Dias et al. (2021), que destacaram o impacto das características topográficas, como declividade e hipsometria, na suscetibilidade a inundações.

Autores como Chaves et al. (2021), bem como Fantinel e Benedetti (2021), identificaram no Distrito Federal e no Rio Grande do Sul, respectivamente, que áreas de maior risco de inundação possuem alta urbanização, solos impermeabilizados e declividades acentuadas. Em contrapartida, regiões com vegetação apresentam menor risco, evidenciando o papel das áreas verdes na mitigação do escoamento superficial, ao promover maior infiltração de água no solo e reduzir os impactos das inundações em áreas planas.

Esses cenários também são evidentes no município do Cabo de Santo Agostinho. A atribuição de maior peso ao fator declividade no presente estudo identificou as áreas de alta e muito alta suscetibilidade como aquelas com menor inclinação do terreno. Em seguida, o fator hipsometria, que conferiu o segundo maior peso, destacou a alta suscetibilidade em regiões de planícies. Essas características tornam o terreno mais propenso ao acúmulo de água, sobretudo em solos impermeabilizados.

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, foi possível identificar as áreas com maior potencial de inundação, que em um contexto de vulnerabilidade social, pode trazer severas consequências. A elaboração desse mapeamento colabora para o planejamento da gestão municipal e estadual, pois auxilia em planos de adaptação para o enfrentamento dos desastres ambientais. Dessa forma, esse estudo também tem como objetivo incentivar a realização de estudos mais aprofundados sobre o assunto, que no município do Cabo de Santo Agostinho ainda é escasso.

Conclusões

Neste estudo foram consideradas e analisadas variáveis como declividade, altitude, uso e capacidade de drenagem do solo, intensidade de chuvas, e a magnitude do rio do município do Cabo de Santo Agostinho. Dessa forma, observou-se que em relação a alta e muito alta suscetibilidade, classes mais importantes da análise, aproximadamente 30% do município está

inserido. Essas áreas abrangem fatores como: baixa declividade e altitude, condicionando o acúmulo de água no relevo plano, além da baixa capacidade de drenagem do solo e áreas urbanizadas com solos impermeabilizados, que facilita o escoamento superficial.

Todavia, a maior parte do município está em áreas de média e baixa suscetibilidade à inundação, com 31% e 28% respectivamente, do seu território. Já a área de muito baixa suscetibilidade está em apenas 11% do Cabo de Santo Agostinho. As características em comum das variáveis nessas regiões são: terrenos ondulados a escarpados e altas altitudes, que dificultam o acúmulo de água, além da proximidade com rios de baixa magnitude e a presença da vegetação, que auxilia na infiltração da água.

Assim, observou-se que ao utilizar o método AHP aliado ao SIG, por ser uma alternativa viável e eficaz, a matriz de decisão combinada à reclassificação das variáveis, possibilitou uma aproximação com os parâmetros ambientais analisados, e manifestou um resultado consistente. Além disso, o AHP também se destacou pela facilidade da manipulação dos dados, e pela diversa aplicabilidade do método, especialmente em pesquisas que por algum motivo não podem ser feitas in loco.

Os resultados apontados neste trabalho são ferramentas importantes para a gestão de risco nos municípios, sobretudo no município do Cabo de Santo Agostinho, objeto do presente estudo. Atualmente, com o avanço das mudanças climáticas, o planejamento de estratégias de adaptação em resposta a desastres naturais torna-se emergente para minimizar os danos causados pelas chuvas. Portanto, conhecer as características dos locais com suscetibilidade à inundação auxilia nesse planejamento, e ajuda a poupar vidas e perdas socioeconômicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) pelo apoio e auxílio concedido na pesquisa.

Referências

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2023). *Monitoramento Pluviométrico*. Disponível em: <https://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php> Acesso em: 20 nov. 2023.

Santos, R. S. A., Bezerra, A. C. V., Silva, C. E. M., Neto, A. G. P., Mendes, T. G. L., Oliveira, C. M. E., Rodrigues Junior, J. C., Gomes, D. P. P.

- Artaxo, P. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil, a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. *Ciência e Cultura*, 74(4). <http://dx.doi.org/10.5935/2317-6660.20220067>.
- Azevedo, S. D., Pinheiro, C. P. S., Rodrigues, P. R. S., Torres, L. M., & Sandim, D. P. R. (2020). Avaliação dos impactos socioambientais provocados por alagamentos e inundações no bairro Montese, localizado na Bacia do Tucunduba, Belém/PA. *Natural Resources*, 10(3), p. 38–50. <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2020.003.0005>.
- Borges, C. M. C., Robaina, L. E. S., & Scotti, A. A. V. (2024). Estudo dos processos hidrológicos causadores de desastres que ocorrem nos municípios de Estrela e Lajeado, Vale do Taquari/RS. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 28, e83744, p. 1-19. <https://doi.org/10.5902/2236499483744>.
- Chaves, H.L.O., Costa, M.E.L., Koide, S., Almeida, T., & Cicerelli, R.E. (2021). Mapeamento De Suscetibilidade à inundações utilizando o método da razão de frequência aplicado à bacia Do Riacho Fundo - Distrito Federal. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 9, n. 1, p. 148–166. <https://doi.org/10.9771/Gesta.V9i1.42739>.
- Chicombo, T. F., & Moreira, A. A. M. (2024). Mapeamento de suscetibilidade às inundações com base na análise multicritério (AHP): estudo de caso do distrito de Chókwe, em Moçambique. *Caminhos de Geografia*, 25, p. 301–319. <https://doi.org/10.14393/RCG259970390>.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. F. F. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 101p.
- Cury, M. D., Ladwig, N. I., Menegasso, J. D., Sutil, D., & Conto, D. (2021). Mapeamento de áreas suscetíveis à inundações como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. *Caminhos de Geografia*, 22, p. 160–175. <https://doi.org/10.14393/RCG228356231>.
- Dias, M. B., Galina, N. R., & Alves, C. N. (2021). Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12, n.6. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0029>.
- Duarte, T., & Pinto, J. E. S. S. (2024). Cenários hidroclimáticos em Barra dos Coqueiros/SE: vulnerabilidade socioambiental e resiliência urbana. *Revista da ANPEGE*, 20(41), p. 1–30. <https://doi.org/10.5418/ra2024.v20i41.18107>.
- Eberle, J., Cemin, G., & Schneider, V. E. (2024). Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamento no perímetro urbano de Caxias do Sul – RS. *Caderno Pedagógico*, 21(8), e6839. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n8-158>.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). *Mapa de Solos do Brasil*. 2018. Disponível em: https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonod/e%3ABrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 17 fev. 2024.
- Embrapa - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. In: Reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro. Súmula, Rio de Janeiro, 83 p. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/480004>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- Fantinel, R. A., & Benedetti, A. C. P. (2021). Análise da susceptibilidade à ocorrência de inundações por meio do uso de média ponderada e geoprocessamento em Dona Francisca – RS. *Tecno-Lógica*, 25 (1), p. 47-58. <https://doi.org/10.17058/Tecnolog.V25i1.1543>.
- Farias, A., & Mendonça, F. (2022). Riscos socioambientais de inundações urbanas sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. *Sociedade & Natureza*, 34, e63717, <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.
- Fonseca, V. S., Pinto, D. B. F., Ferraz, C. M. L., Almeida, I. C. C., & Brito, A. F. (2022). Mapeamento de áreas de risco a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Caladão – Coronel Fabriciano/MG. *Caminhos de Geografia*, 23 (86), p. 205–224. <https://doi.org/10.14393/RCG238658450>.
- Frota, J. C. O., Valladares, G. S., & Paula, J. E. A. (2024). Mapeamento do risco de inundações da planície costeira do estado do Piauí. *William Morris Davis - Revista de Geomorfologia*, 5(1),

- p. 1-12. <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v5n1.2024.607>.
- Gomes, S., Filgueira, H. J. (2024). Análise de áreas suscetíveis a inundação por meio do modelo Height Above The Nearest Drainage (HAND) no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil. *Revista Ecologias Humanas*, 10(12), p. 84–95. <https://doi.org/10.5281/Zenodo.13730504>.
- Goulart, L. P., & Matsuoka, J. V. (2021). Análise das áreas suscetíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia – MG utilizando geoprocessamento e o método de análise hierárquica AHP. *GETEC*, 10(34), p. 21 – 44.
- Hodecker-Dietrich, A., & Aumond, J. J. (2024). As mudanças climáticas e o aumento do nível dos oceanos e seus impactos nas áreas urbanas da orla NE/E de Santa Catarina. *Revista De Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 13(1), e23742. <https://doi.org/10.5585/2024.23742>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Municípios: Cabo de Santo Agostinho - PE*. IBGE, 2022.
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. (2022). *Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. Grupo de Trabalho II, 55ª Sessão do IPCC, 2022.
- Jandrey, S., Aumond, J. J. (2020). Mudanças climáticas e planejamento urbano: cenários futuros de aumento do nível do oceano no município de Itapema/SC. *PerCursos*, 21(46), p. 25–53. <https://doi.org/10.5965/198472462146202002>.
- Leal, F. C. B. S., Barbosa, I. M. B. R., & Aquino, J. T. (2020). Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da bacia hidrográfica do rio Una em Pernambuco. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(01), p. 20-40. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e0I2020-40>.
- Leal, M. V. S., & Ramos, A. C. (2022). A bacia hidrográfica urbana do Tucunduba: impactos no uso e ocupação do solo em Belém, Pará. *Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares*, 3, p. 1–11. <https://doi.org/10.24220/2675-7885v3e2022a5538>.
- Lima, A. C. C., Faccioli, G. G., & Medeiros, F. C., (2024). Criação de modelo de risco a inundação para a bacia hidrográfica do rio jacuípe (AL/PE) a partir do método de processo analítico hierárquico – AHP. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(4), e04601. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-054>.
- MapBiomias - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. (2022). *Coleções MapBiomias*. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 17 fev. 2024.
- Nascimento, P. S. R., & Oliveira, K. S. (2022). Análise espaço-temporal da ocorrência de alagamentos em área intensamente urbanizada. *Revista Contexto Geográfico*, 7(14), p. 01–15. <https://doi.org/10.28998/contegeo.7i14.13407>.
- Nóbrega, F. (2022, 10 de fevereiro). Maior tragédia do século em Pernambuco, mortes pelas chuvas de 2022 superam total da cheia de 1975. *Folha de Pernambuco*. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/maior-tragedia-do-seculo-em-pernambuco-mortes-pelas-chuvas-de-2022/228963/>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Oliveira, C. H. T., Sperandio, H. V., Guedes, N. S., Ramos, M. F., Almeida, R. A., & Pinto, D. B. F. (2022). Mapping of areas susceptible to inundation and flooding in Itambacuri-MG using geoprocessing techniques. *International Journal of Geoscience, Engineering and Technology*, 5 (1), p. 1-10.
- Pernambuco. (2013). *PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. Mapeamento do Território Pernambucano*. Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: <https://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php> Acesso em: 17 fev. 2024.
- Pessoa Neto, A. G., Silva, S. R., & Barbora, I. M. B. R. (2022). Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. *Boletim de Geografia*, 40, e63948, p. 277-296. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e63948>.
- Pessoa Neto, A. G., Silva, S. R., & Barbora, I. M. B. R. (2023). Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejió, em Pernambuco, Brasil. *Entorno Geográfico*, 26, e22413055, p. 1-27. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i26.13055>.
- Ranieri, C. L. W., Souza, D. J. C., Costa, L. A., Rosa, P. V. C., & Silva, C. F. L. (2022). Análise das áreas suscetíveis a enchentes e inundações pelo rio Tocantins no município de Tucuruí-PA. *Revista Ibero-Americana de Humanidades*,

- Ciências e Educação*, 8(4), p. 1686–1695.
<https://doi.org/10.51891/rease.v8i4.5168>.
- Saaty, T. H. (1977). A Scaling method from priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 (3), p. 234-281.
- Sartori, A., Neto, F. L., & Genovez, A. M. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10 (4), p. 05-18.
- Silva, J. C., Silva, I. A. S., & Silva, H. P. B. (2016). Suscetibilidade às inundações do Complexo Industrial Portuário de Suape – PE. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2, p. 452–461.
<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10487>.
- Silva, E. L. P., Silva, M. H. C. R., & Mendonça, F. A. (2022). Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes-Paraná-Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 31(18), p. 362–383.
<https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.1578>.
- Souza, G. O., Vilarinho, B. S., Magalhães, B. C. L., Macedo, R. M., Carvalho, F. H. S., Silva, H. P., Leal, L. S., Gomes, R. S., & Silva, R. A. A. (2023). Technical analysis of urban drainage problems on the street Rio Grande do Norte of Açailândia – Maranhão considering the slope of the road and its impact on water drainage in rainy periods. *Research, Society and Development*, 12(2), e9912240010.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i2.40010>.
- Tolentino, G. M., Silva, V. A., Lisboa, G. S., Santos, M. S. T., & Sena, S. R. (2023). Áreas de risco a alagamento e inundação na foz do rio Cachoeira, em Ilhéus (Bahia – Brasil). *Revista de Geociências do Nordeste*, 9(2), p. 83–95.
<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID32143>.
- Toniolo, B. P., Silva, D. C. C., Ventura, K. S., & Lourenço, R. W. (2022). Identificação de áreas suscetíveis a inundação com o auxílio de geotecnologias na Unidade de Negócio Oeste – Sabesp. *Revista DAE*, 70(235), p. 167-179.
<https://doi.org/10.36659/dae.2022.028>.
- Vestena, L. R., Almeida, D. E. F., & Geffer, E. (2020). Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, Paraná. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), p. 24923–24941.
<https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-082>.
- Vilaça, I. L. V. V., Costa, F. R. (2022). Caracterização das áreas de alagamentos na cidade de Pau dos Ferros – RN. *Sociedade e Território*, 34(2), p. 83–101.
<https://doi.org/10.21680/2177-8396.2022v34n2ID27314>.
- Xavier, L. F.; Monteiro, J. B. (2023). Análise espacial da ocorrência de alagamentos e inundações na área urbana do município de Maracanaú-CE. *Revista GeoUECE*, 12(22), e202303.
<https://doi.org/10.59040/GEOUECE.2317-028X.v12.n22.e202303>.