XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA (SE)

Layra Victória Siqueira Silva[1] ; João Rogério Araújo dos Santos [2] & Paulo Sérgio de Rezende Nascimento [3]

RESUMO – As inundações correspondem ao extravasamento dos cursos d'água quando a vazão supera a capacidade de escoamento de suas calhas, intensificadas pelas intervenções antrópicas como a impermeabilização do solo, a supressão da cobertura vegetal e a ocupação de planícies. No município de Estância (SE), a suscetibilidade a esses eventos é potencializada pelo relevo predominantemente plano, pelas baixas altitudes e a presença de ambientes fluviomarinhos. Assim, o presente estudo analisa a vulnerabilidade à inundação no município de Estância por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, aplicando o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Foram integrados dados altimétricos, pedológicos, geológicos, geomorfológicos, pluviométricos, densidade de drenagem, uso e ocupação do solo. Também foram analisadas a densidade de drenagem, orientação de vertentes e formas do terreno. Os resultados evidenciaram que as classes de alta e muito alta vulnerabilidade concentram-se nas áreas de menor altitude e baixa declividade, associadas a formas de relevo côncavas, solos impermeáveis e proximidade aos cursos d'água. Assim, a vulnerabilidade à inundação decorre da interação entre fatores físicos naturais e pressões antrópicas, ressaltando a importância do planejamento territorial, do ordenamento do uso do solo e da implementação de medidas estruturais e não estruturais voltadas à mitigação de riscos e à gestão integrada da drenagem urbana.

ABSTRACT– Floods correspond to the overflow of watercourses when the flow exceeds the drainage capacity of their channels, intensified by anthropogenic interventions such as soil waterproofing, suppression of vegetation cover, and occupation of floodplains. In the municipality of Estância (SE), susceptibility to these events is enhanced by the predominantly flat relief, low altitudes, and the presence of fluviomarine environments. Thus, this study analyzes the vulnerability to flooding in the municipality of Estância using remote sensing and geoprocessing techniques, applying the Analytic Hierarchy Process (AHP). Altimetric, pedological, geological, geomorphological, rainfall, drainage density, land use and occupation data were integrated. Drainage density, slope orientation, and terrain forms were also analyzed. The results showed that high and very high vulnerability classes are concentrated in areas of lower altitude and low slope, associated with concave landforms, impermeable soils, and proximity to watercourses. Thus, vulnerability to flooding stems from the interaction between natural physical factors and anthropogenic pressures, highlighting the importance of territorial planning, land use management, and the implementation of structural and non-structural measures aimed at risk mitigation and integrated urban drainage management.

Palavras-Chave – Processo analítico hierárquico. Impermeabilização urbana. Inundação urbana.

[1]) Graduanda do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, (79) 999268874. E-mail: layra.victoria.4560@gmail.com
[2]) Graduando do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, (79) 999268874, joaorogeriioo@academico.ufs.br
3) Professor do Departamento de Engenharia Ambiental e Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacia - UFS. E-mail: psrn.geologia@gmail.com

INTRODUÇÃO

A inundação é um processo geodinâmico exógeno associado a eventos hidrometeorológicos, ocorrendo quando a vazão de um curso d'água ultrapassa a capacidade de sua calha, ocasionando o extravasamento das águas para áreas adjacentes (Tucci, 2008). A suscetibilidade a esses eventos está associada não apenas à intensidade das chuvas, mas também às características geomorfológicas e pedológicas das bacias hidrográficas, que controlam a infiltração, a retenção e o escoamento das águas superficiais. Em regiões de relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, como ocorre em grande parte do estado de Sergipe, a baixa declividade favorece o acúmulo e a expansão lateral das águas durante eventos extremos de precipitação (Dinizio Júnior; Nascimento, 2025).

O município de Estância (SE) insere-se nesse contexto fisiográfico, apresentando áreas naturalmente predispostas à inundação, especialmente nas proximidades do rio Piauitinga. O evento registrado em maio de 2009 evidenciou essa vulnerabilidade, quando chuvas intensas provocaram o transbordamento do curso d'água, ocasionando impactos significativos à população e à infraestrutura local. Diante desse cenário, o mapeamento das áreas vulneráveis a inundações constitui um instrumento fundamental para subsidiar políticas públicas de prevenção e mitigação de desastres.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento permite a análise espacial integrada de múltiplos fatores condicionantes, possibilitando maior precisão na identificação das áreas suscetíveis (Dinizio Júnior; Nascimento, 2025). Nesse contexto, o Processo Analítico Hierárquico (AHP), proposto por Saaty (1980), destaca-se como método multicritério amplamente utilizado para apoiar a tomada de decisão, ao permitir a atribuição de pesos relativos às variáveis envolvidas, reduzindo a subjetividade na modelagem da vulnerabilidade.

Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo avaliar a vulnerabilidade a inundações no município de Estância (SE), por meio da modelagem integrada de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os procedimentos metodológicos fundamentam-se na elaboração de uma base cartográfica digital georreferenciada, contemplando variáveis condicionantes como hipsometria, declividade, pedologia e uso e cobertura do solo, integradas por meio do método do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

MATERIAL E MÉTODO

A área de estudo, inserida no litoral sul Sergipano, possui uma área de aproximadamente 644,5 km^2. Localiza-se entre as coordenadas 11°27'14" e 11°3'11" de latitude Sul e 37°33'22" e 37°15'32" de longitude Oeste (Figura 1). O principal acesso a partir de Aracaju é feito pela rodovia BR-101, em um percurso de aproximadamente 68 km.

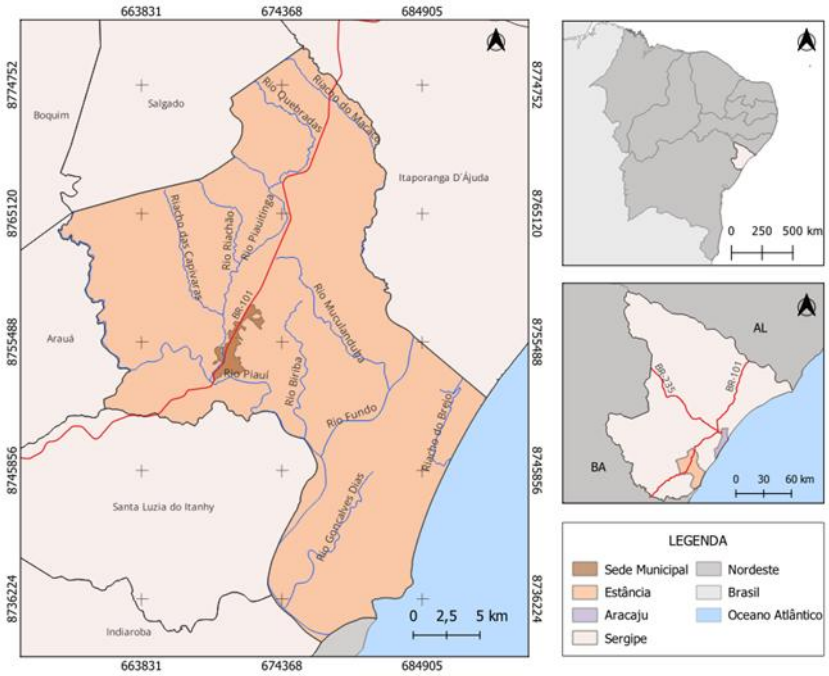


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: Autores (2026).

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram utilizados os dados vetoriais do Atlas Digital de Recursos Hídricos do estado de Sergipe e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; os dados matriciais do Projeto MapBiomas e os do Banco de Dados Geomorfométricos. O processamento dos dados foi realizado no *software* livre QGIS, versão 3.40.11, adotando-se o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, na projeção UTM, Zona 24S.

Inicialmente, foram elaborados os mapas temáticos de precipitação, de pedologia, de geomorfologia, de geologia, de uso e cobertura do solo, de hipsometria, de declividade, de densidade de drenagem, de formas do terreno e de orientação das vertentes. A declividade foi classificada conforme os intervalos propostos pela Embrapa (1999), enquanto o mapa hipsométrico foi estruturado em classes altimétricas de 0–10 m, 10–29 m, 29–57 m, 57–85 m e 85–140 m. A densidade de drenagem foi obtida a partir da extração automática da rede de drenagem, sobre a qual se aplicou a técnica de estimativa de densidade Kernel, resultando em uma superfície contínua que expressa a concentração de cursos d'água por unidade de área. A forma do terreno foi determinada pela classificação das encostas em superfícies horizontais e verticais, as quais exercem influência direta sobre o escoamento superficial e a concentração de água na superfície. A orientação das vertentes, por sua vez, foi definida a partir das direções predominantes das encostas em relação aos pontos cardeais.

Para a confecção dos mapas de vulnerabilidade à inundação, foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Para o mapeamento da vulnerabilidade, foram definidos como critérios a cobertura do solo, a pedologia, a declividade e a altimetria do terreno. Esses critérios foram utilizados

por influenciarem diretamente a dinâmica do escoamento superficial e o acúmulo de água. A cobertura do solo define o grau de impermeabilização; a pedologia determina a capacidade de infiltração; a declividade controla a velocidade do escoamento; e a altimetria identifica áreas de baixa cota, mais suscetíveis a inundações. Em seguida, os mapas temáticos correspondentes a cada critério foram padronizados no formato matricial e reclassificados, com a atribuição de pesos às classes de acordo com o grau de influência no fenômeno analisado, utilizando-se uma escala de 1 a 5 conforme proposto por Saaty (1980) (Tabela 1).

Tabela 1 - Atribuição dos pesos (P) às variáveis hipsometria (Hip), declividade (Dec), cobertura do solo (CobS) e pedologia (Ped)

Hip (metro)	P	Dec (%)	P	CobS	P	Ped	P
0–5	5	0-3	5	Corpo d'água	5	Corpo d'água	5
5-10	4	3-8	4	Área urbana	5	Neossolo	4
10-15	3	8-20	3	Mangue	4	Gleissolo	3
15-20	2	20-30	2	Pastagem	2	Espodossolo	2
>20	1	>30	1	Praia	1	Argissolo	1

Em seguida, foi construída a matriz de comparação pareada, com base na escala fundamental proposta por Saaty (Tabela 2), na qual são atribuídos valores numéricos destinados a hierarquizar a importância relativa de cada critério em relação aos demais, por meio de comparações par a par (Tabela 3).

Tabela 2 - Pesos atribuídos as variáveis em formato matricial. Adaptado de Saaty, 1980.

Valores	Importância
1/3	Fortemente menos importante
1/2	Moderadamente menos importante
1	Igual importância
2	Modernamente mais importante
3	Fortemente mais importante

Tabela 3 - Matriz de comparação pareada.

Fatores	Cobertura do solo	Hipsometria	Declividade	Pedologia
Cobertura do solo	1	3	3	3
Hipsometria	1/3	1	1	2
Declividade	1/3	1	1	2
Pedologia	1/3	1/2	1/2	1

A partir dessa matriz, foram calculados os pesos normalizados de cada critério (Equação 1), bem como o autovalor máximo (Equação 2). Em seguida, foram determinados o índice de consistência (Equação 3) e a razão de consistência (Equação 4), sendo considerados aceitáveis apenas os resultados com RC inferior a 0,1, o que assegura a coerência dos julgamentos atribuídos, com base no índice randômico (IR) apresentado na Tabela 4.

$$Pn = \sum \frac{a_{mn}}{n} \quad \text{(Equação 1)} \qquad \lambda_{máx} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{[A_{W_i}]}{w_i} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n-1} \quad \text{(Equação 3)} \qquad RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{(Equação 4)}$$

Tabela 4 - Valores de IR para quantidade de critérios. Adaptado de Saaty, 1980.

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
IR	0	0	0,58	**0,90**	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Os pesos atribuídos às variáveis cobertura do solo declividade, hipsometria e pedologia foram, respectivamente, 0,476, 0,206, 0,206 e 0,111. Por fim, os mapas dessas variáveis foram integrados aos respectivos pesos, resultando no mapa de vulnerabilidade à inundação, classificado em cinco classes de risco, variando de muito baixo a muito alto. Considerando que o Índice Aleatório (IR) = 0,90, obteve-se Razão de Consistência (RC) de 0,026, valor inferior ao limite de 0,10 recomendado por Saaty (1980), indicando adequada coerência dos julgamentos.

RESULTADOS

A análise conjunta dos mapas de geologia, geomorfologia e pedologia (Figura 2) permitiu identificar duas áreas principais no município de Estância, com comportamentos distintos em relação à ocorrência de inundações.

A primeira área é composta predominantemente por solos Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos (Figura 2A), geralmente associados a áreas de pastagem e fragmentos de vegetação natural. Esses solos apresentam uma camada subsuperficial mais argilosa, que dificulta a infiltração da água e favorece o escoamento superficial. Entretanto, nessa unidade ocorrem as maiores declividades, variando entre 8% e 45% (Figura 4B), altitudes mais elevadas e índices pluviométricos inferiores a 1.500 mm/ano (Figura 3B), condições que favorecem a rápida drenagem da água e reduzem a suscetibilidade à ocorrência de inundações (IPT, 2007; Tucci, 2008).

A segunda área é composta por depósitos sedimentares litorâneos e aluvionares recentes (Figura 2B), inseridos em planícies fluviais, fluviomarinhas e marinhas, além de campos de dunas, identificados no mapa geomorfológico (Figura 2B). Os solos predominantes são os Gleissolos, Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 2C), os quais ocorrem em áreas de baixa altitude e baixa declividade. Os Gleissolos, em razão da drenagem deficiente, permanecem frequentemente saturados, enquanto os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, apesar de sua textura mais arenosa, podem apresentar encharcamento temporário devido à proximidade do lençol freático, dos cursos d'água e de lagoas, bem como à influência das marés. Estes fatores que favorecem o acúmulo de água

e aumentam a vulnerabilidade à inundação, especialmente em setores submetidos a maiores índices pluviométricos (Juste; Reis; Paz, 2025).

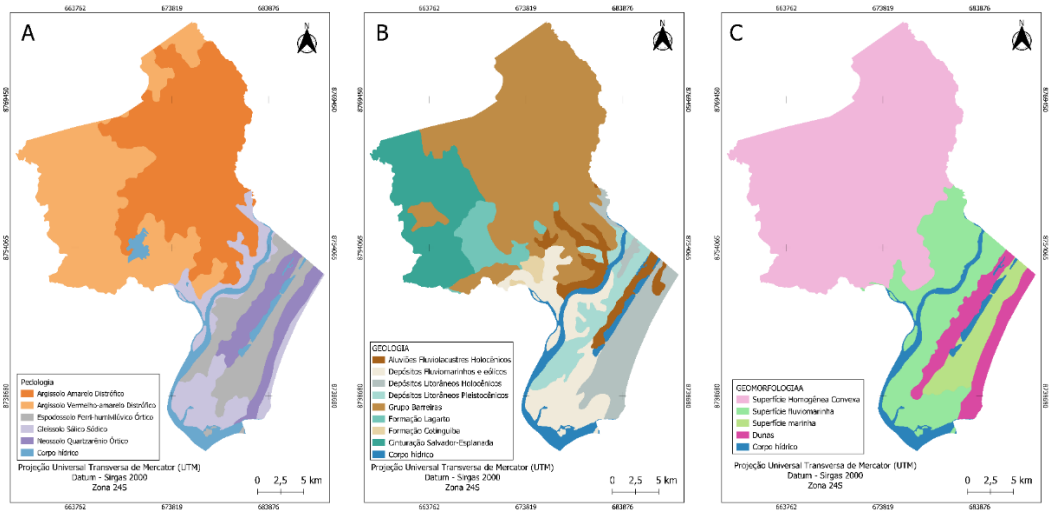


Figura 2 – Mapas simplificados de pedologia (a), geologia (b) e geomorfologia (c). Autores, 2026.

As taxas de precipitação (Figura 3B) variam entre 1.300 mm/ano e 1.800 mm/ano, sendo que os maiores índices, entre 1.700 e 1.800 mm/ano, concentram-se predominantemente na porção leste, próxima à faixa litorânea. Em contraste, as áreas centrais e ocidentais apresentam valores mais baixos, variando entre 1.300 e 1.500 mm/ano. Essa distribuição espacial das chuvas influencia diretamente a dinâmica de uso e ocupação do solo, bem como a suscetibilidade à inundação no município.

Em relação ao uso do solo, observa-se o predomínio da pastagem, especialmente nas porções centrais e ocidentais, evidenciando o uso rural intensivo e a substituição da vegetação nativa (Figura 3A). Nessas áreas, apesar da menor precipitação, a redução da cobertura vegetal pode favorecer o aumento do escoamento superficial. Por outro lado, as formações florestais e os manguezais concentram-se principalmente nas áreas litorâneas e nas faixas marginais aos corpos hídricos, refletindo a presença de ecossistemas associados à planície costeira, justamente onde se registram os maiores índices pluviométricos. A área urbana também se destaca nas proximidades da zona costeira e dos principais canais de drenagem, o que intensifica a vulnerabilidade à inundação, uma vez que esses setores reúnem elevada precipitação, alta densidade de ocupação, baixa altitude e proximidade de corpos d'água. Dessa forma, a interação entre regime pluviométrico e padrão de uso do solo constitui um fator determinante para a configuração das áreas mais suscetíveis a eventos de inundação no município.

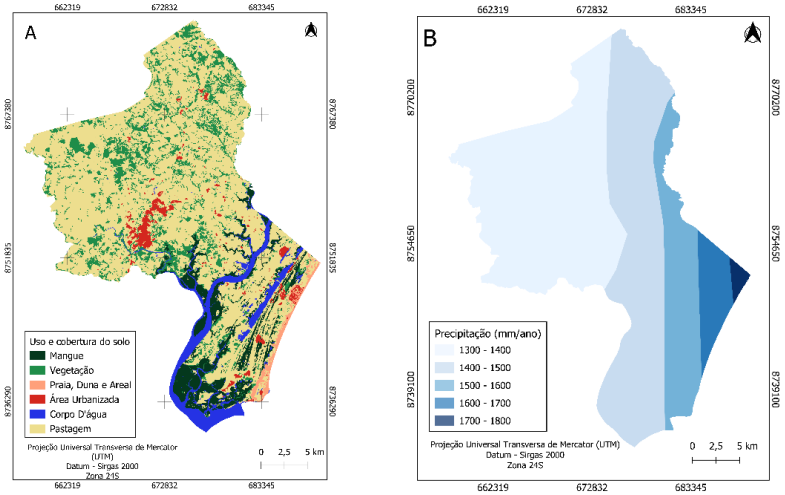


Figura 3 – Mapas de cobertura do solo (A) e precipitação (B). Autores (2026).

O relevo do município de Estância é caracterizado pelo predomínio de cotas altimétricas baixas, com 28,25% da área total situada entre 0 e 10 m. As faixas de 29 a 57 m e de 57 a 85 m representam, respectivamente, 24,43% e 22,61% do território municipal (Figura 4A). Essa distribuição altimétrica revela a ampla extensão de superfícies rebaixadas, particularmente nas planícies aluviais e nas áreas próximas à rede hidrográfica, onde as condições topográficas favorecem a retenção e o acúmulo de água.

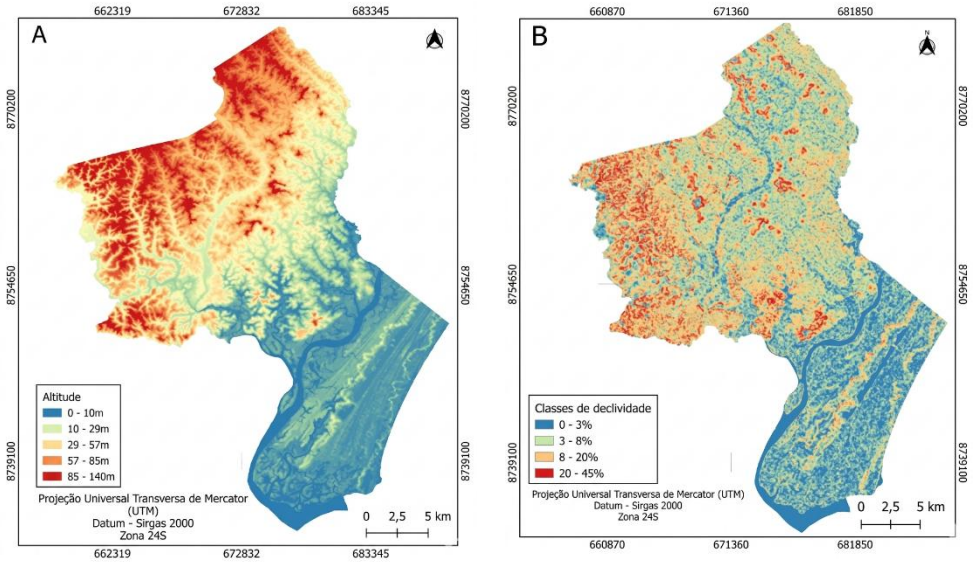


Figura 4 – Mapas de hipsometria (A) e declividade (B). Autores (2026).

Quanto à declividade, verifica-se o predomínio de superfícies suavemente inclinadas, que totalizam 65,95% do território municipal, distribuídas entre as classes de 0 a 3% (27,12%) e 3 a 8% (38,83%). As declividades moderadas, compreendidas entre 8 e 20%, correspondem a 29,13% da área (Figura 4B). Essa configuração topográfica indica que a maior parte do município apresenta relevo pouco dissecado, condição que reduz a eficiência do escoamento superficial e favorece a saturação

hídrica do solo, sobretudo quando associada a solos de baixa permeabilidade, como os Gleissolos e os Argissolos com horizonte B textural.

Por sua vez, as áreas de maior altitude, compreendidas entre 57 e 140 m, associadas às declividades mais elevadas (20 a 45%), correspondem a apenas 4,92% do território municipal e funcionam como zonas de escoamento rápido das águas pluviais, promovendo a transferência dos fluxos para as porções mais rebaixadas do relevo. Esse padrão topográfico intensifica a convergência e o acúmulo de água nas áreas de menor altitude, elevando a suscetibilidade à ocorrência de inundações, especialmente nos setores urbanos e agrícolas situados a jusante.

A densidade de drenagem apresenta valores baixos a moderados nas planícies, indicando menor eficiência do escoamento superficial. Em contraste, os maiores valores concentram-se nos setores de encosta, associados a maiores declividades e altitudes (Figura 5A). Esse padrão indica que as áreas mais planas, sobretudo próximas ao litoral e às margens dos principais cursos d'água, são mais suscetíveis a inundações devido ao acúmulo de água e à baixa capacidade de drenagem.

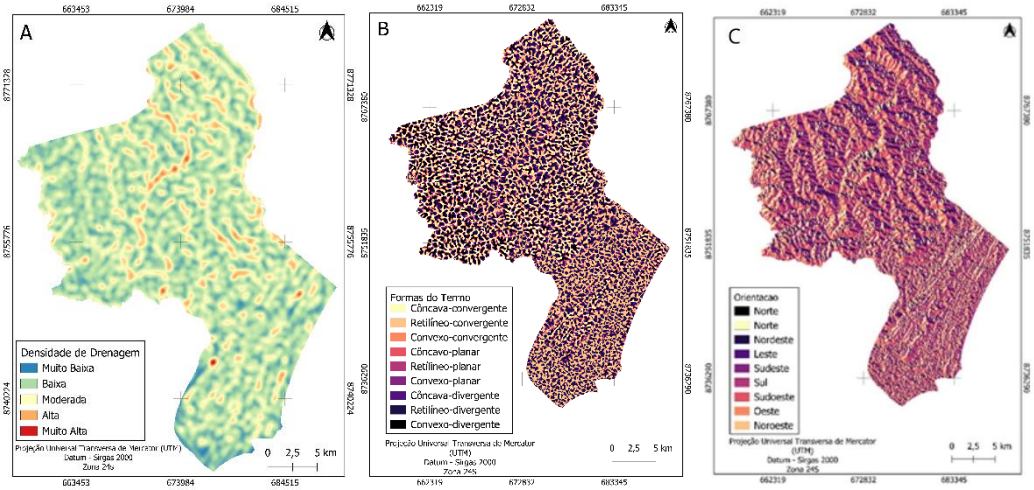


Figura 5 – Mapas de densidade de drenagem (A), forma de terreno (B) e orientação (C).
Autores (2026).

No município de Estância, predominam formas de terreno convexas e retilíneas nos setores de maior altitude e declividade, que favorecem a dispersão do escoamento superficial e reduzem o acúmulo de água. Em contrapartida, as formas côncavas, concentradas em áreas de baixa declividade e próximas aos cursos d'água, atuam como zonas de convergência do fluxo, com maior concentração hídrica (Figura 5B).

A orientação das vertentes apresenta distribuição relativamente homogênea, com predomínio de encostas voltadas para leste, sudeste e sul (Figura 5C). Associadas a formas côncavas e declividades suaves, essas vertentes favorecem a retenção de água, aumentando a vulnerabilidade à inundação. Em contraste, vertentes voltadas para norte, oeste e noroeste, quando combinadas com

maiores declividades e formas convexas, favorecem o escoamento superficial e reduzem a suscetibilidade à acumulação hídrica.

O mapa de vulnerabilidade à inundação (Figura 6) evidencia uma clara diferenciação espacial no município, com predomínio de classes Muito Baixa (19,86%), Baixa vulnerabilidade nas porções norte, noroeste e centro-oeste (31,22), e Moderada (28,58%) enquanto as classes Alta (8,08%) e Muito Alta (12,28%) concentram-se principalmente na faixa leste e sudeste, associadas às áreas de planície fluvial e costeira.

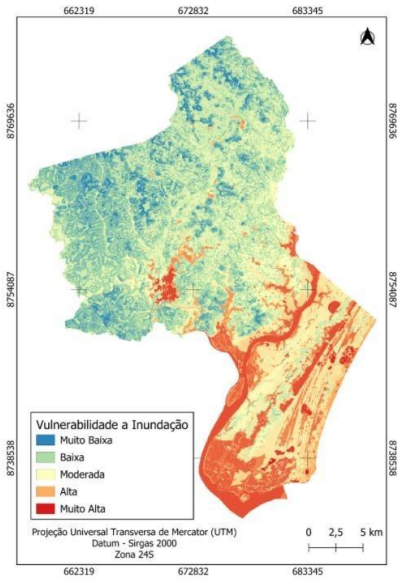


Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade à inundação de Estância (SE). Autores (2026).

As áreas classificadas como Muito Baixa e Baixa vulnerabilidade corresponde, em geral, aos setores de maiores altitudes e maiores declividades, onde a dinâmica do relevo favorece o escoamento superficial mais rápido e reduz o tempo de permanência da água na superfície. Nessas regiões, apesar da ocorrência de precipitação significativa, as características geomorfológicas contribuem para menor suscetibilidade a alagamentos prolongados. Por outro lado, as classes Alta e Muito Alta vulnerabilidade concentram-se nas áreas de menor altitude e baixa declividade, especialmente ao longo das planícies fluviais e na zona costeira. Esses setores apresentam maior propensão ao acúmulo de água, seja pela proximidade do nível do mar, pela influência de marés, seja pela presença de solos com drenagem deficiente e lençol freático raso.

Destaca-se que a área urbana foi classificada como área de risco, sobretudo devido à presença do rio Piauitinga, que atravessa o município e exerce forte influência na dinâmica hidrológica local. A ocupação urbana próxima às margens do rio, associada à impermeabilização do solo e à redução da infiltração, intensifica o escoamento superficial e eleva a probabilidade de transbordamentos em períodos de chuvas mais intensas. Dessa forma, a interação entre fatores naturais e antrópicos explica a concentração das maiores classes de vulnerabilidade nas áreas ribeirinhas e costeiras do município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, morfométricos e de uso e cobertura do solo em Estância (SE) evidencia que a vulnerabilidade à inundação resulta da interação entre condicionantes naturais e ações antrópicas. A predominância de solos com baixa drenagem dos solos associada a relevos planos, declividades suaves (0–3%) e baixas altitudes, favorece a saturação hídrica superficial. Esse quadro é intensificado pelo regime pluviométrico, com totais anuais de até 1.800 mm, e pela geologia local, composta por depósitos sedimentares recentes, que, embora porosos, saturam-se rapidamente em eventos de chuva intensa.

O mapa de vulnerabilidade à inundação revela um padrão espacial definido, no qual as classes alta e muito alta concentram-se nas planícies fluviais, fluviomarinhas e marinhas, sobretudo próximas aos cursos d'água e à faixa litorânea. Esses setores apresentam baixas altitudes, declividades suaves, formas côncavas e predominância de solos com drenagem deficiente, condições que favorecem a retenção de água durante eventos de chuva intensa. Em contraste, as áreas de baixa vulnerabilidade distribuem-se nas porções mais elevadas do município, associadas a maiores declividades, o que favorece o escoamento superficial e reduz a suscetibilidade a inundações.

Dessa forma, a análise multicritério permitiu identificar de modo consistente as áreas mais suscetíveis à inundação em Estância, fornecendo subsídios ao planejamento urbano e à adoção de medidas preventivas, como a preservação de áreas sensíveis e o ordenamento da ocupação do solo. Esses estudos são fundamentais para mitigar impactos socioambientais das inundações e fortalecer estratégias de adaptação e resiliência municipal frente à intensificação das chuvas intensas.

REFERÊNCIAS

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2007). *"Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios."* Ministério das Cidades Brasília-DF, 176p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. (1999). *"Sistema brasileiro de classificação de solos."* Embrapa Solos Rio de Janeiro-RJ, 1999.

JUSTE, T. F.; REIS, M. M.; PAZ, I. S. R. (2025). *"Classificação hidrológica de solos brasileiros utilizando critérios do método do Serviço de Conservação do Solo"*. Geosul, 40(92) pp. 359–383.

NASCIMENTO, P. S. R.; DINIZIO JUNIOR, L. S. (2025). *"Análise hierárquica aplicada a riscos geo-hidrológico: análise espaço-temporal de alagamento e inundação no município de Aracaju (SE)"*. Revista Mineira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 6, pp. 1-29.

SAATY, T. L. (1980). "*The Analystic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*". Mcgraw-hill New York, 287p.

TUCCI, C. E. M. *"Águas urbanas"*. Estudos avançados, 22(63) pp. 97-112.