ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NA SUB-BACIA DO RIO COTINGUIBA (SE)

Emerson José Bispo de Santana [1]

Jhonnata Rayan Almeida Santos [2]

Ronaldo Missura [3]

RESUMO

Este artigo propõe uma análise da fragilidade geoambiental da sub-bacia do rio Cotinguiba, localizada em Sergipe, com o objetivo de diagnosticar áreas de vulnerabilidade intrínseca e antrópica, essencial para o planejamento territorial em face da crescente expansão urbana e industrial. O referencial teórico-metodológico adotado fundamenta-se na análise sistêmica e nos preceitos de fragilidade ambiental de Ross, atualizados pela metodologia de Moroz-Caccia Gouveia e Ross, que distingue a fragilidade potencial (atributos físicos) da fragilidade emergente (uso e ocupação da terra). Para o processamento e a elaboração da cartografia temática, utilizou-se o software QGIS, o Modelo Digital de Elevação ANADEM (30m) e a técnica de sobreposição ponderada em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, com destaque para a aplicação da extração automatizada de Geomorphons para um diagnóstico robusto do relevo. Os resultados demonstram que a sub-bacia possui uma elevada fragilidade geoambiental. A Fragilidade Potencial revela que 72,92% da área é classificada como Alta e Muito Alta, impulsionada pela predominância de Argissolos (42%), que são altamente suscetíveis à erosão. A Fragilidade Emergente, por sua vez, atesta a intensificação da degradação causada pelo manejo inadequado, com as classes Média e Alta somando 86,72% da área total, confirmando que a intervenção antrópica converteu a vulnerabilidade intrínseca em ameaça concreta. Conclui-se que a sub-bacia enfrenta severa deterioração ambiental, demandando a implementação urgente de gestão territorial sustentável, saneamento básico e programas de recuperação das Áreas de Preservação Permanente, a fim de garantir a resiliência ecossistêmica e a segurança hídrica futura.

Palavras-chave: Fragilidade geoambiental, Geomorphons, Bacia hidrográfica, Uso da terra, Rio Cotinguiba.

[1] Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFS, bispoemerson6401@gmail.com;
[2] Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFS, Jhonnatarayan80@gmail.com;
[3] Professor do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFS, ronaldomissura@gmail.com



INTRODUÇÃO

As Bacias Hidrográficas são unidades essenciais (GUERRA; GUERRA, 2008) cuja degradação antrópica torna vital o diagnóstico de áreas vulneráveis para a manutenção do equilíbrio ambiental natural (ROSS, 1994; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Neste contexto, o presente trabalho busca fazer um panorama fragilidade geoambiental da sub-bacia do rio Cotinguiba (SE), que possui atividades antrópicas relacionadas à cana de açúcar desde o século XVII. A análise foi feita baseada na metodologia aplicada por Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019) que testa a aplicação da metodologia de *Geomorphons de* JASIEWICZ STEPINSKI *(2013)* em substituição ao mapeamento geomorfológico analógico. No artigo os autores distinguem a fragilidade potencial (atributos físicos intrínsecos) da fragilidade emergente (uso e ocupação da terra), priorizando parâmetros morfológicos distinguidos digitalmente pela metodologia dos geomorphons e detalhados para garantir maior precisão do que o uso isolado da declividade (MOROZ-CACCIA GOUVEIA; ROSS, 2019).

Para o mapeamento, utilizou-se de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) este trabalho foi implementado no software QGIS 3.44.9 e o uso do MDE ANADEM (30m). A integração de geotecnologias permitiu superar limitações analógicas, reduzindo a subjetividade na análise de vertentes e planícies e otimizando o fluxo de trabalho e tempo de execução.

METODOLOGIA

O percurso metodológico fundamenta-se na análise sistêmica dos componentes físicos e antrópicos da sub-bacia do rio Cotinguiba (SE). Para a manipulação cartográfica, utilizou-se o software QGIS (versão 3.44.9), com georreferenciamento no SIRGAS 2000 UTM 24S. A análise do relevo partiu do MDE ANADEM (30m) que, pela remoção do viés de vegetação, melhora a extração de variáveis morfológicas e

geofísicas, gerando representações mais realistas para redes de drenagem e delimitação de bacias (Santos et. al. 2024).

Sobre este MDE, aplicou-se a extração automatizada de *geomorphons*, técnica que identifica elementos morfológicos de forma holística e computacionalmente eficiente, superando as limitações da geometria diferencial e da declividade isolada ao delimitar com precisão microestruturas como planícies fluviais e vertentes (MOROZ-CACCIA GOUVEIA; ROSS, 2019), agrupando as 10 classes geomorphons (Plano, pico, crista, ressalto crista secundária, encosta, escavado, base da encosta, vale e depressão.) nas seguintes classes: Topos aplainados, vertentes convexas, vertentes côncavas e planície de inundação, sendo possível definir o valor de fragilidade a cada uma das classes, como demonstra a tabela abaixo (tabela 1).

Geomorphons	**Classes de Declividades**	**Tipos de Solo**	**Classes de Uso e Cobertura do Solo**	**Níveis de Fragilidade**
Topos (picos - 2, cristas - 3 e cristas secundárias - 5)	Plano	Chernossolos	Cobertura arbórea	1 – Muito Baixo
—	Suave Ondulado	—	Cultivo	2 – Baixo
Vertentes convexas e plano-convexas (Encostas - 6)	Ondulado	Argissolos	Pastagem	3 – Médio
—	Forte Ondulado	Espodossolos	Solo exposto	4 – Alto
Vertentes côncavas e plano-côncavas (bases das encostas - 9 e escavados - 10)	Montanhoso	Neossolos	Áreas Urbanas	5 – Muito Alto
Planície Fluvial (fossos - 7 e vales - 8)	Plano	Gleissolos	Áreas sujeitas a inundações	Áreas sujeitas a inundações

Tabela 1. Pesos atribuídos aos componentes das variáveis

A avaliação da fragilidade geoambiental seguiu os preceitos de Ross (1994), atualizados pela metodologia de Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019), que integra parâmetros morfológicos e morfométricos para distinguir a fragilidade potencial (intrínseca aos atributos físicos) da fragilidade emergente (decorrente da conversão do uso e cobertura da terra). A síntese dessas variáveis foi processada em ambiente SIG

através da ferramenta "Calculadora Raster", utilizando a técnica de sobreposição ponderada (weighted overlay) para o cruzamento de dados de pedologia (IBGE, 2025), uso da terra (MapBiomas, Coleção 2023) e declividade (EMBRAPA 1979).

Como resultado desse processamento, foram gerados produtos cartográficos fundamentais: delimitação da bacia hidrográfica, Declividade, Geomorphons. E a partida da delimitação da bacia foram recortados para sua área a Pedologia e o Uso e Cobertura da Terra, além dos mapas síntese de Fragilidade Potencial e Emergente.

A integração final das variáveis ambientais foi realizada em ambiente SIG por meio da ferramenta "Calculadora Raster", utilizando a técnica de sobreposição ponderada (weighted overlay). Este procedimento permitiu a manipulação integrada de um grande número de variáveis e gerar diagnósticos precisos sobre a vulnerabilidade geoambiental da área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Sub-bacia do Rio Cotinguiba (figura 1) está inserida na Bacia do Rio Sergipe, sendo um afluente fundamental para a drenagem principal. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe (2010), a Sub-bacia do Rio Cotinguiba possui uma área de 239,91 km² e uma disponibilidade hídrica de aproximadamente 23.021.146 m³/s, o sistema de drenagem é classificado como exorreico, com o fluxo das águas destinado ao oceano Atlântico (CHRISTOFOLETTI, 1981 apud NASCIMENTO FILHO et al., 2023) e o território contempla os municípios de Areia Branca, Laranjeiras, Nossa Senhora do Socorro e Riachuelo (NASCIMENTO FILHO et al., 2023, p. 12).

A elaboração do mapeamento de declividade permitiu uma percepção preliminar do comportamento da inclinação do relevo e das drenagens, auxiliando na identificação de setores com maior potencial de fragilidade geoambiental. Contudo, conforme argumentam Moroz-Caccia Gouveia e Ross (2019), a análise baseada estritamente em

parâmetros morfométricos (declividade) é insuficiente, pois pode classificar erroneamente áreas de planícies como de baixa fragilidade, desconsiderando sua instabilidade hidrológica intrínseca (figura 2).

A elaboração do mapa de pedologia foi realizada a partir de dados disponibilizados pelo IBGE e atualizados em 2025, com resolução de 1:25.000, escala que permite uma análise detalhada da vulnerabilidade do terreno(figura 2).

Os resultados indicaram a predominância de Argissolos (42%), classe que se caracteriza pela "presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa" (AGUIAR NETTO; apud NASCIMENTO FILHO et al., 2023, p. 20) e por ser "bastante suscetível à erosão" (AGUIAR NETTO; apud NASCIMENTO FILHO et al., 2023, p. 20).

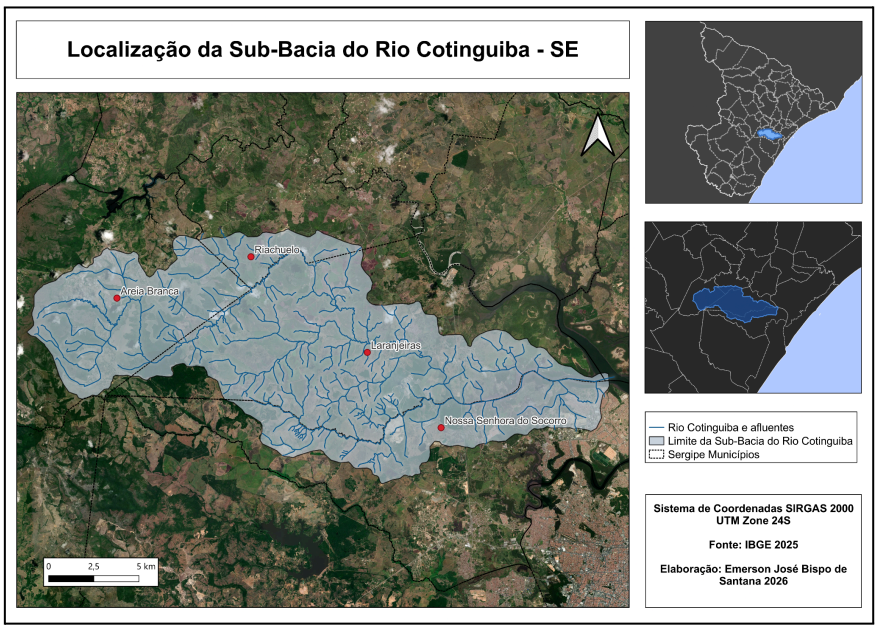


Figura 1. Mapa de Localização da Sub-Bacia do Rio Cotinguiba - SE

Identificou-se também Chernossolos (19%), Gleissolos (17,79%), Neossolos (14,02%), descritos como solos sem horizonte B diagnóstico (AGUIAR NETTO; apud NASCIMENTO FILHO et al., 2023, p. 21), e Espodossolos (5,44%).

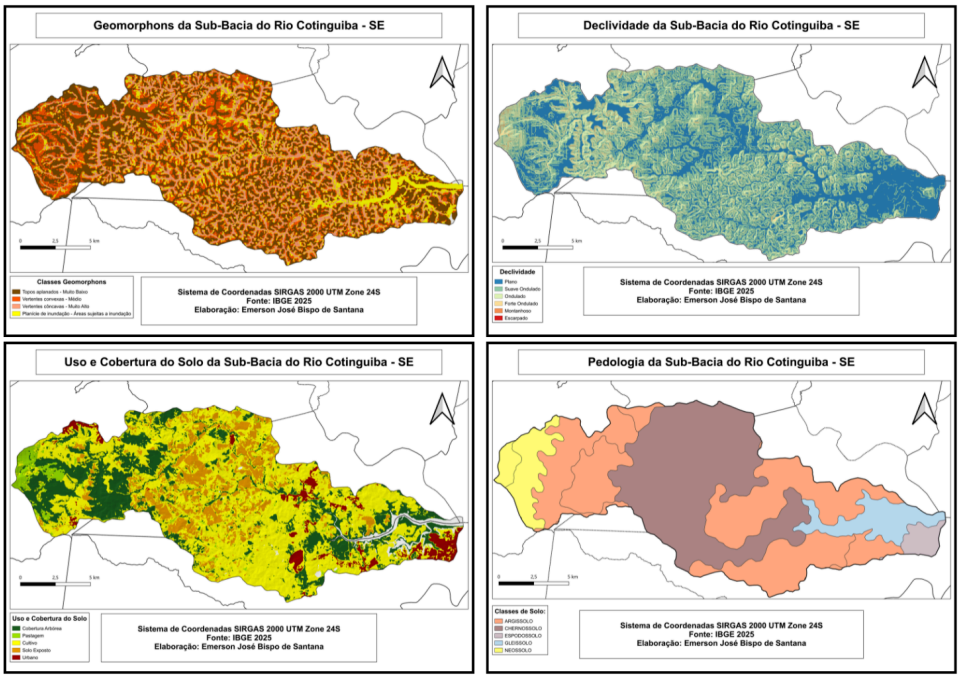


Figura 2. Mapas de Declividade, Pedologia, Geomorphons e Uso e Ocupação do Solo da Sub-Bacia do Rio Cotinguiba - SE

A geração do mapa de classes de *geomorphons* foi realizada em ambiente SIG, fundamentando-se no princípio do reconhecimento de padrões para a classificação automatizada de formas de relevo, o que permite identificar os chamados "fonótipos geomorfológicos" (JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013, p. 148). Essa abordagem tecnológica é fundamental para a análise geomorfológica moderna, pois possibilita identificar as microestruturas fundamentais do relevo de maneira robusta, reduzindo a subjetividade inerente à classificação manual e otimizando o tempo de delineação das unidades (MOROZ-CACCIA GOUVEIA; ROSS, 2019).

O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado com dados do MapBiomas (2023). O registro das intervenções antrópicas é fundamental para a análise da fragilidade emergente, permitindo compreender como a substituição da vegetação original altera a estabilidade natural dos ecossistemas (ROSS, 1994; MOROZ-CACCIA GOUVEIA; ROSS, 2019).

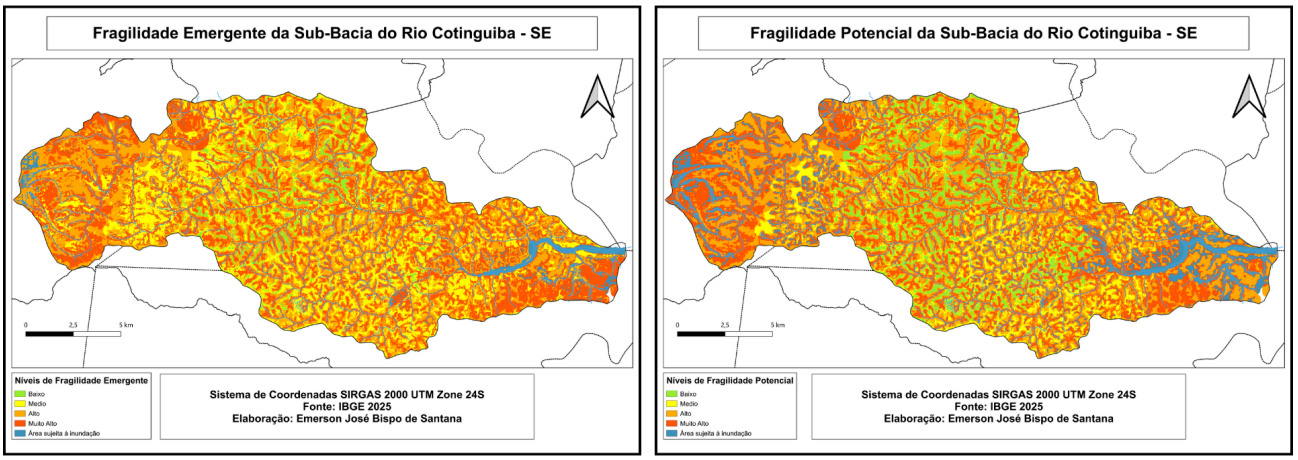


Figura 3. Mapa de Fragilidade Emergente e Potencial da Sub-Bacia do Rio Cotinguiba - SE

Classe	Potencial (km²)	Potencial (%)	Emergente (km²)	Emergente (%)
Baixo	19,532	8,17	6,007	2,57
Médio	24,936	10,42	77,354	33,12
Alto	91,571	38,28	125,181	53,6
Muito Alto	82,846	34,64	24,292	10,4
Áreas sujeitas a inundações	20,309	8,49	0,729	0,31
TOTAL	**239,193**	**100**	**239,193**	**100**

Tabela 2. Valores da Distribuição das classes de Fragilidade (Potencial e Emergente)

A análise dos mapas de Fragilidade Potencial e Emergente, sintetizada na Tabela 2, revela a magnitude da vulnerabilidade geoambiental na sub-bacia do rio Cotinguiba. Em relação à Fragilidade Potencial, que representa a vulnerabilidade intrínseca do meio físico (relevo e solos), 72,92% da área total (174,417 km²) foi classificada nas categorias Alto (38,28% ou 91,571 km²) e Muito Alto (34,64% ou 82,846 km²). Este resultado confirma a alta suscetibilidade natural da bacia, reforçada pela predominância de Argissolos (42%) suscetíveis à erosão e pela identificação de microestruturas de relevo instáveis através dos *geomorphons* (conforme detalhado na metodologia). Além

disso, a categoria "Áreas sujeitas a inundações" corresponde a 8,49% (20,309 km²) da fragilidade potencial.

A análise da Fragilidade Emergente, que incorpora o uso e cobertura da terra, demonstra uma intensificação da degradação ambiental, resultante da ocupação predatória sobre o meio físico vulnerável. As classes de fragilidade Alto e Médio totalizam 86,72% da sub-bacia. A classe Alto se torna a mais expressiva, abrangendo 53,6% (125,181 km²), um aumento significativo em relação à Fragilidade Potencial. A classe Médio também apresenta um aumento expressivo, passando de 10,42% para 33,12%. Em contrapartida, a área classificada como Muito Alto reduziu de 34,64% para 10,4%, e as Áreas sujeitas a inundações diminuíram drasticamente para 0,31%.

Essa transição reflete o impacto antrópico, onde usos como a expansão urbana, o cultivo de cana-de-açúcar e a pastagem convertem áreas de equilíbrio dinâmico ou de vulnerabilidade potencial em setores de alta degradação efetiva, amplificando a fragilidade em grande parte da bacia. A redução nas classes de Fragilidade Baixa (de 8,17% para 2,57%) e nas áreas naturalmente sujeitas a inundações (de 8,49% para 0,31%) na Fragilidade Emergente sugere que estas áreas foram convertidas em classes de maior vulnerabilidade (Médio e Alto) pelo uso da terra, o que está em consonância com as Considerações Finais ao apontar que a morfologia com vales e planícies fluviais exige manejo cauteloso. Em suma, o cruzamento da fragilidade potencial com o mapa de uso e cobertura do solo indica que o manejo inadequado transformou a vulnerabilidade intrínseca da paisagem em uma ameaça concreta à estabilidade geoambiental do Rio Cotinguiba.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo cumpriu seu objetivo ao analisar a fragilidade geoambiental da sub-bacia do rio Cotinguiba, diagnosticando áreas vulneráveis à degradação a partir da integração de variáveis físicas e antrópicas. A principal conclusão é que a sub-bacia apresenta uma elevada fragilidade geoambiental emergente, resultado da sobreposição

de um meio físico intrinsecamente vulnerável — caracterizado pela predominância de Argissolos suscetíveis à erosão (42%) e morfologia dissecada (72,92% em fragilidade potencial Alta e Muito Alta) — com um uso e ocupação predatórios. Os resultados confirmam que a intervenção antrópica intensificou a degradação, elevando a fragilidade efetiva, com as classes Média e Alta somando 86,72% da área total.

Os achados demonstram que as atividades de alto impacto, como a expansão urbana, pastagem e a forte pressão industrial e de carcinicultura em municípios como Laranjeiras, converteram a vulnerabilidade potencial em degradação crítica, comprometendo a qualidade hídrica e a biodiversidade.

Como contribuição metodológica, o trabalho validou a aplicação da técnica de *Geomorphons* (*JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013*) em conjunto com a metodologia de fragilidade emergente (*MOROZ-CACCIA GOUVEIA e ROSS, 2019*), fornecendo um diagnóstico cartográfico mais robusto e menos subjetivo do relevo para a gestão territorial.

A limitação primária reside no caráter de análise pontual e na escala de detalhe dos dados de uso e cobertura, que, embora atuais (MapBiomas 2023, MDE ANADEM 30m), exigem monitoramento contínuo para acompanhar a rápida dinâmica de conversão da paisagem.

Em termos práticos, a gestão territorial sustentável da bacia exige ações imediatas, incluindo a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP), rigor no licenciamento ambiental e a urgência de saneamento básico nos centros urbanos. Sugere-se para estudos futuros a realização de análises temporais da degradação e a incorporação de variáveis socioeconômicas e climáticas, além da aplicação da metodologia de *Geomorphons* em outras bacias do estado de Sergipe para ampliação do zoneamento ambiental.

REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. de O.; COSTA, P. R. S. M.; SANTOS, T. I. S. (org.). Cotinguiba: águas e educação – Volume 1. 1. ed. Aracaju: Criação Editora, 2023. 204 p

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 83 p. (Série Miscelânea, 1).

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). BDiA - Banco de Dados e Informações Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br/. Acesso em: 16 maio 2026.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. Geomorphology, [s. l.], v. 182, p. 147-156, 2013

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 16 maio 2026 através do link: https://mapbiomas.org.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 37, p. 123-136, 2019

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994

SANTOS, Leonardo Laipelt dos et al. ANADEM: a digital terrain model for South America. Remote sensing. Basel. Vol. 16, n. 13 (July 2024),[article] 2321, 17 p., 2024.