

**Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Turvo Grande
(Estado de São Paulo, Brasil)**

Luiza Yashima Alduino

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
luiza.alduino@unesp.br
<https://orcid.org/0009-0000-6370-4054>

Bianca Andrade Destro

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
bianca.destro@unesp.br
<https://orcid.org/0009-0004-8338-7817>

Rebeca Juscelino Vaze

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
rebeca.vaze@unesp.br
<https://orcid.org/0009-0009-2173-818X>

César Gustavo da Rocha Lima

Professor Titular no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
cesar.lima@unesp.br
<https://orcid.org/0000-0003-1878-2912>

Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Turvo Grande (Estado de São Paulo, Brasil)

RESUMO

Objetivo - Analisar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande (UGRHI 15), localizada no noroeste do estado de São Paulo, a partir da integração de variáveis do meio físico e antrópico em ambiente SIG.

Metodologia - A metodologia adotada baseou-se no modelo de fragilidade proposto por Ross (1994) e aprimorado por Ross e Fierz (2017), incorporando dados de clima, solos, dissecação do relevo, planícies de inundação e uso e cobertura da terra. Os dados foram processados no software ArcGIS Pro, utilizando Modelo Digital de Elevação SRTM (USGS), séries pluviométricas do HidroWeb/ANA e classificações de uso da terra do MapBiomas.

Originalidade/relevância - O estudo contribui para o diagnóstico ambiental da UGRHI 15 ao integrar diferentes variáveis ambientais com o uso de geotecnologias, permitindo identificar espacialmente áreas mais suscetíveis à degradação ambiental.

Resultados - Os resultados indicaram predomínio da classe média de fragilidade potencial (45,32%), associada principalmente à média dissecação do relevo e ao predomínio de solos classificados como médios. A fragilidade emergente apresentou aumento das áreas classificadas como fortes (59,34%), refletindo a influência do uso e ocupação do solo na bacia.

Contribuições teóricas/metodológicas - A aplicação integrada do modelo de fragilidade ambiental em ambiente SIG demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a análise espacial da vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

Contribuições sociais e ambientais - Os resultados fornecem subsídios relevantes para o planejamento ambiental da UGRHI 15 e para a formulação de estratégias voltadas à conservação, ao manejo adequado do solo e à ocupação sustentável da bacia, principalmente nas regiões urbanizadas e intensamente ocupadas, como os municípios de Monte Alto, Catanduva e São José do Rio Preto.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento. Gestão ambiental. UGRHI 15.

Analysis of environmental fragility in the Turvo Grande river basin (São Paulo State, Brazil)

ABSTRACT

Objective – Analyzing the environmental fragility of the Turvo/Grande Hydrographic Basin (UGRHI 15), located in the northwestern region of the state of São Paulo, Brazil, by integrating physical and anthropogenic variables using Geographic Information System (GIS) techniques.

Methodology – The methodology adopted is based on the fragility model proposed by Ross (1994) and improved by Ross and Fierz (2017), incorporating data on climate, soils, relief dissection, flood cover, and land use and land cover. The data were processed in ArcGIS Pro software, using the SRTM Digital Elevation Model (USGS), rainfall series from HidroWeb/ANA, and land use classifications from MapBiomas.

Originality/Relevance – The study contributes to the environmental diagnosis of UGRHI 15 by integrating different environmental variables with the use of geotechnologies, allowing the spatial identification of areas most susceptible to environmental manipulation.

Results – The results indicated a predominance of the medium class of potential fragility (45.32%), mainly associated with the medium dissection of relevance and the predominance of soils classified as medium. Emerging fragility caused an increase in the most intense areas as strong (59.34%), reflecting the influence of land use and occupation in the basin.

Theoretical/Methodological Contributions – The integrated application of the environmental fragility model in a GIS environment proved to be an effective tool for the spatial analysis of environmental vulnerability in river basins.

Social and Environmental Contributions – The results provide relevant subsidies for the environmental planning of UGRHI 15 and for the formulation of strategies aimed at conservation, proper soil management and sustainable occupation of the basin, especially in urbanized and intensely occupied regions, such as the municipalities of Monte Alto, Catanduva and São José do Rio Preto.

KEYWORDS: Geoprocessing. Environmental management. UGRHI 15.

Análisis de la fragilidad ambiental en la cuenca del río Turvo Grande (estado de São Paulo, Brasil)

RESUMEN

Objetivo – Analizar la fragilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Turvo/Grande (UGRHI 15), ubicada en el noroeste del estado de São Paulo, mediante la integración de variables ambientales físicas y antropogénicas en un entorno SIG.

Metodología – La metodología adoptada se basó en el modelo de fragilidad propuesto por Ross (1994) y mejorado por Ross y Fierz (2017), incorporando datos sobre clima, suelos, disección del relieve, llanuras aluviales, uso y cobertura del suelo. Los datos se procesaron en el software ArcGIS Pro, utilizando el Modelo Digital de Elevación SRTM (USGS), series pluviométricas de HydroWeb/ANA y clasificaciones de uso del suelo de MapBiomas.

Originalidad/Relevancia – El estudio contribuye al diagnóstico ambiental de la UGRHI 15 al integrar diferentes variables ambientales mediante el uso de geotecnologías, lo que permite la identificación espacial de las zonas más susceptibles a la degradación ambiental.

Resultados – Los resultados indicaron un predominio de la clase media de fragilidad potencial (45,32%), asociada principalmente a la disección promedio del relieve y al predominio de suelos clasificados como medios. La fragilidad emergente mostró un aumento en las áreas clasificadas como fuertes (59,34%), lo que refleja la influencia del uso y la ocupación del suelo en la cuenca.

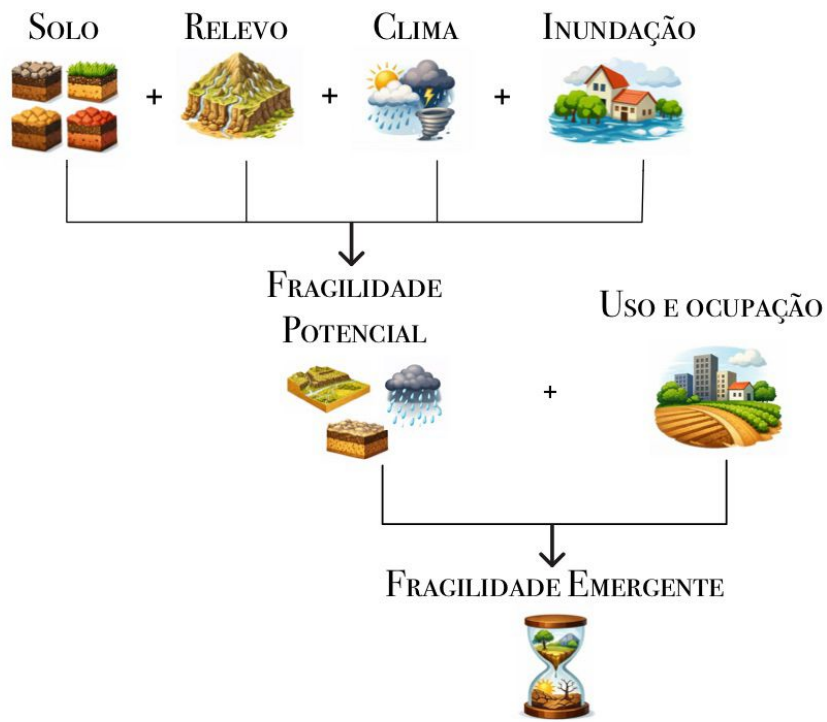
Contribuciones Teóricas/Metodológicas – La aplicación integrada del modelo de fragilidad ambiental en un entorno SIG demostró ser una herramienta eficaz para el análisis espacial de la vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Los resultados aportan importantes beneficios para la planificación ambiental de la UGRHI 15 y para la formulación de estrategias orientadas a la conservación, la gestión adecuada del suelo y la ocupación sostenible de la cuenca, especialmente en regiones urbanizadas e intensamente ocupadas, como los municipios de Monte Alto, Catanduva y São José do Rio Preto.

PALABRAS CLAVE: Geoprocesamiento. Gestión ambiental. UGRHI 15.

RESUMO GRÁFICO

FRAGILIDADE AMBIENTAL



1 INTRODUÇÃO

A relação entre sociedade e natureza sempre esteve condicionada à forma como o ser humano utiliza, ocupa e transforma o espaço geográfico. Em regiões brasileiras marcadas pela expansão agrícola, crescimento urbano e aumento da pressão sobre os recursos naturais, observa-se a necessidade crescente de instrumentos capazes de avaliar a vulnerabilidade ambiental e subsidiar o planejamento territorial. Neste contexto, há uma preocupação direta em relação à influência antrópica no meio ambiente e as bacias hidrográficas, devido ao grande impacto causado pelo avanço na ocupação territorial (Andrade *et al.*, 2018). A Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande, identificada como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (UGRHI 15) (SIGRH, 2004/2007), localizada no noroeste do estado de São Paulo, insere-se nesse contexto, caracterizando-se por intensa atividade agropecuária, diversificação de usos da terra e dinâmicas socioeconômicas que exercem influência direta sobre a sustentabilidade ambiental da região (CBH-TG, 2023).

O conceito de fragilidade ambiental refere-se à susceptibilidade de um ambiente a sofrer alterações decorrentes tanto de fatores naturais quanto de intervenções antrópicas (Sporl; Ross, 2004). A metodologia proposta por Ross (1994), amplamente adotada em estudos de diagnóstico ambiental no Brasil, integra variáveis fundamentais do meio físico, como relevo, solo, geologia e clima, associadas ao uso e cobertura da terra, produzindo uma leitura espacial que permite identificar unidades territoriais com diferentes níveis de vulnerabilidade. Ao longo das últimas décadas, esse método foi ampliado e refinado, incorporando técnicas de geoprocessamento, critérios geomorfométricos e parâmetros de análise mais robustos (Ross; Fierz, 2017; Gouveia; Ross, 2019).

O uso e cobertura da terra exercem papel determinante na definição da fragilidade emergente. Na UGRHI 15, predominam cultivos agrícolas de ciclo longo e curto, como cana-de-açúcar, soja, milho e citrus, além de extensas áreas de pastagem e núcleos urbanos em expansão. A substituição de vegetação nativa por usos intensivos da terra altera significativamente os fluxos hidrológicos, a dinâmica superficial e a capacidade de suporte dos sistemas naturais, aspectos amplamente discutidos por autores que avaliam a vulnerabilidade ambiental em ambientes antropizados (Kawakubo *et al.*, 2005; Abrão; Bacani, 2018; MAPBIOMAS, 2024).

Nesse sentido, a análise integrada da fragilidade ambiental, distinguindo fragilidade potencial, determinada exclusivamente pelas características naturais, e fragilidade emergente, que incorpora o efeito da ação humana, torna-se um instrumento essencial para compreender a dinâmica ambiental da UGRHI 15. A abordagem permite identificar áreas naturalmente sensíveis, bem como aquelas cuja vulnerabilidade é ampliada pelos padrões de uso atual do solo, fornecendo subsídios para o planejamento territorial e a gestão ambiental (Ross, 1994).

A evolução das geotecnologias ampliou de forma significativa a capacidade de diagnóstico desses ambientes. O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Modelos Digitais de Elevação e dados espectrais provenientes de sensores orbitais têm permitido representar com maior precisão elementos como declividade, dissecação do relevo, delimitação de planícies fluviais e padrões de uso da terra, variáveis fundamentais para a aplicação do método de fragilidade ambiental (Jasiewicz; Stepinski, 2013; Gouveia; Ross, 2019). Quando

integrados, esses dados possibilitam avaliações especializadas, consistentes e replicáveis, contribuindo para uma leitura aprofundada da organização ambiental da bacia.

Estudos recentes mostram a importância da análise da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas como o de Santos e Nascimento (2021) que estudaram a bacia do Rio de Janeiro, Santos, Mendes e Cruz (2021) para a bacia do Rio Piracuruca, no Piauí, Cardoso e Gouveia (2019), que estudaram o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão Negrinha, em Osvaldo Cruz, Abrão e Bacani (2018) para a bacia do Rio Santo Antônio, no Mato Grosso do Sul e Albuquerque e de Medeiros (2017) para a bacia do Ceará. Em geral, estes estudos evidenciam que a obtenção de dados para elaboração de mapas de fragilidade ambiental combinados com a utilização da tecnologia de sensoriamento remoto e técnicas avançadas de sistemas de informação geográfica resultam em um instrumento técnico-científico para apoiar decisões de recuperação de áreas degradadas, priorização de sub-bacias e definição de diretrizes de ocupação, tornando a gestão de bacias mais preventiva e baseada em evidências.

A UGRHI 15 destaca-se pela combinação de variabilidade fisiográfica e intensa ocupação antrópica. Do ponto de vista físico-natural, sua paisagem apresenta formas suavemente onduladas, variações na dissecação do relevo e predominância de Latossolos e Argissolos, classes de solo que influenciam diretamente o comportamento hidrológico e a estabilidade dos ambientes (Rossi, 2017; EMBRAPA, 2018). Além disso, a região apresenta sazonalidade climática com chuvas concentradas no verão e períodos prolongados de estiagem, padrão identificado em séries históricas de precipitação disponíveis para o estado de São Paulo (ANA, 2025; DAEE, 2021).

Considerando a relevância socioambiental da UGRHI 15, sua diversidade física e a intensa transformação antrópica registrada nas últimas décadas, torna-se evidente a importância de estudos que busquem compreender e mapear a fragilidade ambiental da região. O diagnóstico produzido é capaz de subsidiar gestores públicos, planejadores territoriais e instituições municipais no desenvolvimento de políticas orientadas à conservação, recuperação de áreas sensíveis, manejo adequado dos recursos naturais e promoção de maior sustentabilidade dos usos implementados.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a fragilidade ambiental da UGRHI 15 a partir da integração de mapas de clima, relevo, solos, uso e cobertura da terra e planícies de inundação, gerando a fragilidade potencial e emergente conforme metodologia consolidada por Ross (1994) e atualizada por Ross e Fierz (2017). Ao aplicar essa abordagem interdisciplinar, busca-se compreender a organização ambiental da bacia, identificar áreas com maior susceptibilidade e fornecer subsídios que possam orientar decisões futuras voltadas à gestão territorial e ambiental de forma integrada e sustentável.

2 OBJETIVOS

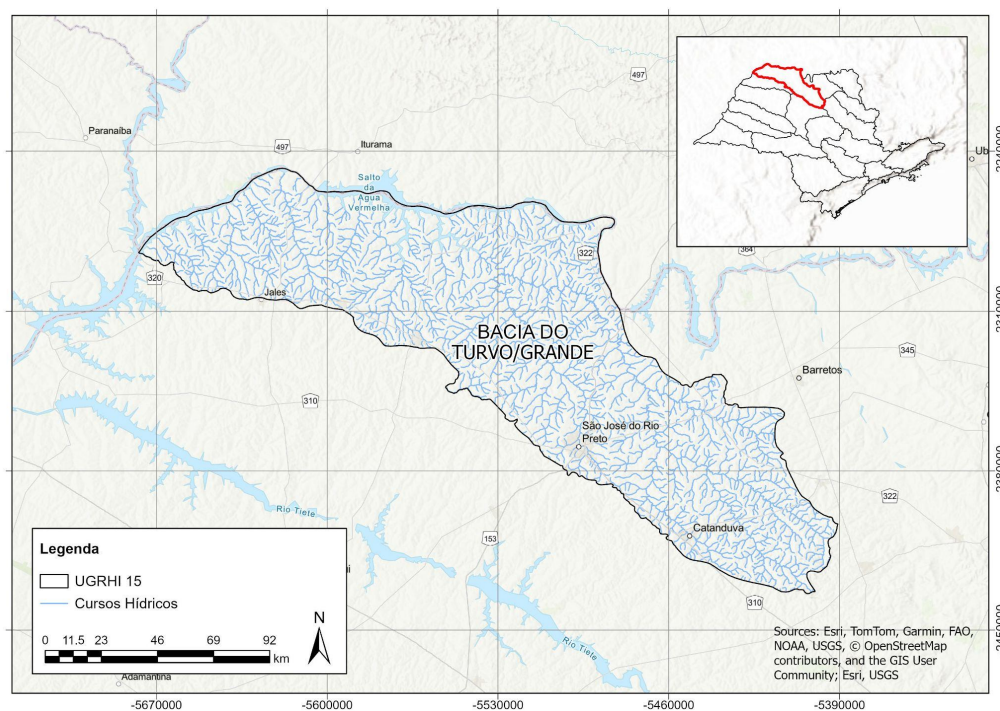
Este trabalho baseia-se na aplicação de geotecnologias para estudar a fragilidade potencial e emergente na Bacia do Turvo/Grande - SP a partir do método de Ross e suas adaptações, além de propor um zoneamento ambiental com base nas características avaliadas.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Este trabalho baseia-se na aplicação de geotecnologias para estudar a fragilidade potencial e emergente na Bacia do Turvo/Grande - SP a partir do método de Ross e suas adaptações, além de propor um zoneamento ambiental com base nas características avaliadas. A Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande (UGRHI 15), localiza-se na porção noroeste do estado de São Paulo e abrange 66 municípios, segundo o Plano de Bacias do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Turvo e Grande - CBH-TG (SIGRH, s.d.). A UGRHI 15 possui uma área aproximada de 15.925 km² (SIGRH, s.d.) e seus limites espaciais estão compreendidos entre as coordenadas -5.670.000 m e -5.390.000 m no eixo leste-oeste e -2.240.000 m e -2.450.000 m no eixo norte-sul, conforme apresentado na Figura 1. Sua rede hidrográfica é composta principalmente pelos rios Turvo e Grande, além de diversos afluentes de menor ordem.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande (UGRHI 15)



Fonte: Editado pelos autores (2026).

A UGRHI 15 possui uma população estimada em cerca de 1.220.474 habitantes, segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, distribuída predominantemente em centros urbanos de porte médio, como São José do Rio Preto, Catanduba, Votuporanga, Tanabi e Bebedouro (SIGRH, s.d.). A região destaca-se por sua expressiva relevância agroindustrial, apresentando extensas áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar e laranja, além de áreas urbanizadas em expansão e sua economia local é fortemente influenciada pelo setor sucroalcooleiro (SIGRH, 2004/2007).

3.2 Material e métodos

3.2.1 Mapa de Planícies de Inundação

As planícies de inundação da Bacia do Turvo/Grande foram delimitadas por meio da análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão Shuttle Radar Topography Mission,

disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), com resolução espacial de 30 m. A partir do MDE foram realizadas análises hidrológicas pelo software ArcGIS Pro (ESRI, 2025).

Inicialmente, foi gerada a rede de drenagem a partir de ferramentas de preenchimento de depressões (Fill), cálculo da direção de fluxo (Flow Direction), e acúmulo de fluxo (Flow Accumulation), sendo convertida para formato vetorial por meio da ferramenta Stream to Feature. Posteriormente foi utilizada a ferramenta HAND que calcula a altura relativa de cada ponto do terreno em relação à rede de drenagem.

As planícies resultantes foram classificadas como “Áreas Sujeitas a Inundações”, compondo tanto a Fragilidade Potencial quanto a Fragilidade Emergente, conforme recomendado Ross (1994) e Gouveia e Ross (2019).

3.2.2 Mapa Geomorfológico

O mapa geomorfológico foi desenvolvido a partir dos Índices de Dissecação do Relevo. Para esta etapa, utilizaram-se ferramentas avançadas do software ArcGIS Pro (ESRI, 2025), como Focal Statistics para cálculo da amplitude altimétrica local, Line Density para cálculo da densidade de drenagem e Raster Calculator para integração das variáveis.

O MDE utilizado em todos os cálculos corresponde ao SRTM (USGS). Os trechos de drenagem foram obtidos a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada 2017 (ANA, 2023). O índice contínuo gerado foi reclassificado segundo os intervalos definidos por Ross e Fierz (2017), permitindo a elaboração do mapa geomorfológico com classes de fragilidade diferenciadas de acordo com a intensidade da dissecação.

3.2.3 Mapa Pedológico

Para esta etapa foi utilizado o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Rossi, 2017), na escala 1:250.000. O processamento dos dados foi realizado no ArcGIS Pro (ESRI, 2025), com reorganização das classes de solo segundo os níveis de fragilidade propostos por Ross e Fierz (2017).

3.2.4 Mapa do Clima

O mapa de clima da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande foi obtido a partir de dados pluviométricos obtidos no sistema HidroWeb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025), que reúne séries históricas padronizadas das estações. Para garantir representatividade espacial, foram selecionados 29 postos pluviométricos, sendo a maioria localizada dentro dos limites da UGRHI 15, e aproximadamente quatro postos externos, escolhidos devido à proximidade e influência direta na dinâmica pluviométrica das áreas próximas à bacia.

As séries mensais e anuais foram organizadas em planilhas, permitindo o cálculo de três parâmetros climáticos fundamentais, conforme estabelecido por Ross e Fierz (2017):

- Volume anual médio precipitado;
- Número médio de meses pertencentes ao período seco;
- Percentual de precipitação acumulada entre os meses de outubro e março, correspondendo ao período chuvoso regional.

Os dados presentes nas planilhas obtidas foram analisados por meio de médias anuais e mensais. Os dados obtidos e as informações de cada posto podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Postos pluviométricos empregados no presente estudo

Município	Extensão da série histórica	Latitude	Longitude	Código hidroweb	Volume anual médio (mm)	Meses no período seco	Volume precipitado período chuvoso (%)
Santa Clara d'Oeste	1971 - 2001	-20,1000	-50,9333	2050039	1455,22	7	70
Santa Albertina	1959 - 2024	-20,0333	-50,7333	2050001	1217,30	7	73
Populina	1959 - 2001	-19,9333	-50,5333	1950003	1258,96	6	82
Dolcinópolis	1970 - 2023	-20,1167	-50,5000	2050003	1277,23	7	72
Jales	1959 - 2023	-20,3000	-50,5500	2050025	1230,91	6	80
Mira Estrela	1970 - 2001	-19,9000	-50,1833	1950001	1307,72	7	73
Macedônia	1959 - 2024	-20,1500	-50,2000	2050004	1277,39	7	74
Fernandópolis	1959 - 2024	-20,3000	-50,2500	2050024	1327,46	6	81
Cardoso	1970 - 2020	-20,1333	-49,9667	2049002	1307,63	7	74
Votuporanga	1969 - 2024	-20,3000	-50,0167	2050009	1378,42	7	73
Riolândia	1958 - 2000	-19,9667	-49,6833	1949001	1328,37	7	75
Palestina	1973 - 2001	-20,2500	-49,5500	2049054	1403,79	7	74
Paulo de Faria	1958 - 2000	-20,0333	-49,4000	2049001	1427,21	6	83
Tanabi	1958 - 2023	-20,4833	-49,5667	2049009	1348,30	6	83
Tanabi	1956 - 2000	-20,6167	-49,6500	2049016	1322,03	6	80
Onda Verde	1937 - 2023	-20,6333	-49,3333	2049014	1310,83	7	74
São José do Rio Preto	1941 - 2020	-20,8000	-49,3833	2049024	1254,48	6	81
Olímpia	1971 - 2001	-20,7667	-49,0667	2049055	1405,15	7	72
Olímpia	1938 - 2019	-20,7333	-48,9000	2048047	1318,48	7	75
Tabapuã	1936 - 2001	-20,9833	-48,9167	2048035	1296,92	7	73
Catanduva	1961 - 1998	-21,1333	-48,9667	2148054	1348,74	6	80
Monte Azul Paulista	1943 - 2023	-20,9000	-48,6333	2048032	1307,18	6	83
Palmares Paulista	1965 - 1999	-21,0833	-48,8000	2148005	1375,67	7	72
Santa Adélia	1938 - 2023	-21,2667	-48,7667	2148015	1292,28	7	60
Fernando Prestes	1959 - 2000	-21,2667	-48,6833	2148017	1415,37	7	73
Monte Alto	1942 - 2023	-21,2667	-48,5000	2148016	1392,40	7	68
Bebedouro	1944 - 2023	-20,9997	-48,5500	2048034	1359,74	7	74
Aparecida do Taboado	1983 - 2025	-20,0683	-51,1036	2051046	1197,70	7	74
Iturama	1975 - 2025	-19,7247	-50,1917	1950000	1376,02	7	76

Fonte: Editado pelos autores (2025).

Para representar a distribuição espacial da fragilidade climática dentro da bacia, aplicou-se o método de interpolação *IDW – Inverse Distance Weighting*, no software ArcGIS Pro (ESRI, 2025). A interpolação IDW permitiu incorporar a influência relativa dos 29 postos no território da UGRHI 15 e a classificação foi feita seguindo Ross e Fierz (2017).

3.2.5 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra da UGRHI 15 foi elaborado no software ArcGIS Pro (ESRI, 2025), utilizando como base os dados do Projeto MapBiomias - Coleção 10 (Projeto

MapBiomas, 2024). As classes foram importadas para o ambiente SIG e posteriormente reagrupadas conforme a metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross e Fierz (2017).

Assim, as categorias do MapBiomas foram reclassificadas nas seguintes classes de fragilidade ambiental:

- Florestas Primárias e Secundárias (Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre);
- Pastagens de Baixo Pisoteio (Silvicultura e Pastagem);
- Cultivos sem Forrageiras entre Ruas com Práticas Conservacionistas (Cana, Mosaico de Usos, Soja, Outras Lavouras Temporárias, Café, Citrus e Outras Lavouras Perenes);
- Solos Expostos para Cultivos (Campo Alagado e Área Pantanosa e Outras Áreas não Vegetadas);
- Área Urbana (Área Urbanizada e Usina Fotovoltaica (beta));
- Corpos Hídricos (Rio, Lago e Oceano).

Ressalta-se que, embora Ross e Fierz (2017) não incluam originalmente as categorias “áreas urbanas” e “corpos hídricos” em sua classificação, estas foram integradas ao modelo conforme metodologia adotada por Abrão e Bacani (2018), possibilitando sua inclusão no cálculo da Fragilidade Emergente.

3.2.6 Mapas de Fragilidade Ambiental

O mapa da Fragilidade Potencial foi elaborado a partir dos mapas das Planícies de inundação, Geomorfológico, Pedológico e de Clima. Para isso, realizou-se a álgebra de mapas a partir da ferramenta Raster Calculator do programa ArcGIS Pro (ESRI, 2025). O resultado da Fragilidade Potencial foi obtido através da média dos mapas de Geomorfológico, Pedológico e de Clima combinados com o mapa das Planícies de Inundação.

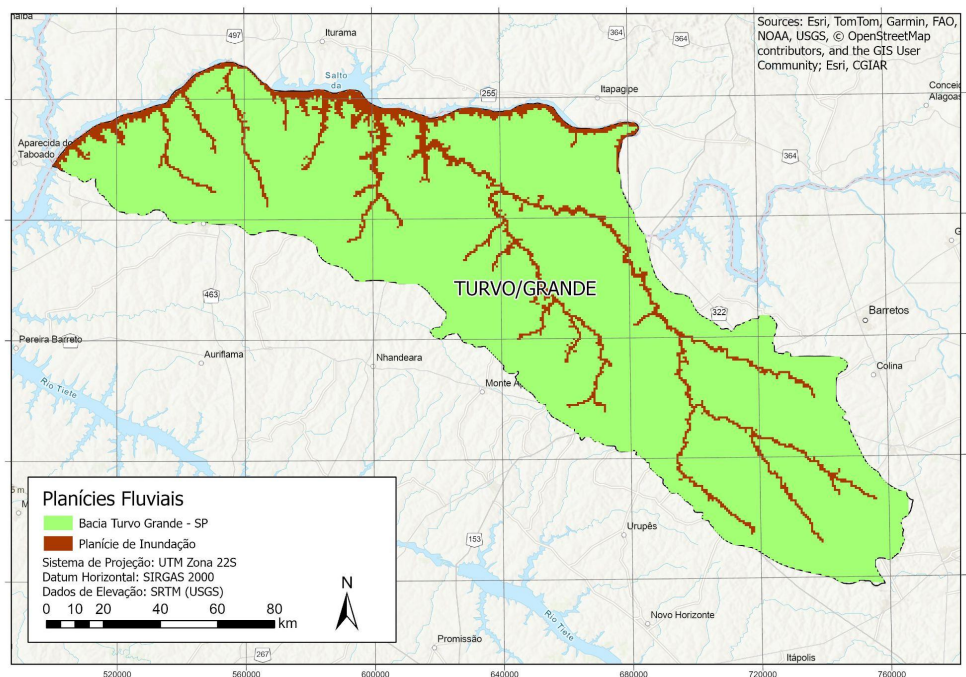
Da mesma forma, a Fragilidade Emergente foi obtida a partir da média dos mapas de Uso e Cobertura da Terra e Fragilidade Potencial.

Destaca-se que o processo de integração dos mapas foi realizado conforme Ross (1994) e Gouveia e Ross (2019) e os cálculos foram realizados sem aplicação de ponderações às variáveis consideradas.

4 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta o mapa da área definida como planície fluvial. Diferentemente das classes usuais de fragilidade baseadas na declividade, essas áreas foram delimitadas a partir do MDE e aplicação da ferramenta HAND. Embora apresentem baixa declividade, as planícies inundáveis são classificadas como áreas de muito forte fragilidade ambiental conforme classificado por Ross e Fierz (2017). A área obtida de 1508,47 km² corresponde a 9,30% da área total da UGRHI 15.

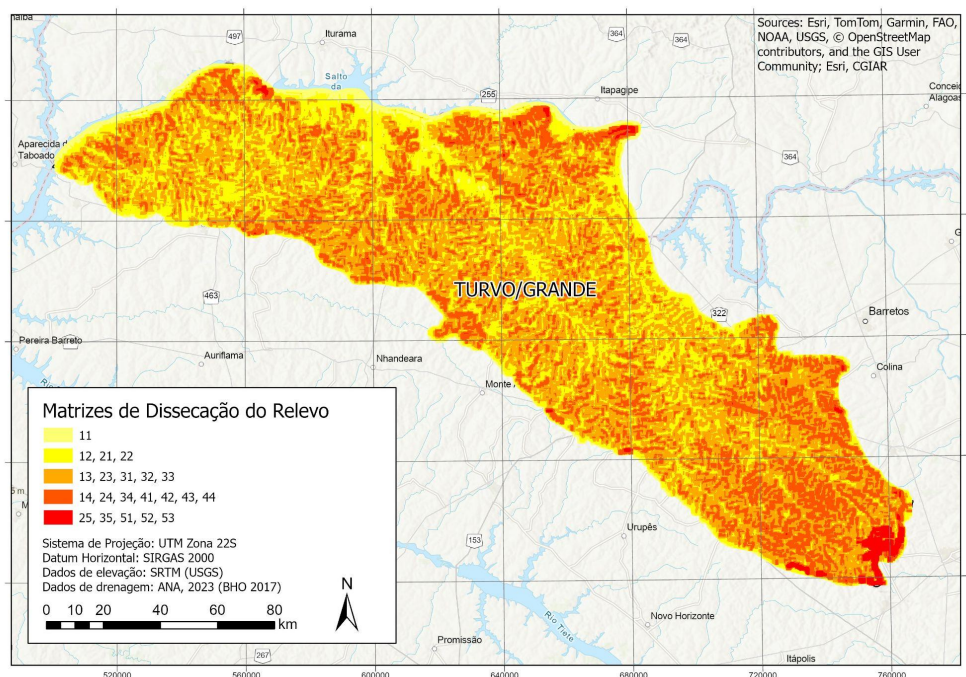
Figura 2 – Planície Fluvial da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

O mapa de dissecação apresentado na Figura 3 revela que grande parte da bacia apresenta valores correspondentes às classes 13–33 e 12-22, indicando média e baixa dissecação segundo a classificação de Ross e Fierz (2017). A Tabela 1 expõe as matrizes, suas quantificações e níveis de fragilidade.

Figura 3 – Matrizes de índices de dissecação do relevo da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

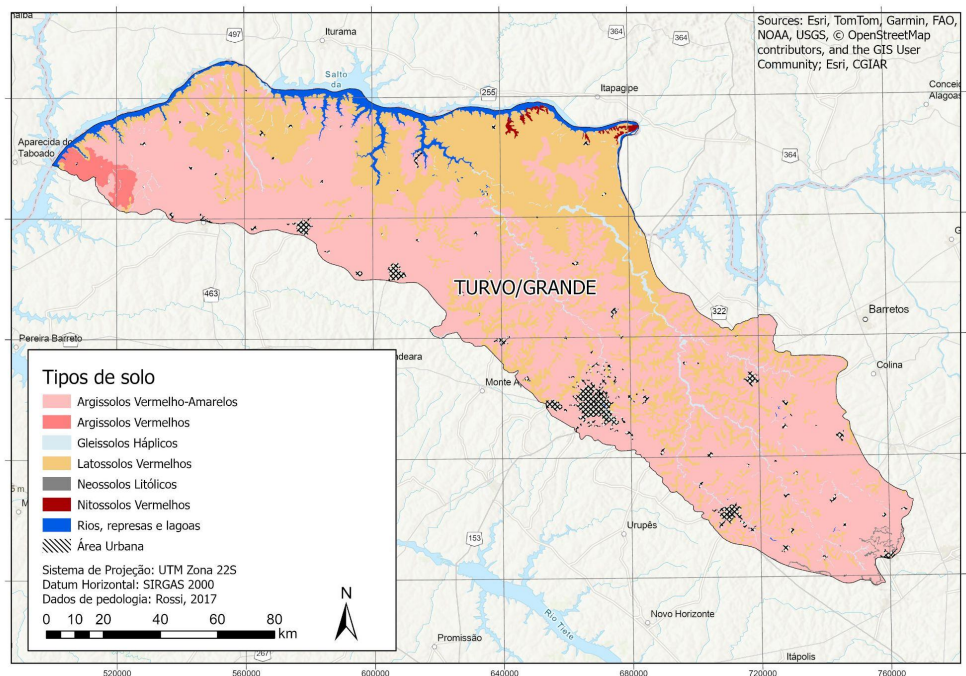
Tabela 1 – Matrizes de índices de dissecação do relevo da UGRHI 15, quantificação e níveis de fragilidade

Matrizes de Dissecação do Relevo	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Nível de fragilidade
11	562,52	3,47	Muito baixa
12, 21, 22	3822,93	23,56	Baixa
13, 23, 31, 32, 33	7954,74	49,02	Média
14, 24, 34, 41, 42, 43, 44	3695,35	22,77	Forte
25, 35, 51, 52, 53	193,29	1,19	Muito forte
Total	16228,83	100	-

Fonte: Editado pelos autores (2026).

O mapa dos tipos de solo apresentado na Figura 4 mostra que a bacia é dominada por Latossolos Vermelhos, classificados como de baixa fragilidade, e por Argissolos Vermelhos-Amarelos, considerados de média fragilidade, de acordo com Ross e Fierz (2017).

Figura 4 – Tipos de solos da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

A Tabela 2 expõe os tipos de solo, suas quantificações e níveis de fragilidade. Destaca-se que os tipos de solos resultam em 95,33% da bacia e os 4,67% restantes se dividem em área urbana (2,06%) e rios, represas e lagoas (2,62%).

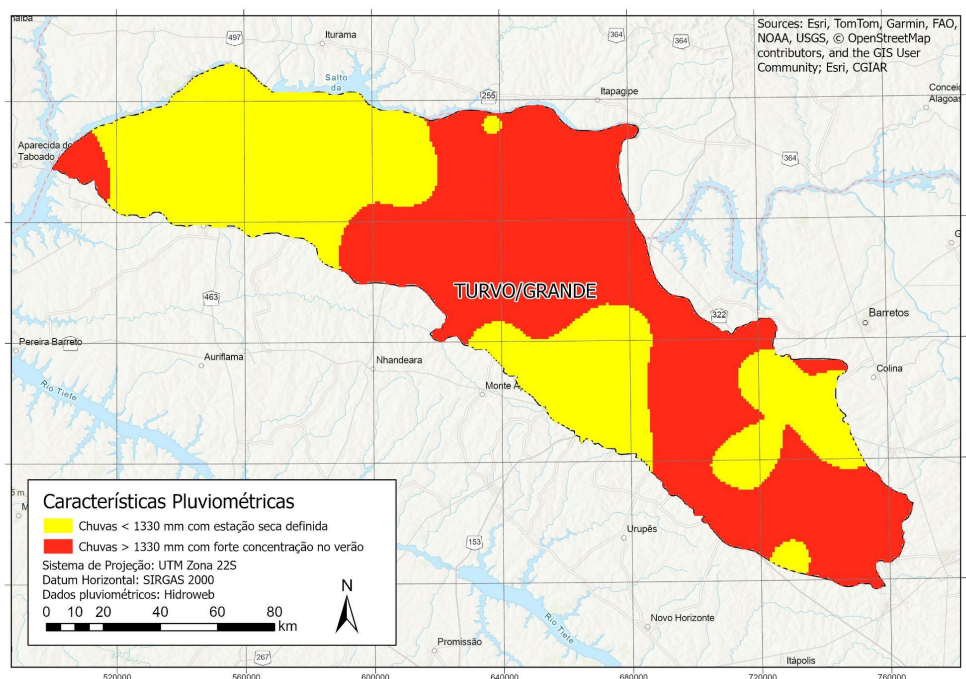
Tabela 2 – Tipos de solos da UGRHI 15, quantificação e níveis de fragilidade

Tipos de solo	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Nível de fragilidade
Gleissolos Hápicos	245,43	1,51	Muito Forte
Latossolos Vermelhos	4738,26	29,20	Baixa
Nitossolos Vermelhos	44,74	0,28	Baixa
Argissolos Vermelhos	208,92	1,29	Média
Argissolos Vermelho-Amarelos	10296,78	62,89	Média
Neossolos Litólicos	26,43	0,16	Muito Forte
Total	16228,83	95,33	-

Fonte: Editado pelos autores (2026).

O mapa apresentado na Figura 5, derivado dos 29 postos pluviométricos e interpolado pelo método IDW, mostra que a Bacia do Turvo/Grande apresenta volumes anuais de precipitação variando predominantemente entre 1.250 e 1.450 mm/ano. Os menores valores concentram-se principalmente na porção oeste, com ocorrências pontuais em setores da porção leste da unidade hidrográfica, enquanto os maiores volumes se distribuem sobretudo nas áreas centrais da bacia. Isso indica que a precipitação apresenta variação espacial interna, embora sem contrastes muito acentuados na UGRHI 15.

Figura 5 – Distribuição Pluviométrica Anual da UGRHI 15



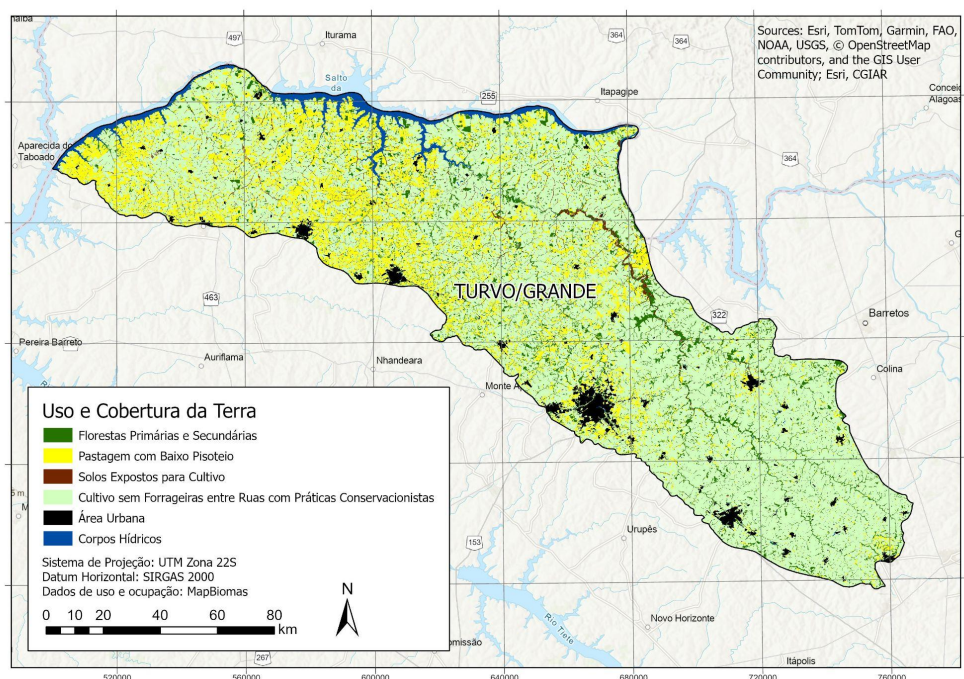
Fonte: Editado pelos autores (2026).

A ausência de áreas com volumes muito elevados, superiores a 2.000 mm/ano, característica típica de regiões serranas ou de maior altitude, contribui para a classificação média ou forte de fragilidade do parâmetro climático segundo Ross e Fierz (2017). Isso justifica a uniformidade climática observada, reforçando que a bacia não apresenta sazonalidades extremas capazes de elevar significativamente o grau de fragilidade. Dessa forma, a classificação dos níveis de fragilidade foram adaptadas, considerando que o clima da região exerce influência

sobre a fragilidade ambiental contribuindo majoritariamente para classes média (chuvas < 1330 mm) e forte (chuvas > 1330 mm).

O mapa de uso e cobertura na Figura 6 e a Tabela 3 demonstram o predomínio dos cultivos sem forrageiras entre ruas com práticas conservacionistas, que ocupam 68,32% da área da Bacia do Turvo/Grande, seguidos pelas pastagens com baixo pisoteio, com 17,45%, e pelas florestas primárias e secundárias, com 7,79%. Os dados obtidos evidenciam que a organização espacial da bacia é um reflexo da sua dinâmica socioeconômica, marcada pela predominância em atividades agropecuárias e agroindustriais (CBH-TG, 2023). Assim, a paisagem da UGRHI 15 reflete o avanço histórico do uso produtivo da terra, o que contribui para elevar a fragilidade em função da intensificação da ocupação antrópica (CBH-TG, 2023). Destaca-se que o uso e cobertura da terra resultam em 97,42% da bacia e os 2,58% restantes representam os corpos hídricos.

Figura 6 – Classes de uso e cobertura da terra da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

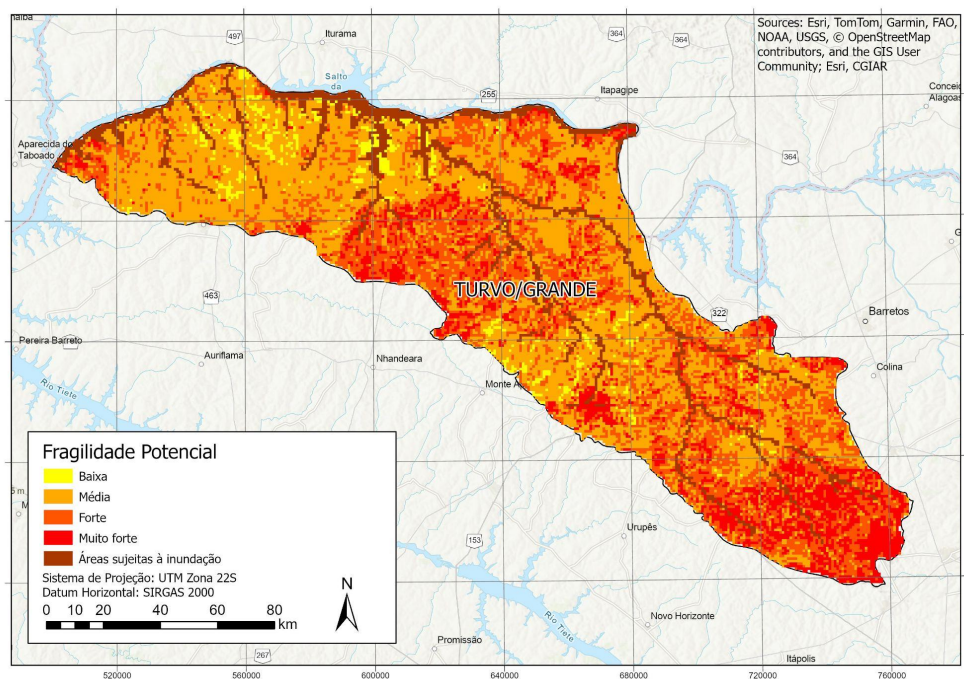
Tabela 3 – Uso e cobertura da terra da UGRHI 15, quantificação e níveis de fragilidade

Uso e Cobertura da Terra	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Nível de fragilidade
Florestas Primárias e Secundárias	1263,95	7,79	Muito baixa
Pastagem com Baixo Pisoteio	2831,83	17,45	Média
Cultivo sem Forrageiras entre Ruas com Práticas Conservacionistas	11087,57	68,32	Forte
Área Urbana	386,92	2,38	Muito Forte
Solos Expostos para Cultivos	239,76	1,48	Muito Forte
Total	16228,83	97,42	-

Fonte: Editado pelos autores (2026).

O mapa de Fragilidade Potencial mostrado na Figura 7 é resultado da combinação dos mapas do tipo de Solo, Dissecação do Relevo, Clima e Planície Fluvial e evidencia claramente a predominância das classes Média e Forte. Na Tabela 4 são apresentadas suas quantificações e níveis de fragilidade.

Figura 7 – Fragilidade Potencial da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

Tabela 4 – Quantificação dos graus de fragilidade potencial e áreas sujeitas à inundações da UGRHI 15

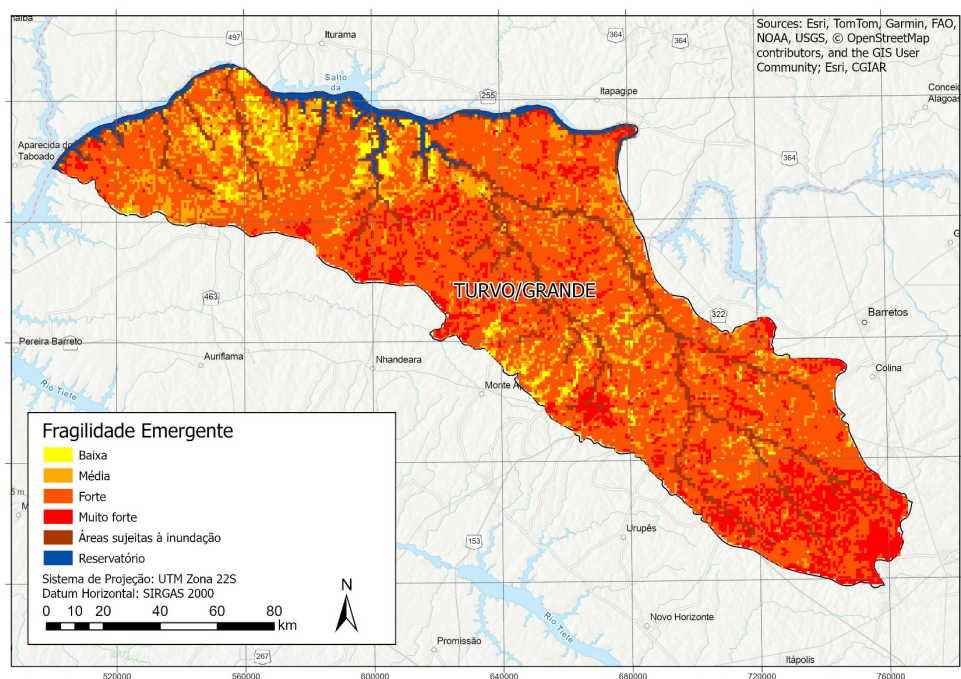
Nível de Fragilidade	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Baixa	532,86	3,28
Média	7354,96	45,32
Forte	4653,32	28,67
Muito Forte	2155,39	13,28
Áreas sujeitas à inundação	1532,31	9,44
Total	16228,83	100

Fonte: Editado pelos autores (2026).

A predominância observada foi das classes média e forte. As regiões de média fragilidade estão associadas aos Argissolos Vermelhos-Amarelos, enquanto as regiões de forte e muito forte fragilidade estão associadas aos Neossolos, aos altos índices de dissecação do relevo e ao clima da região. Destaca-se que a área total sujeita à inundação sofreu influência da área do reservatório, que não está representada no mapa, uma vez que o produto foi gerado a partir de imagens SRTM. Essa limitação será corrigida no mapa final de fragilidade emergente.

A combinação da fragilidade potencial com o uso e cobertura da terra gerou o mapa da Figura 8. Na Tabela 5 são apresentadas suas quantificações e níveis de fragilidade.

Figura 8 – Fragilidade Emergente da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

Tabela 5 – Quantificação dos graus de fragilidade emergente e áreas sujeitas à inundações da UGRHI 15

Nível de Fragilidade	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Baixa	532,86	3,28
Média	2378,82	14,66
Forte	9629,46	59,34
Muito Forte	2155,39	13,28
Áreas sujeitas à inundação	1113,52	6,86
Reservatório	418,79	2,58
Total	16228,83	100

Fonte: Editado pelos autores (2026).

A Figura 8 apresenta a Fragilidade Emergente que reforça o comportamento observado na Fragilidade Potencial, com leve aumento de áreas classificadas como forte devido ao clima, relevo e ao uso e ocupação de fragilidade predominantemente forte. Essas áreas concentraram-se principalmente nas regiões urbanizadas e intensamente ocupadas, como os municípios de Monte Alto, Catanduva e São José do Rio Preto.

Os resultados convergem com achados de estudos aplicados em outras regiões paulistas, como os de Trombeta *et al.* (2014), Albano e Galvanin (2023) e Tercini, Lima e Lollo (2021). O primeiro concluiu que a maior parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema, localizada no oeste do estado de São Paulo, contém áreas de média e forte fragilidade. O segundo, que analisou a Fragilidade Ambiental da Sub-Bacia do Ribeirão da Confusão, inserida no Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe, detectou uma predominância da Fragilidade Ambiental forte na área estudada. O último, realizado no município de Monte Alto (SP), identificou predominância da classe de fragilidade forte tanto para a fragilidade potencial quanto para a emergente.

De maneira geral, todos esses resultados estão associados principalmente às características pedológicas e à dissecação do relevo. Além disso, estudos baseados na metodologia de fragilidade reforçam que a ação antrópica tende a elevar a vulnerabilidade ambiental, mesmo em áreas com baixa fragilidade natural, reforçando a importância da análise integrada entre meios físico e antrópico (Trombeta *et al.*, 2014; Albano e Galvanin, 2023; Tercini, Lima e Lollo, 2021).

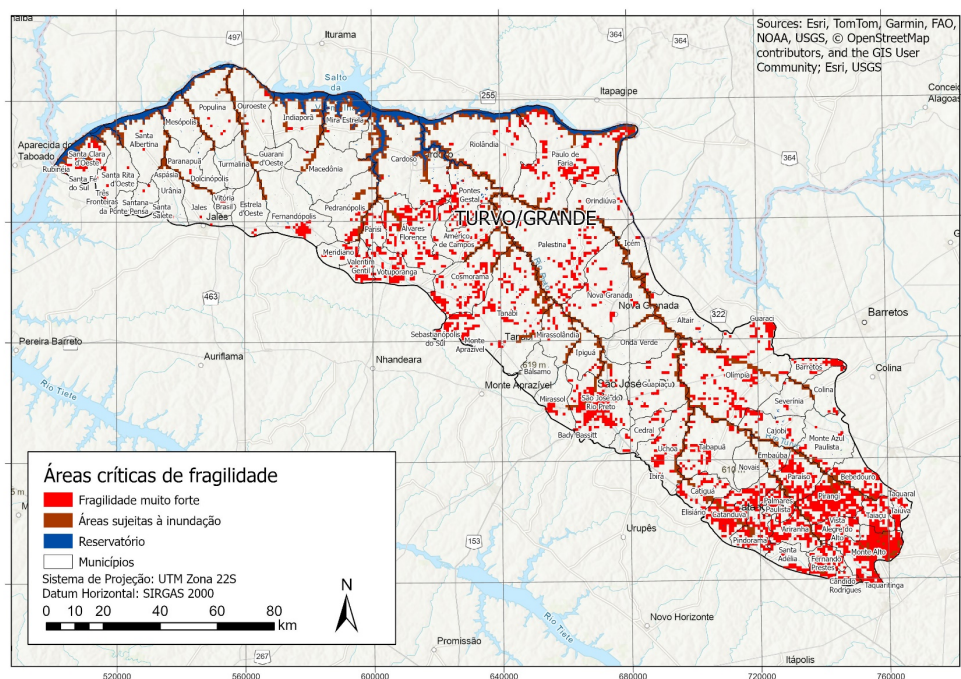
A partir dos resultados obtidos através da fragilidade emergente, foram elaboradas propostas de um zoneamento ambiental a partir do uso e ocupação da terra. O Quadro 2 apresenta as propostas, que têm como objetivo assegurar a conservação e qualidade ambiental dos recursos naturais da UGRHI 15. Além disso, a Figura 9 apresenta as áreas classificadas como de fragilidade muito forte, consideradas prioritárias para a implementação de ações de intervenção. Dessa forma, os municípios onde essas áreas se concentram devem ser foco de atenção do Comitê de Bacias na análise e planejamento de medidas necessárias.

Quadro 2 – Propostas de Zoneamento Ambiental para a UGRHI 15

Grau de Fragilidade Ambiental	Fatores Ambientais	Fatores Antrópicos	Diagnóstico	Propostas
Baixa	Predomínio de solos profundos bem drenados, como Latossolos, e relevo com dissecação forte.	Não consta.	Ambientes com elevada capacidade de suporte às atividades humanas e menor suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos e degradação ambiental.	Manutenção da cobertura vegetal existente, incentivo à continuidade de práticas agrícolas conservacionistas, preservação de áreas de vegetação nativa.
Média e forte	Predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos (solos medianamente profundos) com dissecação forte.	Predomínio de atividades agropecuárias, com expansão de cultivos temporários e permanentes e áreas de pastagem.	Ambientes com forte vulnerabilidade, nos quais o uso inadequado do solo pode comprometer a estabilidade ambiental.	Implementação de práticas de conservação do solo e estímulo à recuperação de áreas degradadas.
Muito Forte	Presença de solos rasos, como Neossolos Litólicos, e solos orgânicos, como Gleissolos, associados a limitações naturais para uso intensivo do solo.	Áreas urbanizadas, solos expostos e outros usos que intensificam a alteração da cobertura natural.	Ambientes altamente vulneráveis à degradação ambiental, com elevada suscetibilidade à erosão, compactação do solo e impactos sobre os recursos hídricos.	Prioridade para ações de recuperação ambiental, controle rigoroso da ocupação do solo, recomposição da cobertura vegetal nativa e proteção dos recursos hídricos.
Áreas sujeitas à inundação	Presença de Gleissolos e Planícies fluviais associadas aos principais cursos d'água da bacia.	Cultivos e solos expostos.	Ambientes com elevada vulnerabilidade hidrológica, sujeitos a inundação.	Restrição à expansão urbana e agrícola intensiva e fortalecimento da proteção das áreas de preservação permanente.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 9 – Áreas críticas de fragilidade da UGRHI 15



Fonte: Editado pelos autores (2026).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande apresenta, de modo geral, fragilidade ambiental classificada predominantemente como forte e média, tanto na fragilidade potencial quanto na emergente. Essa configuração está associada a um conjunto de fatores naturais e antrópicos que caracterizam a região: relevo com nível de fragilidade média predominante, solos majoritariamente pertencentes a classe de fragilidade média e regime climático relativamente homogêneo, enquadrados nos níveis de fragilidade médio e forte.

Apesar disso, a fragilidade emergente revelou incremento das áreas classificadas como fortes, reflexo direto da intensa ocupação agrícola, principalmente cultivos de larga escala, e da expansão urbana observada na UGRHI 15.

Os resultados obtidos a partir da utilização de geotecnologias e dos métodos adaptados de fragilidade ambiental na bacia Turvo/Grande mostraram-se satisfatórios. A partir dos mapas gerados, foram propostas diretrizes de zoneamento ambiental, associadas à identificação das áreas mais críticas, com objetivo de auxiliar na tomada de decisões voltadas à manutenção da cobertura vegetal existente, ao incentivo à adoção de práticas de conservação do solo e à recuperação de áreas degradadas, de modo a contribuir para a gestão e melhoria da qualidade ambiental da bacia.

6 REFERÊNCIAS

ABRÃO, C. M. R.; BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: dez. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Portal de Dados Abertos da ANA – Trecho de drenagem - Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) 2017**. 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/search?tags=trecho%2520de%2520drenagem>. Acesso em: fev. 2026.

ALBANO, C. H.; GALVANIN, E. A. S. Análise da fragilidade ambiental da sub-bacia do Ribeirão da Confusão. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 6, 2023. Edição especial: Anais do Simpósio Brasileiro “Governança e Desenvolvimento Sustentável”. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/237997>.

ALBUQUERQUE, E. L. S.; MEDEIROS, C. N. Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 109–126, 2017. Disponível em: [10.5216/ag.v11i1.39018](https://doi.org/10.5216/ag.v11i1.39018).

ANDRADE, M. M.; *et al.* Determination of the environmental fragility of a hydrographic basin belonging to the municipality of Presidente Prudente, SP. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 2, p. 278–285, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711722018278>.

CARDOSO, E. H. G.; GOUVEIA, I. C. M. C. Fragilidade ambiental aos processos erosivos em bacias hidrográficas: o caso do Ribeirão Negrinha – Osvaldo Cruz/SP. **Formação (Online)**, v. 26, n. 49, p. 163-193, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.33081/formacao.v26i49.5562>.

CBH–TG – Comitê da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. **Plano de Bacias 2020–2030**. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.comitetg.sp.gov.br/>.

CBH-TG - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS TURVO E GRANDE. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 15 – Turvo/Grande – 2022**. São José do Rio Preto: CBH-TG, 2022. 124 p. Disponível em: https://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-TG/23560/tg_rs_2022_anobase2021_22_09_22.pdf.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Relatórios Hidrológicos e Séries Pluviométricas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Pro**. 2025. Software.

GOUVEIA, I. C. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123–136, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. **Geomorphons — a pattern-based terrain classification method**. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>.

KAWAKUBO, F. S.; *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: INPE, 2005. p. 2205-2210. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281068892_Caracterizacao_empirica_da_fragilidade_ambiental_utilizando_do_geoprocessamento.

MAPBIOMAS. **Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Coleção 10 da Série Histórica do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, 2024. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brasil_coverage_2024.tif.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, p. 63–74, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

ROSS, J. L. D.; FIERZ, M. S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades. In: MAGNONI JÚNIOR, L. *et al.* (orgs) **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 1. Ed - São Paulo: Centro Paula Souza, 2017, pp. 58-77.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Revisado e Ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>.

SANTOS, F. A.; MENDES, L. M.S.; CRUZ, M. L.B. Suscetibilidade biofísica a inundações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. **Ateliê Geográfico**, v. 15, n.1, p.266-285, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/ag.v15i1.64590>.

SANTOS, J. Y.G., NASCIMENTO, R.Q. Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia. **Boletim Goiano De Geografia**, v. 41, n.1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/bgg.v41.65397>.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SIGRH). Comitê da Bacia Hidrográfica Turvo/Grande. **Apresentação**. s.d. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cbhtg/apresentacaoprincipal>. Acesso em: fev. 2026.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SIGRH). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: UGRHI 15 – Turvo/Grande**. São Paulo, 2004–2007. Disponível em: https://www.comitespcj.org.br/images/Download/PERH/04-07_UGRHI-15.pdf. Acesso em: mar. 2026.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 185f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2007.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOSP Espaço e Tempo (Online)**, São Paulo, Brasil, v. 8, n. 1, p. 39–49, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2004.123868>.

TERCINI, O. T.; LIMA, C. G. R.; LOLLO, J. A. Análise da fragilidade ambiental no município de Monte Alto (SP) e propostas para zoneamento ambiental. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n. 5, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/357421133_Analysis_of_environmental_fragility_on_the_city_of_Monte_Alto-SP_and_proposals_for_environmental_zoning.

TROMBETA, L. R.; *et al.* Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 36, v. especial, p. 159–173, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3178/2664>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: jan. 2026.