

Avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solo e fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita (DF-GO)

Assessing the natural vulnerability to loss of soil and environmental fragility in the river basin Santa Rita (DF-GO)

Évaluation de la vulnérabilité naturelle à la perte de sol et à la fragilité environnementale du bassin hydrographique de ribeirão Santa Rita (DF-GO)

Thiara Messias de Almeida Teixeira  
Universidade Estadual de Goiás – UEG, Formosa (GO), Brasil
thiara.teixeira@ueg.br

Amom Chrystian de Oliveira Teixeira  
Universidade Estadual de Goiás – UEG, Formosa (GO), Brasil
amom.teixeira@ueg.br

Elton Souza Oliveira  
Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, Barreiras (BA), Brasil
esoliveira@ufob.edu.br

Resumo

O objetivo da pesquisa foi produzir o mapa síntese da vulnerabilidade natural à perda de solo e da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, localizada entre o Distrito Federal e o estado de Goiás. A bacia foi intensamente ocupada por atividades agropecuárias em larga escala, resultando em significativas transformações na paisagem. Na confecção dos mapas, foram utilizadas bases de dados geocartográficos do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), Projeto MapBiomass, imagens SRTM, e metodologias consagradas nos Estudos Integrados da Paisagem no Brasil por Crepani *et al.* (2001) e Ross (1994). A análise integrada da Bacia permitiu a obtenção de uma síntese da dinâmica ambiental que revela diferentes graus de vulnerabilidade e fragilidade. Desde a década de 1980, a Bacia já perdeu aproximadamente 60% da sua cobertura original de Cerrado. Houve um aumento nas áreas destinadas à monocultura de grãos em detrimento das áreas de pastagens. Os mapas de vulnerabilidade e fragilidade



produzidos destacam a complexidade na elaboração de modelos matemáticos. Ambos os métodos indicam que a maior parte da Bacia apresenta um grau médio de vulnerabilidade e fragilidade. Essas metodologias são fundamentais para diversas análises espaciais da realidade e para a criação de modelos que visam identificar vulnerabilidades e potencialidades dos ambientes naturais e antropizados, fornecendo informações essenciais para o planejamento ambiental.

Palavras-chave: Paisagem. Estudos integrados. Uso do solo. Ecodinâmica. Álgebra de mapas.

Abstract

The goal of this survey was to create the summary map of the natural vulnerability to loss of soil and environmental frailty of the Santa Rita Stream Drainage Basin, located between the Federal District and the State of Goiás. The basin has been occupied by farming activities on a large scale, with heavy exploitation of natural resources and intensive transformation of the landscape. The confection of the maps was based on the State Geoinformation System of Goiás (SIEG) geocartography database, MapBiomias Project, SRTM images and well-established methodologies for Integrated Studies of the Landscapes in the Brazil of Crepani et al (2001) and Ross (1994). The integrated analysis of the basin allowed the attainment of summarized products of environmental dynamics that feature varying levels of vulnerability / frailty. Since the 1980's, the basin has lost almost 60% of its Cerrado area. An increase in the grains monoculture areas was observed to the prejudice of pasture lands. The vulnerability and frailty maps that were drawn reveal the complexity of producing mathematical models. The methods indicate that most of the basin has a medium level of vulnerability/frailty. Both methods are important for different purposes of spatial analysis of reality and production of models that aim to identify vulnerabilities and potentialities of natural and anthropic environments, producing essential information for environmental planning.

Keywords: Landscape. Integrated studies. Use of soil. Ecodynamics. Map algebra.

Résumé

L'objectif de la recherche était de produire la carte de synthèse de la vulnérabilité naturelle à la perte de sol et de la fragilité environnementale du bassin hydrographique de Ribeirão Santa Rita situé entre le district fédéral et l'État de Goiás. Le bassin était occupé par des activités agricoles à grande échelle. Avec une exploitation accentuée des ressources naturelles et d'intenses transformations du paysage. Pour réaliser les cartes, la base de données géocartographiques du système de géoinformation de l'État de Goiás (SIEG), le projet MapBiomias, les images SRTM et les méthodologies établies sur les études intégrées du paysage au Brésil par Crepani et al (2001) et Ross (1994) ont été utilisées. L'analyse intégrée du bassin a permis d'obtenir des produits de synthèse des dynamiques environnementales qui présentent différents degrés de vulnérabilité/fragilité. Depuis les années 1980, le bassin avait déjà perdu près de 60 % de la superficie du Cerrado. On note une augmentation des surfaces de monoculture céréalière au détriment des surfaces de pâturage. Les cartes de vulnérabilité et de fragilité produites révèlent la complexité de la production de modèles mathématiques. Les méthodes indiquent que la majeure partie du bassin présente un degré moyen de vulnérabilité/fragilité. Les deux méthodes sont importantes à des fins différentes d'analyse spatiale de la réalité et de production de modèles visant à identifier les vulnérabilités et les potentialités des milieux naturels et anthropisés, produisant des informations essentielles pour la planification environnementale.

Mots clés: Paysage. Études intégrées. Utilisation du sol. Écodynamique. Algèbre des cartes.

Introdução

Após a Revolução Industrial, o avanço das atividades agrícolas sobre áreas naturais e o aumento populacional nas áreas urbanas fizeram com que as atividades humanas se intensificassem, comprometendo de forma mais intensa a qualidade e quantidade dos recursos naturais. No Brasil, essas alterações têm sido observadas em diversos biomas, mas de uma forma peculiar nas áreas de Cerrado. Com os movimentos de ocupação das áreas centrais do país, especialmente no Centro-Oeste, novos aglomerados urbanos foram surgindo. A própria mudança da capital para o interior do país, com a construção de Brasília, fez com que extensas áreas de Cerrado dessem lugar a aglomerados urbanos, além de incentivar os plantios de monoculturas e o avanço das pastagens. Isso gerou uma alteração na dinâmica ambiental existente, especialmente devido à ocupação de áreas próximas aos cursos d'água e áreas de matas ciliares, comprometendo a qualidade e quantidade dos corpos hídricos.

O avanço do agronegócio pelas áreas de Cerrado provocou mudanças na paisagem e uma série de impactos socioeconômicos e ambientais que culminaram na degradação dos recursos (Cunha *et al.*, 2008; Dutra; Souza, 2022). A exploração desenfreada do potencial ecológico dessas paisagens contribuiu para o aumento de sua fragilidade ambiental, com perda de biodiversidade e intensificação de processos morfogenéticos distintos. Isso indica que os modelos econômicos e produtivos adotados não são sustentáveis ou não estão sendo aplicados corretamente, gerando impactos sociais e ambientais na paisagem.

A paisagem é um conjunto de formas resultante das relações entre o meio antrópico e o meio natural. Esse processo contínuo de transformações é reflexo das complexas inter-relações entre os componentes presentes no meio (Bolós, 1981). Assim, a paisagem é uma síntese entre os aspectos físicos e sociais, sendo vista como uma unidade essencial para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas que visem à manutenção dos recursos naturais (Guerra; Marçal, 2006).

A bacia hidrográfica, vista como unidade de análise, é um sistema em que há a integração de fatores ecológicos, socioeconômicos e culturais. Essa maior proximidade entre os fatores que compõem um mesmo sistema tende a indicar uma maior similaridade entre os processos existentes (Tobler, 1979). Assim, a adoção do conceito de bacia hidrográfica para o planejamento ambiental é um importante instrumento para

a avaliação do ambiente, proporcionando melhores formas de manejo dos recursos naturais na bacia.

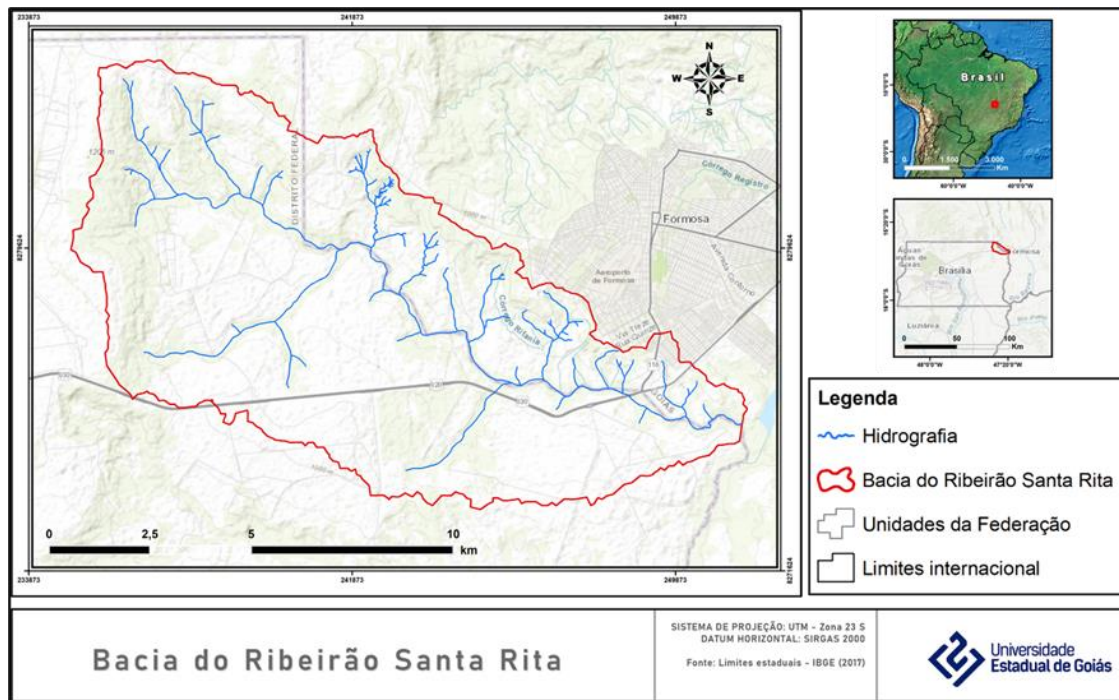
O entendimento da combinação de fatores e elementos naturais que compõem uma bacia hidrográfica é o que pode garantir a fragilidade ou potencialidade para as atividades voltadas à exploração, seja para a agricultura, pecuária, turismo, reflorestamento, entre outros. O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, constitui um tema de crescente relevância, devido ao aumento e à intensidade das atividades antrópicas. Conseqüentemente, cresce a preocupação com fatores que afetam a qualidade desses recursos (Araújo *et al.*, 2007).

Com o intuito de subsidiar o planejamento ambiental de áreas que sofreram alterações ambientais, esta pesquisa objetivou produzir o mapa síntese da vulnerabilidade natural à perda de solo e da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita (BHRSR), localizada entre o Distrito Federal e o município goiano de Formosa, a partir de abordagens baseadas nos estudos integrados da paisagem desenvolvidos no Brasil (Ross, 1994; Crepani *et al.*, 2001).

Área de estudo

A BHRSR, inserida na região Centro-Oeste do país em área de Cerrado, é uma bacia com aproximadamente 10.000 hectares que não foge à realidade apresentada. Desde a década de 1960, tem-se observado o avanço das atividades agrossilvipastoris com redução da vegetação nativa, contribuindo para o desaparecimento da fauna e flora locais, além do aumento dos processos erosivos. Inserida na Alta Bacia do Rio Preto, a BHRSR compreende parte do Distrito Federal (Região Administrativa de Planaltina) e do estado de Goiás (município de Formosa), como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1– Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores (2023).

Levantamento e tratamento dos dados

Os dados geocartográficos necessários à pesquisa foram compilados do *site* do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), incluindo geologia, geomorfologia, clima e classes de solos. Os dados de uso e ocupação do solo foram extraídos da coleção do Projeto MapBiomias (Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil – Coleção 5) do ano de 1985 e 2018. Todos os dados vetoriais foram projetados para o Datum SIRGAS 2000 – zona 23S e passaram por conferência topológica, por meio da ferramenta *Topology*, a fim de evitar sobreposição e/ou áreas vazias. Já os dados de declividade e hipsometria foram gerados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo projeto TOPODATA com resolução espacial de 30 metros, interpolados, da folha 15S_48, dados oriundos do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Todos os processamentos foram realizados no *software* ArcGis 10.3 e QGIS 3.16. Os trabalhos de campo para reconhecimento da área, registro fotográfico e checagem de dados ocorreram nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2019.

Construção da carta de vulnerabilidade ambiental à perda de solo

A metodologia utilizada para elaboração da carta de vulnerabilidade seguiu o que foi preconizado por Crepani *et al.* (2001). Essa metodologia foi utilizada para elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (ZEE) e pode ser aplicada a outras regiões do país. A proposta foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977) e da potencialidade dos estudos integrados da paisagem. O modelo é aplicado individualmente aos temas/elementos do meio físico, como geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, que compõem cada unidade territorial básica. Posteriormente, cada unidade recebe um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais (Equação 1), que busca representar a posição dessa unidade na escala de vulnerabilidade natural à perda de solo (Crepani *et al.*, 2001):

$$\text{Equação 1. } V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5}$$

Em que:

V = Vulnerabilidade;

S = vulnerabilidade para Solos;

G = vulnerabilidade para Geologia;

Vg = vulnerabilidade para Vegetação;

R = vulnerabilidade para Geomorfologia;

C = vulnerabilidade para Clima.

A obtenção da vulnerabilidade para geomorfologia foi realizada por meio da álgebra dos mapas de vulnerabilidades, atribuindo-se graus de dissecação, amplitude altimétrica e declividade, conforme proposto por Crepani *et al.* (2001). Os graus de dissecação do relevo e amplitude altimétrica foram obtidos conforme proposto por Guimarães *et al.* (2017), em que os autores apresentam de forma sistematizada como obter o mapa da vulnerabilidade geomorfológica de forma automática para o modelo proposto por Crepani *et al.* (2001). O mapa final de vulnerabilidade geomorfológica é obtido por meio da Equação 2:

$$\text{Equação 2. } R = \frac{G + A + D}{3}$$

Em que:

R = vulnerabilidade para geomorfologia;

G = vulnerabilidade atribuída ao grau de dissecação do relevo;

A = vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica;

D = vulnerabilidade atribuída à declividade.

Dessa forma, foram atribuídos valores às categorias morfodinâmicas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Escala de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
	VERM.	VERDE	AZUL		CORES			
U1	3,0			VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9				255	51	0	
U3	2,8				255	102	0	
U4	2,7				255	153	0	
U5	2,6			MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	2,5	E			255	255	0	
U7	2,4	S			204	255	0	
U8	2,3	T			153	255	0	
U9	2,2	A		MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1	B			51	255	0	
U11	2,0	I			0	255	0	
U12	1,9	L			0	255	51	
U13	1,8	I		MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7	D			0	255	153	
U15	1,6	A			0	255	204	
U16	1,5	D			0	255	255	
U17	1,4	E		ESTÁVEL	0	204	255	
U18	1,3				0	153	255	
U19	1,2				0	102	255	
U20	1,1				0	51	255	
U21	1,0				0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Determinação da fragilidade ambiental

A determinação da fragilidade ambiental da Bacia seguiu os preceitos de Ross (1994), ponderando o nível de fragilidade de cada atributo ambiental. Para isso, foi necessária a avaliação de forma integrada das variáveis ambientais, observando as funcionalidades dos sistemas ambientais e os fluxos de matéria e energia. Foram utilizadas informações da geomorfologia, clima, tipos de solos e uso do solo.

A obtenção da fragilidade geomorfológica ocorreu conforme descrito por Ross (1994), o qual considera, para a escala de análise deste trabalho, o Índice de Dissecação do Relevo. Esse índice foi obtido em uma matriz que pondera a relação entre o grau de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial dos cursos d'água da bacia hidrográfica. Os valores de entalhamento e dimensão interfluvial foram gerados com base nas informações extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando dados do SRTM e de forma automática como proposto por Guimarães *et al.*, (2017), que demonstram como fazer em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o mapa de fragilidade da geomorfologia preconizado por Ross (1994). No Quadro 2, podem-se verificar os elementos do meio físico utilizados na análise proposta por Ross (1994).

Quadro 2 – Elementos utilizados na análise da fragilidade ambiental

Componentes de análise da fragilidade ambiental	Elementos
Geomorfologia	Índice de Dissecação do Relevo
Solo	Classes de solo
Clima	Distribuição anual das chuvas
Cobertura do solo	Usos da terra e densidade da cobertura vegetal

Fonte: Adaptado de Amaral e Ross (2009).

O mapa da fragilidade natural foi elaborado pelo cruzamento de informações relativas às classes de fragilidade da geomorfologia, clima e solos da bacia. Já o mapa de fragilidade ambiental foi elaborado por meio da relação entre as informações resultantes da fragilidade natural com as informações das classes de fragilidade do uso e ocupação da terra. Ambos representam os cenários de fragilidade da bacia e seguiram o que é descrito nos trabalhos de Franco *et al.*, (2011) e Gomes (2013) nas Equações 3 e 4:

$$\text{Equação 3. } FN = \frac{R + CL + S}{3}$$

$$\text{Equação 4. } FA = \frac{FN + UO}{2}$$

Em que:

FN = fragilidade natural;

FA = fragilidade ambiental;

R = fragilidade da geomorfologia;

CL = fragilidade do clima;

S = fragilidade atribuída aos tipos de solos;

UO = fragilidade dos usos do solo.

Para cada atributo ambiental foram aplicados os parâmetros do Quadro 3.

Quadro 3 – Pesos atribuídos para as diferentes classes de fragilidade

Classes de Fragilidade	Valor Numérico
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Forte	4
Muito Forte	5

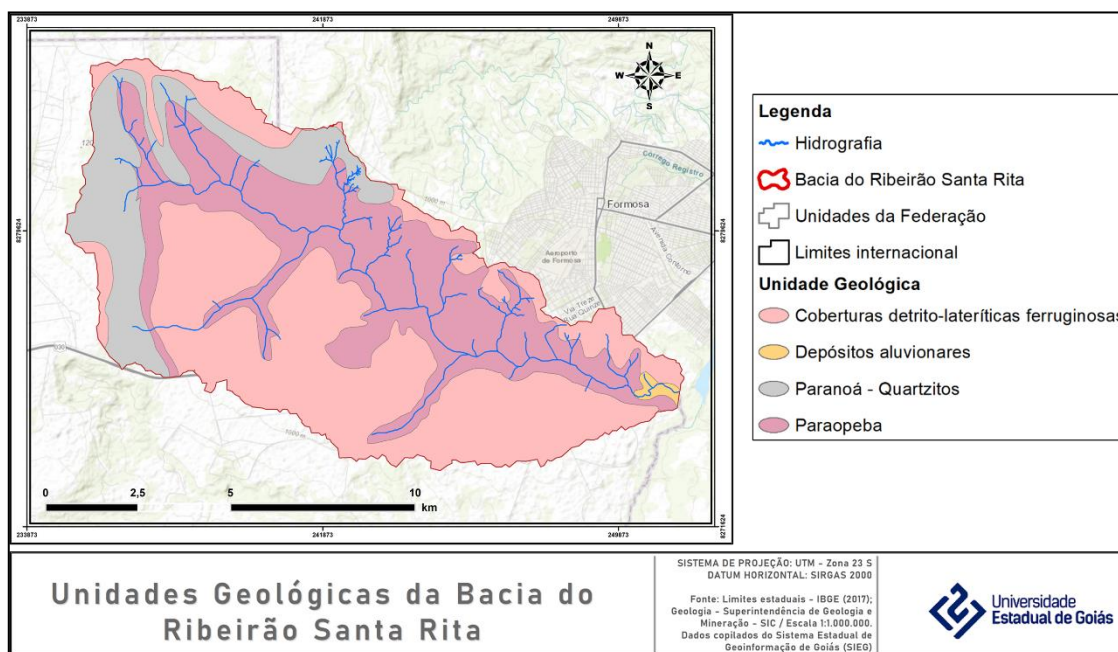
Fonte: Ross (1994).

Caracterização geoambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita

Geologia

A BHRSR está inserida na zona externa da Faixa Brasília (Pimentel *et al.* 2004), caracterizada pelos movimentos de empurrões e por dobras formadas pela convergência dos blocos Amazônia, São Francisco-Congo e Paranapanema, além de blocos alóctones menores que ocorreram na amalgamação do supercontinente Gondwana (Pimentel, 2016), no Neoproterozoico durante a orogênese Brasileira. Entre as unidades da Faixa Brasília, na bacia são encontradas seções dos grupos Bambuí e Paranoá de idade Proterozoica, Coberturas Detrito-Lateríticas, bem como depósitos aluvionares mais recentes (Figura 2).

Figura 2 – Geologia da BHRSR



Fonte: Os autores (2023).

A principal unidade da bacia são as Coberturas Detrito-Lateríticas ferruginosas, de idade Cenozoica, que recobrem quase toda a margem direita, além de seções nos divisores de água ao oeste. Nessas, podem ser encontradas desde camadas siltico-argilosas a cascalhos finos que deram origem aos Latossolos Vermelhos.

O Grupo Bambuí é representado pelo Paraopeba, segunda unidade geológica de maior área (36,28 km²), que acompanha todo o canal do Ribeirão Santa Rita. O Paraopeba é um conjunto de rochas pelitocarbonatadas dispostas em uma combinação estratigráfica de fácies fissurais pelíticas com fácies cársticas (Vasconcelos, 2014). As principais rochas são de origem clastoquímicas, como calcarenitos, dolomitos, folhelhos, siltitos e argilitos.

O Grupo Paranoá ocorre em uma faixa em forma de arco na cabeceira principal do Santa Rita, estando exposto na região no centro de anticlinais inversos de flancos falhados (Alvarenga *et al.*, 2007). Na paisagem da Bacia, essa unidade está associada a relevos mais movimentados e a solos com horizonte plúntico. Esse grupo corresponde a uma sucessão psamo-pelito-carbonatada formada em uma sedimentação deltaica costeira de um mar epicontinental (Alvarenga *et al.*, 2007).

A menor unidade geológica da bacia são os depósitos aluvionares que ocorrem em um trecho reduzido próximo à Lagoa Feia. Suas características estão ligadas ao transporte de materiais das áreas mais altas para as mais baixas da Bacia Hidrográfica. Nessa unidade, são encontrados materiais pouco consolidados de granulometria variada, desde argilosos até cascalhos finos.

Geomorfologia

De forma geral, a geomorfologia da BHRSR está associada aos sistemas denudacionais das Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), que são formas características do relevo de Goiás e do Distrito Federal (Latrubesse; Carvalho, 2006). Na Bacia, predomina a Superfície Regional de Aplainamento II A (SRAIIA), com altitudes médias entre 900 e 1.200 metros. São geoformas planas a suavemente onduladas que apresentam estabilidades desenvolvidas sobre diversas litoestruturas, caracterizando relevos favoráveis à mecanização que estão sendo explorados pelo agronegócio (Figura 3). Esse relevo resulta do aplainamento da superfície em um intervalo de cotas, em que o processo se deu por meio de controles litológicos e estruturais (Latrubesse; Carvalho, 2006).

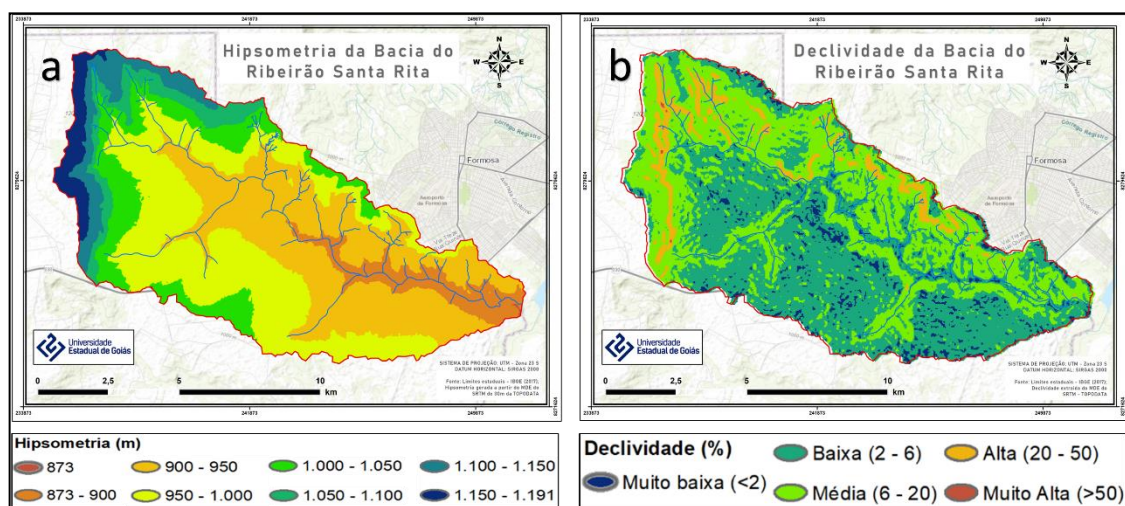
Figura 3 – Vista panorâmica do relevo da SRAIIA no alto curso da BHRSR



Fonte: Trabalho de campo (2019).

As características geomorfológicas das paisagens do Cerrado, como as apresentadas neste estudo, são resultado de longos processos de interação entre climas tropicais semiúmidos, substrato rochoso, fatores edáficos e bióticos (Castro *et al.*, 2009). A altitude da Bacia, com um desnível de aproximadamente 318 metros (Figura 4a), em conjunto com a declividade (Figura 4b), demonstra um relevo predominantemente plano em toda a área, com as maiores declividades nas áreas de cabeceira, que apresentam as altitudes mais elevadas e um relevo mais movimentado, especialmente nas áreas de limite com as bacias do rio Bandeirinha (GO) e rio Pípiripau (DF).

Figura 4 – Geomorfologia da área de estudo: a) Hipsometria e b) Declividade



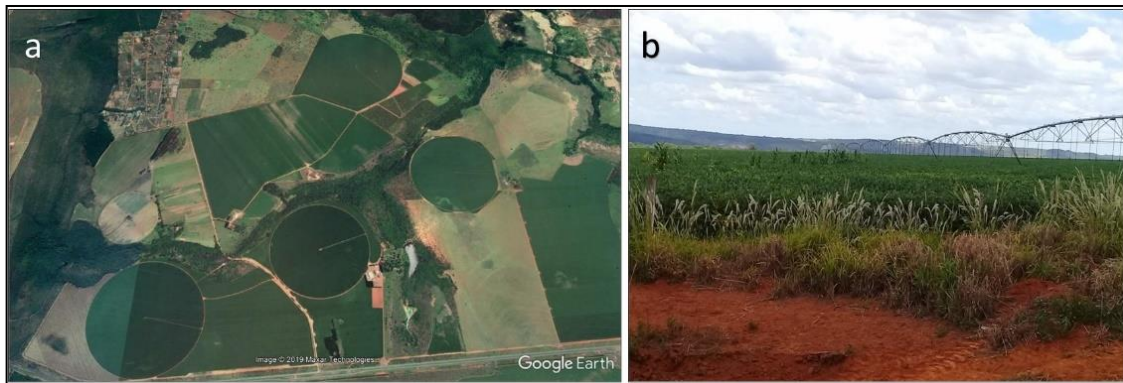
Fonte: Os autores (2023).

Aspectos hidroclimáticos

A Bacia apresenta clima tropical do tipo Aw (Classificação de Köppen-Geiger), característico do Centro-Oeste do país com duas estações marcantes: inverno seco, com redução significativa da umidade relativa do ar e a estação chuvosa no verão. O período seco, que ocorre mais pronunciadamente entre maio e setembro, tem origem na estabilidade gerada pela influência do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de pequenas dorsais que se formam sobre a parte continental sul-americana (Cardoso *et al.*, 2014, p. 41) e a maior umidade, entre novembro e março, influenciada pela ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) (Novais, 2020).

As condições climáticas, principalmente a precipitação, possui influência direta sobre os fluxos de água na paisagem. Durante a estação seca, os rios apresentam redução dos níveis de água e alguns chegam a cessar o fluxo superficial. O principal rio da área de estudo, Ribeirão Santa Rita, deságua na Lagoa Feia, um importante atrativo turístico de Formosa e é utilizado para monocultura irrigada com grande cobertura por pivôs centrais (Figuras 5a e 5b).

Figura 5 - Área de agricultura irrigada por pivôs centrais na BHRSR



Fonte: a) Imagem - *Google Earth pro*; b) Trabalho de Campo (2019).

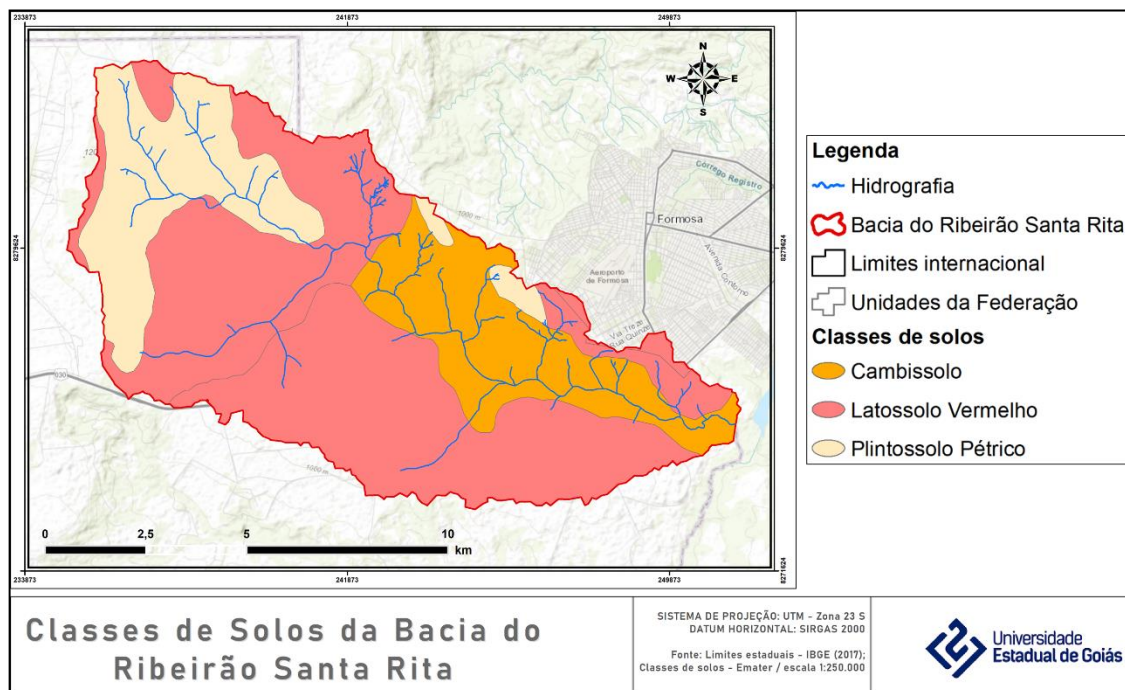
Classes de solos

A combinação dos fatores pedogenéticos distinguiu na BHRSR três classes de solos: os Latossolos, os Plintossolos e os Cambissolos (Figura 6). Os Latossolos Vermelhos estão associados, em sua maior parte, ao relevo plano, de baixa declividade e às Coberturas Detrito-Lateríticas ferruginosas que lhes conferem a cor vermelha. Essas condições, em conjunto com as intempéries, geraram solos distróficos e ácricos, porosos e permeáveis.

Os Cambissolos Háplicos e Distróficos são solos pouco desenvolvidos, e têm como material de origem principal as litologias do Grupo Paraopeba. São solos minerais caracterizados pela presença do horizonte B incipiente subjacente a qualquer horizonte superficial, com exceção do hístico com no mínimo 40 cm ou A Chernozêmico, quando o horizonte B incipiente possuir alta atividade das argilas e saturação por bases (Embrapa, 2013).

Os Plintossolos foram desenvolvidos, principalmente, sobre as litologias do Grupo Paranoá e Subgrupo Paraobepa. Solos típicos de ambientes quentes e úmidos com estação seca definida. São solos minerais ácidos com baixa saturação por base que podem apresentar horizontes plíntico, litoplíntico ou concrecionário resultante da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação. Esses solos são mal ou imperfeitamente drenados, apresentando excesso de umidade no período chuvoso (Oliveira, 2011). Podem estar associados a ambientes com oscilação do lençol freático, o que acarreta a formação de plintitas e a presença de mosqueado.

Figura 6 - Classes de solos da BHRSR



Fonte: Os autores (2023).

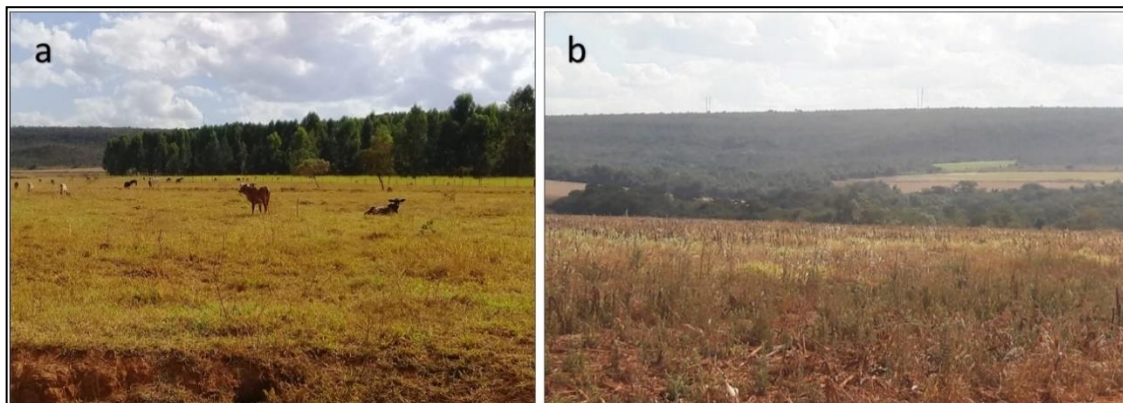
Uso e cobertura da terra

A cobertura vegetal tem um papel fundamental na proteção dos solos e da água, pois a vegetação assume a função de interceptar parte da precipitação, regular o balanço hídrico e o escoamento superficial. A paisagem original da BHRSR era dominada por formações vegetais savânicas típicas. Entretanto, por estar inserida em uma região conhecida por seu contexto agropecuário, com destaque para o cultivo de grãos e para a pecuária, principais atividades econômicas do estado de Goiás, a paisagem da Bacia foi modificada nas décadas de 80 e 90, com a expansão do agronegócio sobre sua área. Nas

áreas mais planas, onde as características físicas dos solos permitiram, a vegetação original foi substituída por pastagens e agricultura intensiva (Figuras 7a).

Atualmente, restam das formações vegetais originais apenas as áreas florestais (Matas de Galeria e Matas Ciliares) e as vegetações de Cerrado e Cerradão em áreas onde o relevo é mais movimentado, nas proximidades das cabeceiras ou nos interstícios das áreas agropecuárias, sob a forma de Reservas Legais, Áreas de Preservação Permanente (APP) ou áreas abandonadas (Figura 7b).

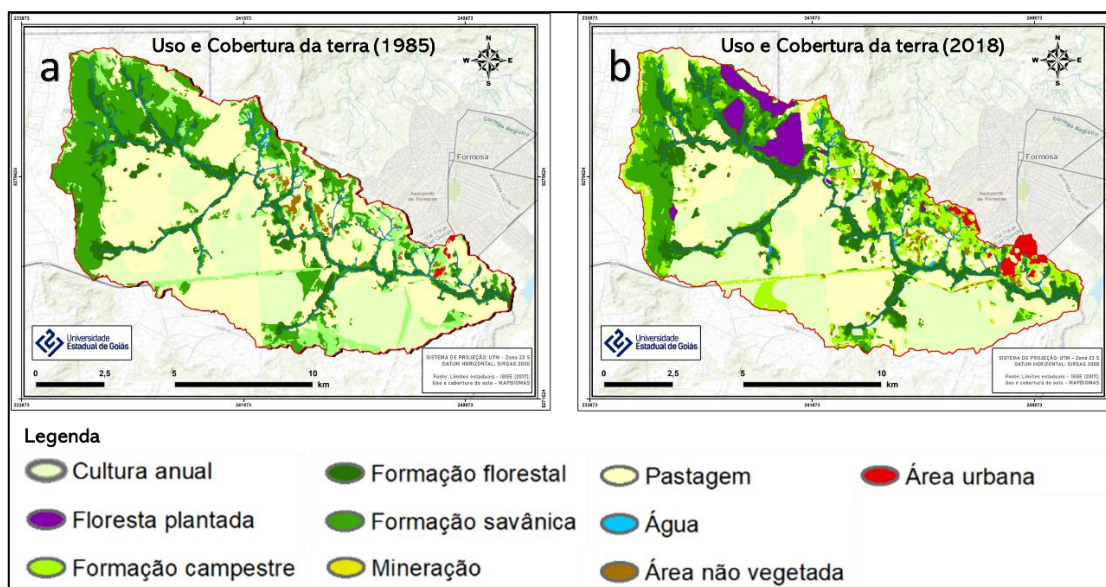
Figura 7 – a) Uso com pastagem e Cerrado remanescente ao fundo; b) Fragmentos de Cerrado em área de encosta declivosa e Mata Ciliar na BHRSR



Fonte: Trabalho de campo (2019).

O uso do solo predominante nesse ano foi a pastagem, que abrangia mais de 4.155 hectares e representava 41,23% do total. Na década de 1980, a área já havia perdido quase 60% da cobertura original de Cerrado, o que demonstra o elevado grau de antropização da paisagem. As formas de uso e ocupação da terra na BHRSR estão relacionadas aos processos de ocupação do Cerrado pelo agronegócio. No mapeamento do Cerrado realizado por Sano *et al.* (2008), na escala de 1:250.000, foram identificados mais de 80 milhões de hectares sob diferentes usos do solo em 2002, representando 39,5% da área total desse bioma, distribuídos espacialmente de modo heterogêneo. As duas classes mais representativas foram pastagens e culturas agrícolas.

Figura 8 – Uso e cobertura da terra de 1985(a) e 2018(b)



Fonte: Os autores (2023).

Para o período analisado (1985-2018), enquanto as áreas de pastagem sofreram uma redução de aproximadamente 30%, a área de cultura anual aumentou 36,59%. Isso demonstra uma alternância entre as áreas de plantio e pastagem. O uso da terra com floresta plantada não aparece em 1985, mas em 2018 representava 3,76% da bacia, indicando a inserção de novas culturas na área. O aumento da classe de área urbana está relacionado ao crescimento da cidade de Formosa, que entre 1985 e 2018 expandiu em 120 hectares.

Tabela 1 – Usos da terra em 1985 e 2018 na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita

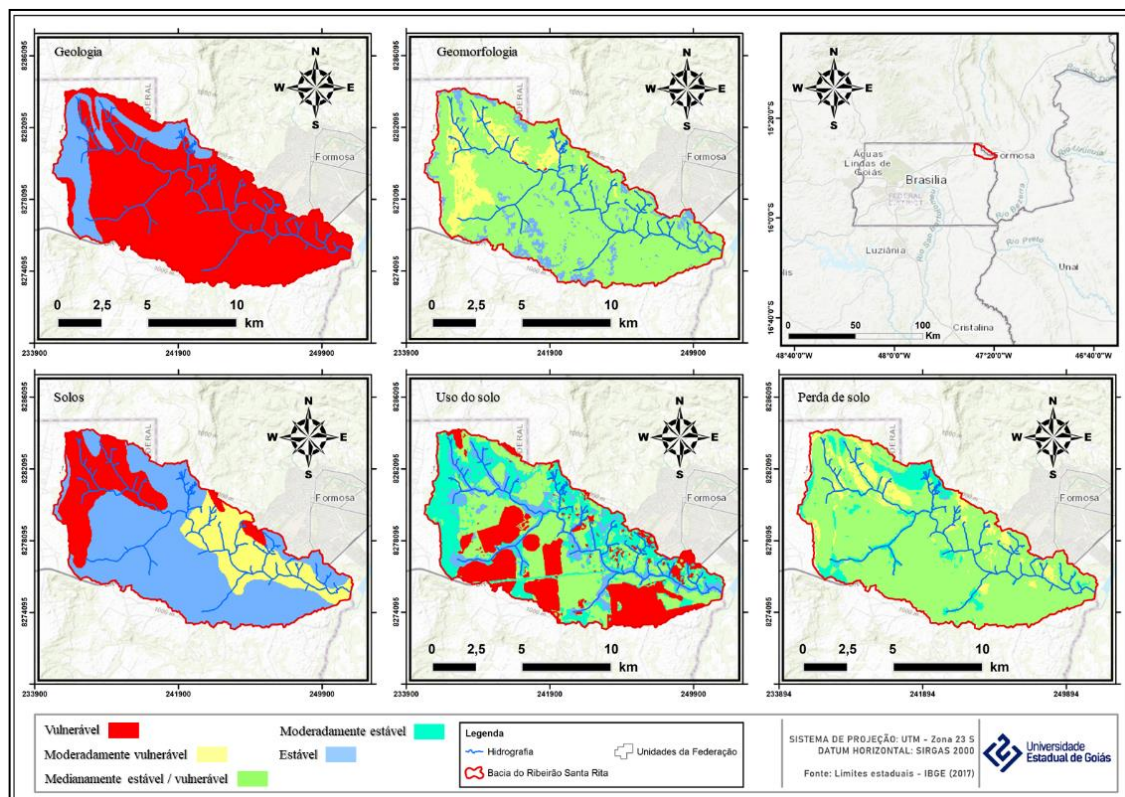
Classes de uso da terra	Ano de 1985		Ano de 2018		2018-1985	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Água	0,0	0,0	16,0	0,2	↑ 16,0	↑ 0,2
Área não Vegetada	100,6	1,0	110,4	1,1	↑ 9,8	↑ 0,1
Área Urbana	16,7	0,2	137,3	1,4	↑ 120,6	↑ 1,2
Cultura Anual	1.698,4	16,9	2.319,8	23,0	↑ 621,4	↑ 6,2
Floresta Plantada	0,0	0,0	379,3	3,8	↑ 379,3	↑ 3,8
Formação Campestre	834,8	8,3	1.313,8	13,0	↑ 479,0	↑ 4,8
Formação Florestal	946,2	9,4	1.423,1	14,1	↑ 476,8	↑ 4,7
Formação Savânica	2.326,4	23,1	1.438,5	14,3	↓ -887,9	↓ -8,8
Pastagem	4.155,4	41,2	2.940,4	29,2	↓ -1.215,0	↓ -12,1

Fonte: Os autores (2023).

Vulnerabilidade natural à perda de solo e fragilidade ambiental da BHRSR

A análise integrada da paisagem da BHRSR para avaliação da vulnerabilidade considerou os aspectos ambientais e as formas de uso e ocupação do solo, conforme a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Isso permitiu identificar áreas com maior e menor potencialidade para perda de solo (Figura 9). Os valores estabelecidos para a vulnerabilidade das unidades geológicas consideraram o grau de coesão das rochas e dos sedimentos dominantes na área (Figura 9; Quadro 4). As rochas do Subgrupo Paraopeba, as Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas e os Depósitos Aluvionares apresentam maior valor de vulnerabilidade devido ao menor grau de coesão e resistência à erosão, se comparadas às rochas do Grupo Paranoá, que apresentam maior estabilidade.

Figura 9 – Vulnerabilidade natural à perda de solo da BHRSR



Fonte: Os autores (2023).

O mapa de vulnerabilidade geológica da Bacia mostra a predominância de uma litologia que contribui para uma alta vulnerabilidade à perda de solo. Esse fator está

relacionado à presença das Coberturas Detrítico-Lateríticas e às características do Grupo Paraopeba, onde predominam formações proterozoicas menos resistentes, compostas por ardósias, calcários e dolomitos. A vulnerabilidade do relevo é, em sua maior parte, média e considerou a declividade, a dissecação do relevo e a amplitude altimétrica. Esses fatores, em associação, conferem à Bacia áreas mais planas, o que acarreta um menor gradiente de energia para o transporte de material, solos ou sedimentos em suspensão nos canais fluviais (Quadro 4).

Quadro 4 – Valores de vulnerabilidade para os aspectos ambientais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita

GEOLOGIA	
Unidades/Categorias	Valores e cores para a vulnerabilidade
Paranoá	1,0
Paraopeba	2,8
Coberturas Detrito-Lateríticas	3,0
Depósitos aluvionares	3,0
CLIMA	
Intensidade pluviométrica	1,9
CLASSES DE SOLOS	
Latossolo	1,0
Cambissolo	2,5
Plintossolo	3
USO DO SOLO	
Formação florestal	1,0
Formação savânica	1,7
Formação campestre	1,7
Floresta Plantada	2,0
Pastagem	2,0
Área urbana	3,0
Cultura anual	3,0
Área não vegetada	3,0

Fonte: Os autores (2023).

A erodibilidade dos solos está relacionada às suas características genéticas e morfológicas, como textura, estrutura, porosidade, profundidade, coesão e agregação, permeabilidade e consistência (Guerra; Botelho, 1996). Essas características definem sua maior ou menor suscetibilidade aos processos erosivos. A classe dos Latossolos é a de maior distribuição na BHRSR e apresenta menor grau de vulnerabilidade à perda de solo, diferentemente dos Plintossolos, que são mais suscetíveis à erosão. A vulnerabilidade do uso da terra foi estabelecida considerando o papel da vegetação como protetora do solo, proporcionando maior estabilidade aos processos

morfodinâmicos. O valor da vulnerabilidade foi menor em áreas com vegetação natural, que proporciona maior cobertura do solo, e maior em áreas com pastagens, culturas agrícolas ou com baixa cobertura da terra, o que provoca uma instabilidade do ponto de vista ambiental (Quadro 4).

A Tabela 2 apresenta a área em hectares das classes de vulnerabilidade da BHRSR. Cerca de 80% da área da Bacia é moderadamente estável/vulnerável e 8% moderadamente vulnerável à perda de solo. A vulnerabilidade foi maior nas áreas de Cambissolos e Plintossolos que foram ocupadas por pastagens e uso com baixa cobertura do solo.

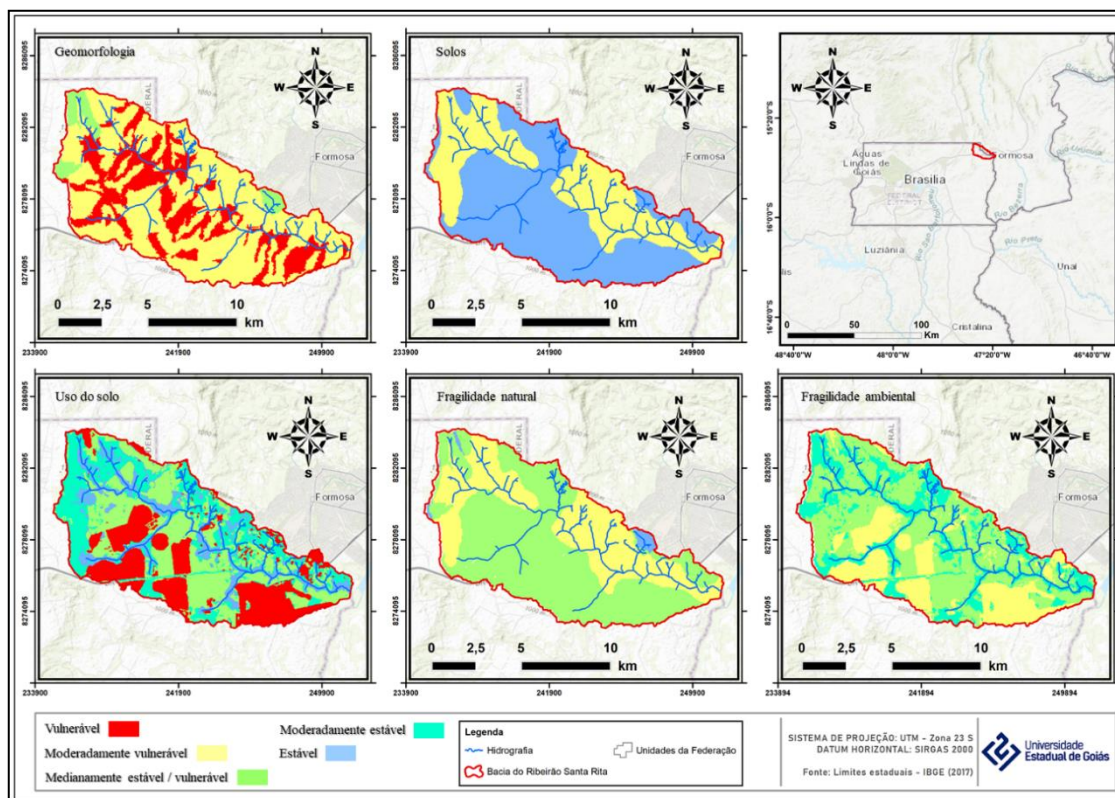
Tabela 2 – Distribuição em hectares e por classes de vulnerabilidade da BHRSR

Graus de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Estável	25,20	0,25
Moderadamente estável	936,41	9,29
Moderadamente estável/ vulnerável	8.307,10	82,42
Moderadamente vulnerável	909,80	8,03
Vulnerável	-	-
Total	10.178,51	100

Fonte: Os autores (2023).

A Figura 10 apresenta a distribuição das classes de fragilidade para cada elemento do meio natural e a interferência da atividade antrópica. A Bacia apresenta fragilidade natural de média a alta, o que é agravado pela ação antrópica. O mapa de fragilidade ambiental demonstra que a classe de baixa fragilidade está relacionada às áreas que ainda possuem cobertura natural em estágios de regeneração. A classe de fragilidade ambiental média (3) é a de maior distribuição com mais de 4.841 hectares, representando 48,03% da área (Tabela 3). A classe de fragilidade ambiental forte (4) está associada, em sua maioria, as áreas com cultura anual de grãos, representando quase 25% da Bacia. De forma geral, a presença da vegetação contribui para diminuir a fragilidade dos ambientes.

Figura 10 – Fragilidade ambiental da BHRSR



Fonte: Os autores (2023).

Tabela 3 – Distribuição em hectares e por classes de fragilidade da Bacia
 Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita

Graus de Fragilidade	Área (ha)	%
Muito baixa (1)	1,78	0,02
Baixa (2)	2.750,04	27,29
Média (3)	4.841,00	48,03
Forte (4)	2.485,70	24,66
Muito Forte (5)	-	-
Total	10.078,51	100

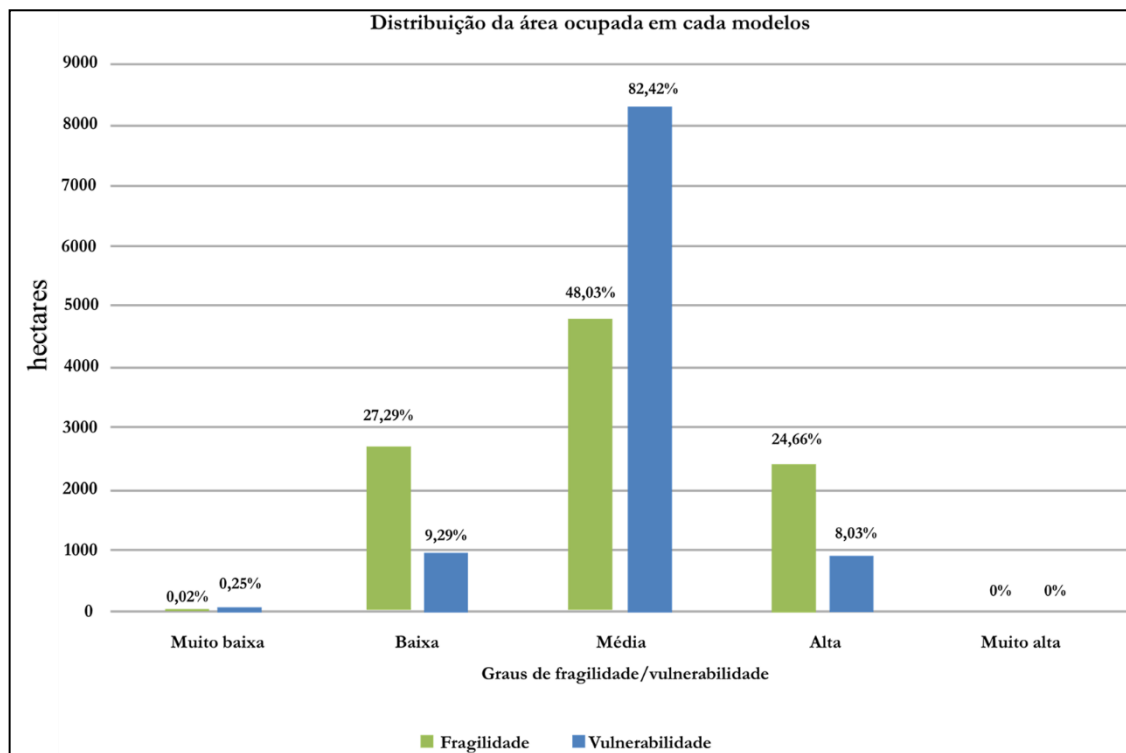
Fonte: Os autores (2023).

A comparação entre os dois métodos analisados revela divergências nos resultados apresentados, devido à utilização de variáveis ambientais e procedimentos técnicos operacionais de maneiras distintas. Enquanto o modelo de Crepani *et al.* (2001) incorpora o substrato rochoso no modelo final de vulnerabilidade, o modelo de Ross

(1994) não considera esse aspecto. Além disso, a abordagem para mensurar a vulnerabilidade/fragilidade do relevo difere entre os dois métodos. No método de Crepani *et al.* (2001), cada atributo ambiental recebe uma pontuação (1,0 a 3,0), e a vulnerabilidade natural à perda de solo é determinada pela média aritmética simples dessas pontuações, resultando nas Unidades Territoriais Básicas (UTB). Ambas as metodologias são fundamentadas nos princípios da Ecodinâmica, amplamente utilizados no Brasil em zoneamentos, diagnósticos e estudos de impactos ambientais (Fagundes; Queiroz Filho, 2014).

A produção e comparação de resultados de modelos com a realidade não é um processo fácil e exige do pesquisador um olhar crítico e profissional, uma vez que modelos podem mascarar a realidade, revelando a complexidade da modelagem de sistemas ambientais. Nos dois modelos, as classes de vulnerabilidade/fragilidade muito baixa e muito alta foram suavizadas devido à média aritmética dos temas, mostrando distribuição em três classes: baixa, média e alta, com predominância do grau médio (Figura 11).

Figura 11 – Comparação entre a fragilidade/vulnerabilidade resultante dos mapas produzidos



Fonte: Os autores (2023).

Considerações finais

O diagnóstico do meio físico possibilitou a obtenção de informações ambientais essenciais para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo e fragilidade ambiental da Bacia. As condições edafoclimáticas da área foram favoráveis para a implantação de pastagens e culturas de grãos, conforme evidenciado pelo mapeamento do uso da terra em 1985, que já indicava a predominância dessas atividades agropastoris. Comparando com o mapa de 2018, observa-se ainda a substituição de áreas de pastagem por culturas de grãos.

Os mapas de vulnerabilidade e fragilidade produzidos revelam a complexidade na criação de modelos matemáticos para os processos na bacia hidrográfica. Os dois modelos utilizados apresentaram resultados distintos para as classes de vulnerabilidade e fragilidade, devido às suas diferenças nos procedimentos técnico-operacionais, variáveis ambientais e valores empíricos adotados. Ambos os métodos indicam que a maior parte da BHRSR possui um grau médio de vulnerabilidade e fragilidade.

Por fim, tornou-se evidente que os dois métodos são importantes para diferentes análises espaciais da realidade e para a criação de modelos que visam identificar vulnerabilidades e potencialidades dos ambientes naturais e antropizados, fornecendo informações essenciais para o planejamento ambiental. Isso reforça a importância não de determinar qual modelo é melhor, mas sim de destacar a necessidade de considerar as especificidades de cada bacia e o conjunto de dados disponíveis. A modelagem reflete diretamente as informações utilizadas, sofrendo forte influência da escala dos dados.

Referências

ALVARENGA, C. J. S.; GIUSTINA, M. E. S. D.; SILVA, N. G. C.; SANTOS, R. V.; GIOIA, S. M. C. L.; GUIMARÃES, E. M.; DARDENNE, M. A.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P. Variações dos isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v.37, n.4, p. 147-155, 2007.

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio-SP. **GEOUSP**, São Paulo, n.26, p. 59-78, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S./l.], v.31, n.5, p. 1099-1108, 2007.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. da S.; SOUZA, C. M. P. de; BETIM, L. S. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Almada - Bahia. **Revista de Geografia (UFPE)**, [S./l.], v.28, n.2, p. 187-205, 2011.

CARDOSO, M. R. D; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, [S./l.], v.8, n.16, p. 40-55, 2014.

CASTRO, K. B.; MARTINS, E. S.; REATTO, A.; LIMA, L. A. S.; RODRIGUES, L. N.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; BORGES, M. E. S.; SOUZA, V. V. de; GOMES, M. G. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Buriti Vermelho-DF. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa Cerrados)**, [S./l.], v.1, p. 5-23, 2009.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, N. R. da S.; LIMA, J. E. de; GOMES, M. F. de M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S./l.], v. 46, p. 291-323, 2008.

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. de. Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos. **Sociedade & Natureza**, [S./l.], v. 29, p. 473-488, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FAGUNDES, M. G.; QUEIROZ FILHO, A. P. de. A variação de escala nas metodologias de fragilidade e vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Jundiá/SP. **Boletim Goiano de Geografia**, [S./l.], v.34, n.3, p. 585-605, 2014.

GOMES, R. L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Almada. **Boletim de Geografia**, [S./l.], v. 31, n. 3, p. 41-53, 2013.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, [S./l.], v.19, p. 93-114, 1996.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S./l.], v.18, n.1, p. 155-167, 2017.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Secretaria de Indústria de Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006.

NASCIMENTO, D.; NOVAIS, G. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, [S./l.], v.9, n.2, p. 01-39, 2020.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2011, 592p.

PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. 2004. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.). Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Ed. Beca. pp. 355–368.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, [S./l.], v. 46, p. 67-82, 2016.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, [S./l.], n.8, p. 63-74, 1994.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*, [S./l.], v.43, n.1, p. 153-156, 2008.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977, 91p.

Autores

Thiara Messias de Almeida Teixeira – É graduada em Geografia pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) e Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente é Professora do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: Av. Universitária eq com a Rua Nagib Simão s/n, Setor Nordeste, Formosa, GO, Brasil, CEP:73807-250.

Amom Chrystian de Oliveira Teixeira – É graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) e Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente é Professor do curso de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: Av. Universitária esq com a Rua Nagib Simão s/n, Setor Nordeste, Formosa, GO, Brasil, CEP:73807-250.

Elton Souza Oliveira – É graduado em Geografia pela Universidade Estadual Goiás (UEG), Mestre em Geociências Aplicadas pela Universidade de Brasília (UnB) e Doutor em Geociências Aplicadas pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente é Professor do Centro das Humanidades (CEHU) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Endereço: Rua da Prainha, Morada Nobre, Barreiras, BA, Brasil, CEP:47810-047.

Artigo recebido em: 08 de dezembro de 2023.

Artigo aceito em: 16 de abril de 2024.

Artigo publicado em: 01 de junho de 2024.