

USO DA GEOINFORMAÇÃO PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA, PE

Use of geoinformation for analysis of vulnerability to water erosion in the Goiana river hydrographic basin

Ana Paula de Lima Borges

Engenheira Civil pela Universidade Estácio de Recife, Brasil

aplb@poli.br

Abmael de Sousa Lima Junior

Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Maurício de Nassau, Brasil

aslj@poli.br

Lucas Amorim Amaral Menezes

Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco, Brasil

laam1@poli.br

Simone Rosa da Silva

Engenheira Civil, professora associada da Escola Politécnica de Pernambuco, Brasil

simonerosa@poli.br

Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Engenheira Civil, professora associada da Universidade de Pernambuco, Brasil

klafayette@poli.br

Recebido: 02.06.2022

Aceito: 10.03.2023

Resumo

O estudo dos principais elementos e condicionantes da paisagem natural, juntamente com o Geoprocessamento, é utilizado como ferramenta de suporte a decisão, visando mitigar problemas sociais e ambientais de um território, utilizando-se de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Esses são capazes de analisar áreas e extrair dados importantes voltados à vulnerabilidade ambiental, que trata das relações entre as atividades humanas e os componentes ambientais. Para realização desse estudo, a metodologia utilizada se baseou em uma adaptação de estudos desenvolvidos por Crepani *et al.* (2001), Zaloti *et al.* (2015) e Gomes *et al.* (2021). Essas propostas consideram os planos de informações espaciais das variáveis: solos, declividade, uso e ocupação do solo e o índice pluviométrico, busca-se a integração dessas variáveis para analisar a bacia hidrográfica do rio Goiana, localizada na zona da mata situada ao norte do estado de Pernambuco e identificar suas características morfométricas. Esse estudo apresenta a construção da matriz de classificação de vulnerabilidade à erosão hídrica por meio uma Análise Hierárquica de Processo (AHP), essa categorização tem como finalidade auxiliar na tomada de decisão sob múltiplos critérios, evidenciando uma melhor aderência das variáveis ao resultado final. Foi desenvolvido, um modelo espacializado em um mapa resultante da vulnerabilidade à erosão hídrica na área de estudo. Os resultados da vulnerabilidade à erosão foram divididos em cinco classes: muito baixa (0,5%), baixa (31,9%), média (34,7%), alta (32,8%) e muito alta (0,1%).

Palavras-chave: Vulnerabilidade à erosão hídrica; geoprocessamento; recursos hídricos

Abstract

The study of the natural landscape's main elements and conditioning factors, together with Geoprocessing, is used as a decision support tool, aiming to mitigate social and environmental problems of a territory using Geographic Information Systems (GIS). These can analyze areas and extract important data on environmental vulnerability, which deals with the relationships between human activities and environmental components. The methodology used To carry out the study was based on an adaptation of studies developed by Crepani et al. (2001), Zaloti et al. (2015) and Gomes et al. (2021). These proposals consider the spatial information plans of the variables: soils, slope, land use and occupation and the rainfall index. One seeks the integration of these variables to analyze the Goiana river basin, located in the forest zone north of Pernambuco, and identify its morphometric characteristics. This study presents the construction of the classification matrix of vulnerability to water erosion through a Hierarchical Process Analysis (AHP). This categorization aims to assist decision-making under multiple criteria, evidencing a better adherence of the variables to the result. A spatialized model was developed on a map resulting from vulnerability to water erosion in the study area. The results of vulnerability to erosion were divided into five classes: very low (0.5%), low (31.9%), medium (34.7%), high (32.8%) and very high (0.1%).

Keywords: Vulnerability to water erosion; Geoprocessing; Water resources.

1. INTRODUÇÃO

O espaço geográfico passou por diversas transformações nas últimas décadas, com grandes níveis de degradação e alterações dos recursos naturais pelas mudanças no uso e na cobertura do solo, assim como tornou-se uma preocupação ambiental para a sociedade. Essa discussão emerge debates importantes em diferentes campos do conhecimento (SENA, 2021).

A cobertura da superfície terrestre e as mudanças no uso da terra são atualmente um problema mundial crítico (KARAMAGE *et al.*, 2016). Cabe salientar as mudanças que ocorrem nos biomas, as áreas nativas são substituídas por atividades econômicas como agricultura e pecuária. Essas transformações na paisagem articuladas com as intervenções sociais ocasionam o surgimento de processos de erosão do solo.

Apesar da erosão do solo ser um processo natural, as atividades humanas aceleram a erosão pela água, seja através da modificação do uso do solo, do desmatamento, de práticas agrícolas e de atividades de construção (THOMAS *et al.*, 2018).

A erosão hídrica é o deslocamento de partículas do solo que acontece em uma paisagem (LIU *et al.*, 2018). O tipo de solo do local e a baixa cobertura vegetal contribui para a formação de erosão do solo, levando ao carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período de chuva (NUNES, 2020). Dessa forma, tem-se o aumento da concentração de resíduos

sólidos e de nutrientes na água dos mananciais, que resulta em impactos negativos, tais como: assoreamento, poluição, enchentes e instabilidade nas partes mais altas.

Diante da importância da conservação das áreas de paisagem natural, deve-se ter um bom planejamento ambiental, situação que requer ferramentas adequadas. A geotecnologia se destaca como importante ferramenta de análise e planejamento ambiental. Além disso, os modelos que estimam a perda de solo com base na geotecnologia se tornaram ferramenta fundamental para identificação de áreas de risco, avaliação dos impactos de diferentes cenários de uso da terra e os efeitos de conservação do solo na erosão hídrica em áreas agrícolas (GALDINO *et al.*, 2016).

Dentro deste contexto, destaca-se que os modelos de erosão são importantes ferramentas na análise da perda de solo, com amplo uso motivado pela grande extensão das bacias hidrográficas brasileiras e a pouca quantidade de informações disponíveis (BATISTA *et al.*, 2017). Entretanto, no Brasil há áreas com ausência de estudos do comportamento erosivo dos solos brasileiros sob diferentes condições naturais e em diferentes manejos, sendo uma dificuldade para a concepção e a melhoria dos modelos para as condições tropicais (CÔRREA *et al.*, 2016).

Atualmente, não há um modelo de previsão claro que possa calcular efetivamente a quantidade de erosão do solo. Equações empíricas e modelos para avaliar a erosão do solo foram estabelecidos. Diante do exposto, se faz necessário considerar a investigação empírica do local, o reconhecimento das características ambientais, a análise do uso da terra, do declive da terra, dos fatores indutores (por exemplo, distribuição de chuva) e das características do tipo de solo (LIN *et al.*, 2019).

O geoprocessamento é responsável em analisar imagens digitais, a fim de identificar as áreas com maior risco à erosão hídrica, por meio da criação de banco de dados, utilizando o *software* Excel e o cadastro das variáveis utilizadas neste estudo. Sua principal ferramenta são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em que a partir de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), se realizam análises que permitem extrair, entre outras, a área da bacia, os índices de drenagem, os índices de declividade e o Modelo Numérico de Terreno (MNT), ou seja, o modelo tridimensional (TUCCI, 1997).

O modelo de previsão escolhido para a realização do estudo é de grande importância nas análises de fragilidade e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Goiana, pois o aumento das ações humanas sobre essas unidades influencia no equilíbrio e qualidade natural, comprometendo a qualidade de vida da população que depende dos seus recursos naturais. Além disso, auxiliam no processo de gestão e planejamento dos

recursos hídricos, garantindo as potencialidades da região por meio do zoneamento ambiental.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Goiana, a partir das variáveis da paisagem natural e de características antrópicas (uso e ocupação do solo). De forma específica, o estudo propõe identificar as áreas mais propensas à erosão hídrica e classificar a vulnerabilidade entre as cinco classes: muito baixa, baixa, médio, alta e muito alta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área do Estudo

A bacia hidrográfica do rio Goiana se localiza no setor oriental do norte do Estado de Pernambuco, Brasil, conforme demonstra a Figura 1. Esta bacia integra a mesorregião estadual denominada Zona da Mata Norte, possui área territorial de 2.937 km², correspondendo a 2,98% da área do Estado (APAC, 2020).

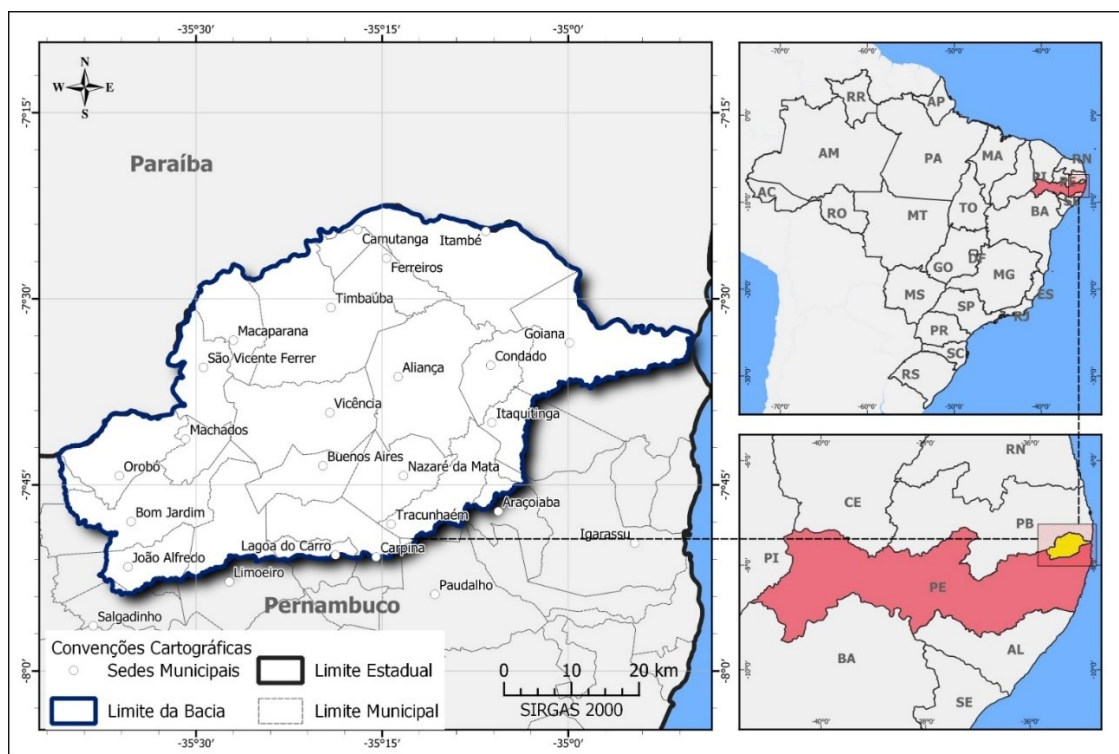


Figura 1 - Mapa de Localização Geográfica da bacia hidrográfica do rio Goiana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na atualização do Plano Estadual de Recursos Hídrico do estado de Pernambuco (PERH - PE), houve a integração da interbacia GL6 (grupo de bacias de pequenos rios litorâneos) a UP 01 (APAC, 2020).

O mapa detalha a Bacia do Rio Paraíba, mostrando a rede hidrográfica com rios como o Paraíba, Capibaribe, Araripe, e outros. Destaca-se a localização das cidades-sedes municipais e o limite da bacia. A legenda cartográfica define os símbolos utilizados para sedes municipais, limites estaduais, cursos d'água, limites da bacia, limites municipais e massas d'água. A escala de 0 a 20 km e a projeção SIRGAS 2000 são também indicadas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A rede hidrográfica da bacia do rio Goiana possui como principal curso d'água o rio Tracunhaém, já o rio Goiana, é formado a partir das confluências dos rios, Capibaribe-Mirim e Tracunhaém e possui cerca de 19 km de extensão até a foz no Oceano Atlântico. O rio Tracunhaém possui sua nascente na Serra Verde, localizada no município de Orobó, com cerca de 115 km de extensão (APAC, 1998).

O rio Capibaribe-Mirim tem cerca de 83 km de extensão, e possui importante função de drenagem na bacia. O rio Capibaribe-Mirim nasce a uma altitude de 700m, nos contrafortes da Serra Pirauá, no município de São Vicente Férrer, apresentando um regime fluvial intermitente até as proximidades da cidade de Timbaúba onde se torna perene (APAC, 1998).

As desembocaduras dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém estão a 4 km à montante da cidade de Goiana. A partir daí o rio denomina-se Goiana e o seu curso até o Oceano Atlântico é de cerca de 15 km. Nos seus últimos 10,5 km possui limite entre os Estados da Paraíba e Pernambuco (APAC, 1998).

Destaca-se a relevância deste trabalho devido à elaboração do plano hidroambiental da bacia do rio Goiana. Assim sendo, possui o propósito de contribuir com o desenvolvimento de novas pesquisas direcionadas à área da gestão de recursos hídricos na área estudada, além de apresentar parâmetros que possam ser utilizados como modelo para estudar outras áreas.

2.2. Características morfométricas da bacia

Para caracterizar o funcionamento da bacia do rio Goiana torna-se necessário expressar quantitativamente suas características físicas, como por exemplo: a área da bacia, forma geométrica, processos de escoamento superficial, deflúvio, dentre outros aspectos.

Vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis à bacia como um todo, enquanto outros relativos a apenas algumas características específicas. Destaca-se que nenhum desses parâmetros deve ser entendido como capaz de simplificar a complexidade e as dinâmicas de uma bacia hidrográfica, a qual inclusive tem magnitude temporal e espacial.

O rio principal de uma bacia hidrográfica é normalmente considerado como sendo aquele que drena a maior área dentro da bacia. Assim sendo, o curso d'água principal considerado para os cálculos das características morfométricas foi o rio Tracunhaém.

No Quadro 1 são observadas as características dos principais parâmetros avaliados para a bacia hidrográfica.

Quadro 1 - Características dos parâmetros a serem analisados.

Parâmetros	Descrição	Equação
Fator de Forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Kf = \frac{A}{L^2}$ (m/m)
Coeficiente de Compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A).	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ (m/m)
Índice de Circularidade (IC)	Relação entre a área (A) da bacia e o perímetro da bacia (P).	$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$ (m ² /m)

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2.1. Fator de forma (KF)

A forma é uma das características físicas mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas outras características da bacia, principalmente pela estrutura

geológica. A forma pode, também, atuar sobre alguns dos processos hidrológicos, ou sobre o comportamento hidrológico da bacia.

Inúmeros métodos de descrição da forma da bacia foram desenvolvidos, conforme explicado com detalhes em diversas literaturas (MORISAWA, 1968), (GREGORY; WALLING, 1973).

Horton (1945) propôs a Equação 1 para o cálculo do fator de forma:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Kf = Fator de Forma (m/m)

A = Área da Bacia (km²)

L = Comprimento do Eixo da Bacia (m)

Este índice dá indícios sobre as tendências de acontecimentos de grandes enchentes na bacia, conforme observa-se na Figura 3.

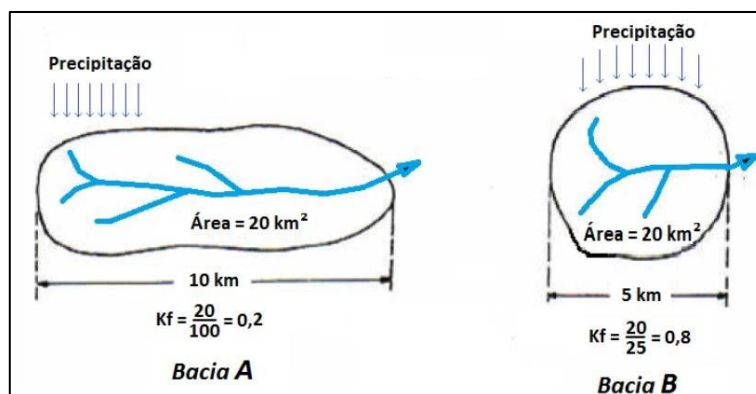


Figura 3 - Representação da influência do fator de forma.

Fonte: Horton, 1945.

Na Figura 3, o escoamento direto de uma determinada precipitação na bacia (A) não se concentra tão rapidamente como em (B), além do fato de que bacias longas e estreitas como a (A) são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB *et al.*, 1966). Assim, comparativamente, bacias com fatores de forma próximas a 1, têm maiores possibilidades de sofrer inundações do que bacias com fator de forma menor (

Quadro 2).

Quadro 2 - Classificação do fator de forma.

Valor de Kf	Características da Bacia
Entre 1,00 e 0,75	Bacia com Alta Propensão a Grandes Enchentes
Entre 0,75 e 0,50	Bacia com Tendência Mediana a Grandes Enchentes
< 0,50	Bacia não Sujeita a Grandes Enchentes

Fonte: Horton, 1945.

Para a bacia hidrográfica do rio Goiana, o fator de forma é de 0,33, conforme apresentado a seguir:

- Área da Bacia (A) = 2.937 km²
- Comprimento do Eixo da Bacia (L) = 95 km

Aplicando a Equação 1, tem-se:

$$Kf = \frac{2.937 \text{ km}^2}{(95 \text{ km})^2}$$

$$Kf = 0,33$$

Segundo a metodologia proposta por Horton (1945), a bacia analisada não está sujeita a grandes enchentes, tendo em vista que seu fator de forma ficou abaixo de 0,50.

2.2.2. Coeficiente de compacidade (Kc)

A bacia hidrográfica apresenta um formato, que conseqüentemente depende da estrutura geológica do terreno, no qual tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, exercendo influência no tempo de concentração.

Os índices que determinam a forma da bacia procuram relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O coeficiente de compacidade (Kc), é a relação entre os perímetros de uma bacia e um círculo de área igual à da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975), podendo ser calculado pela seguinte expressão:

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade

P = Perímetro da bacia (km)

A = Área da bacia (km²)

Se o coeficiente de compacidade calculado for acima de 1,50, então, a bacia é mais alongada e não suscetível a grandes enchentes (Quadro 3), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho, quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade.

Quadro 3 - Classificação do coeficiente de compacidade

Valor de Kc	Características da Bacia
Entre 1,00 e 1,25	Bacia com Alta Propensão a Grandes Enchentes
Entre 1,25 e 1,50	Bacia com Tendência Mediana a Grandes Enchentes
> 1,50	Bacia não Sujeita a Grandes Enchentes

Fonte: Horton, 1945.

Para a bacia hidrográfica do rio Goiana, o coeficiente de compacidade calculado é de 1,69, conforme observa-se na sequência.

- Perímetro da bacia (P) = 327 km
- Área da bacia (A) = 2.937 km²

Aplicando a Equação 2, tem-se:

$$K_c = 0,28 \times \frac{327 \text{ km}}{\sqrt{2.937 \text{ km}^2}}$$

$$K_c = 1,69$$

O coeficiente igual à 1 corresponde a uma bacia de formato circular, com grande tendência a cheias. Quanto mais próximo de 1,0 for o Kc calculado, mais próxima a forma de um círculo a bacia apresenta. No entanto, terá menor tendência a cheias quando for mais distante de 1 o Kc calculado, ou seja, apresenta a forma de uma bacia alongada. Na bacia hidrográfica do rio Goiana o coeficiente de compacidade calculado foi de 1,69 o que indica que a bacia não é suscetível a grandes enchentes.

2.2.3. Índice de circularidade

Outro índice de forma é o chamado “Índice de Circularidade”, assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para 1,0 à medida que a bacia hidrográfica se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CHRISTOFOLETTI, 1974). Tal índice pode ser calculado pelo seguinte procedimento:

$$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

IC = Índice de Compacidade

A = Área da bacia (km²)

P = Perímetro da bacia (km)

Para a bacia hidrográfica do rio Goiana, o índice de circularidade calculado é de 0,35, conforme observa-se na sequência.

- Área da bacia (A) = 2.937 km²
- Perímetro da bacia (P) = 327 km

Aplicando a Equação 3, tem-se:

$$IC = 12,57 \times \frac{2.937 \text{ km}^2}{(327 \text{ km})^2}$$

$$IC = 0,35$$

Observa-se, portanto, que a área de estudo tem pouca circularidade e pequena possibilidade de gerar enchentes, segundo a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), definindo que quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas.

2.3. Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada para determinação da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Goiana foi baseada em uma adaptação aos estudos de Crepani *et al.* (2001), Zaloti *et al.* (2015) e Gomes *et al.* (2021). Diante do exposto, foi levado em consideração os planos de informações: solos, declividade, uso e ocupação do solo e pluviometria. As referências e o ano de publicação das variáveis são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Planos de informação utilizados (variáveis).

Variáveis	Fonte
Uso e Ocupação do Solo	Coleção 6 do MapBiomas (Projeto MapBiomas, 2020)
Solos	Embrapa, Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2006)
Declividade	Shuttle Radar Topography Mission – SRTM - (TOPODATA, 2011)
Precipitação Média Anual	Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC (APAC, 2021)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para cada variável foram atribuídos pesos, considerando a escala de vulnerabilidade à erosão, para a respectiva área de estudo delimitada. Esta escala considera os pressupostos da Ecodinâmica (TRICART, 1977), conforme preconizado no estudo de Zaloti *et al.* (2015). A partir das escalas e dos pesos atribuídos, realizou-se análises que considerou as variáveis de uso e ocupação do solo, solos, declividade e precipitação média anual. Permitindo assim, a geração de um modelo de suporte a decisão capaz de auxiliar na análise da vulnerabilidade à erosão hídrica em forma de pesos definidos em uma matriz de classificação (CREPANI *et al.*, 2001). Os pesos são apresentados no Quadro 9 mais adiante. A informação espacial do uso e ocupação do solo foi extraída da coleção 6 do MapBiomas (Projeto MapBiomas, 2020) e indicada na Figura 4. Os mapas utilizados neste estudo foram desenvolvidos com o auxílio do software Qgis 3.16.

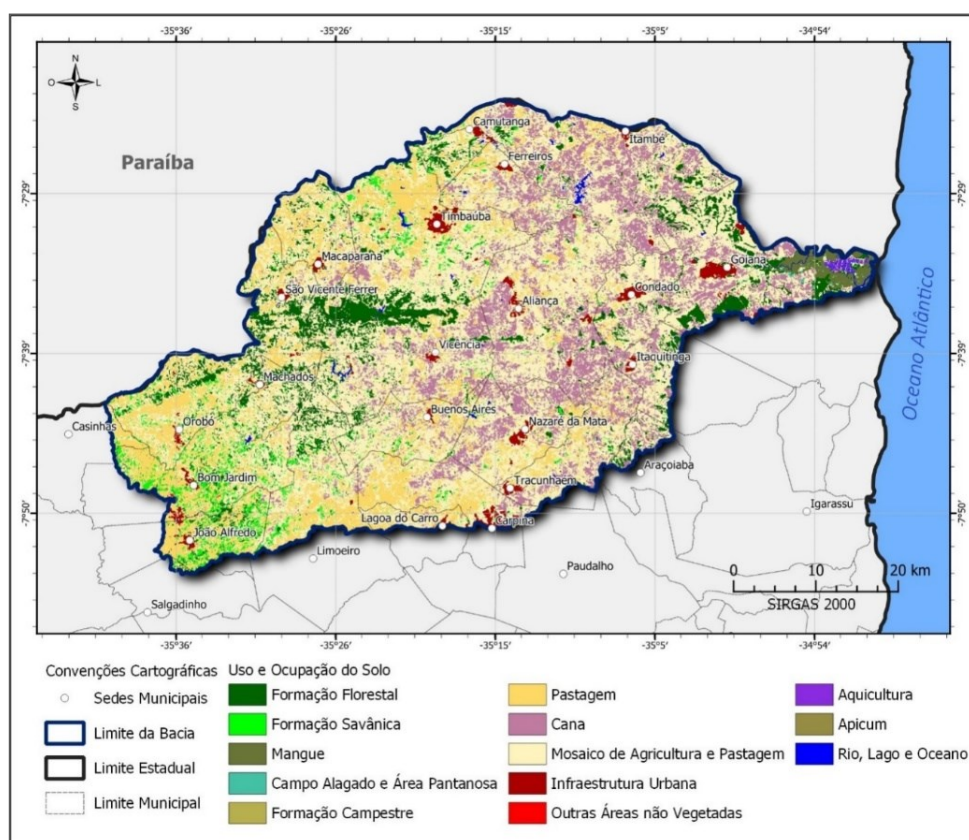


Figura 4 - Mapa ilustrativo do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Goiana

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do MapBiomas (2020).

Conforme Zaloti *et al.* (2015), para utilização dos dados em escala de vulnerabilidade à erosão é necessário realizar um agrupamento das diversas classes encontradas espacialmente na área de estudo. Com isso, agrupou-se em 6 classes, com valores de escala de vulnerabilidade variando entre 1 e 5, conforme indicado por Crepani *et al.* (2001).

Diante do exposto, foi calculada a área de cada classe, em km² e o respectivo percentual em relação a área da bacia hidrográfica (Quadro 5).

Quadro 5 - Agrupamento da variável uso e ocupação do solo.

Variável Avaliada	Classe Agrupada	Classe	Valores da Vulnerabilidade	Área (Km ²)	%
Uso e Ocupação do Solo	- Formação Florestal - Formação Savânica - Mangue	Floresta	1	373,55	12,7%
	- Campo Alagado e Área Pantanosa - Formação Campestre - Apicum	Corpos d'água	1	16,86	0,6%
	- Pastagem - Mosaico de Agricultura e Pastagem	Formação não Natural	1	2,98	0,1%
	- Cana	Agropecuária	3	2.038,15	69,4%
	- Infraestrutura Urbana - Outras Áreas não Vegetadas	Lavoura Temporária	4	441,56	15,0%
	- Aquicultura - Rio, Lago e Oceano	Área Não Vegetada	5	63,89	2,2%
	TOTAL			2.937	100,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A informação espacial referente aos tipos de solos foi extraída da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, (SIBCS). Esta informação está apresentada na Figura 5, que destaca a distribuição das principais classes de solo ocorridas na área de estudo.

Para utilização dos dados da variável tipos de solo, faz-se necessário a realização do agrupamento das diversas classes encontradas e distribuídas espacialmente na área de estudo, seguindo os critérios da EMBRAPA (ZALOTI *et al.*, 2015). Com isso, foram agrupados em 4 classes, com valores de escala de vulnerabilidade obtido variando entre 1, 2, 2,5 e 3, (CREPANI *et al.*, 2001). Posteriormente, calculou-se a área de cada classe, em km² e o respectivo percentual em relação a área da bacia hidrográfica, conforme demonstrado no Quadro 6.

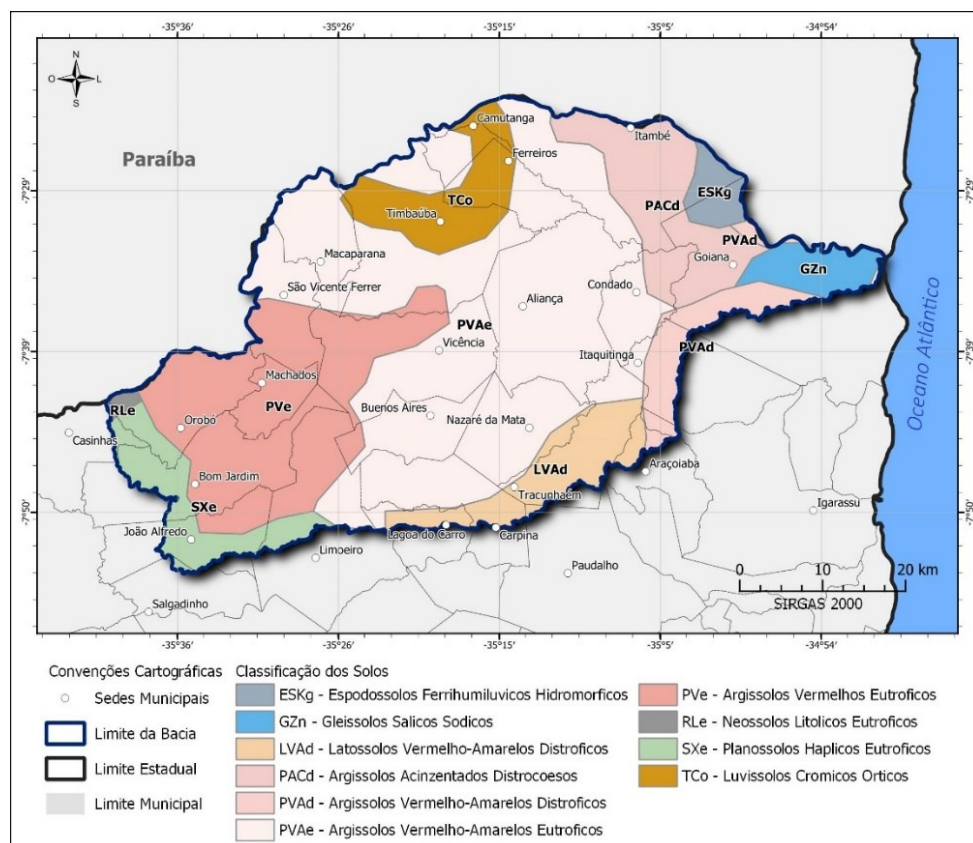


Figura 5 - Mapa ilustrativo dos tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Goiana.
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir da Embrapa (2006).

Quadro 6 - Agrupamento da variável tipos de solo.

Variável Avaliada	Classe Agrupada	Classe	Valores da Vulnerabilidade	Área (Km²)	%
Solos	LVAd	Latossolos	1	167,80	5,7%
	PVe, SXe, PVAd, PVAe, ESKg, PVAd, TCo, PACd	Argissolos, Luvisolos, Nitossolos, Chernossolos, Planossolos e Espodossolos	2	2.681,65	91,3%
	-	Cambissolos	2,5	0,00	0,0%
	RLe, GZn	Neossolos, Vertissolos, Organossolos, Gleissolos, Plintossolos e Afloramentos rochosos	3	87,55	3,0%
	TOTAL			2.937	100,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A informação espacial da declividade, foi extraída da Topográfica Radar Shuttle - SRTM (TOPODATA, 2011), apresentado na Figura 6.

De acordo com Crepani *et al.* (2001), para a variável declividade, as informações já são extraídas e agrupadas, e, são utilizadas diretamente com os valores de escala de vulnerabilidade definido, variando do menor peso 1 (Plano, 0% a 3%) até o maior 5 (Montanhoso, maior que 45%). Logo, foi calculada a área de cada classe, em km² e o

respectivo percentual em relação a área da bacia hidrográfica, conforme destacado no Quadro 7.

Quadro 7 - Agrupamento da variável declividade.

Variável Avaliada	Classe	Valores da Vulnerabilidade	Área (Km²)	%
Declividade	Plano - 0% a 3%	1	232,41	7,9%
	Suave Ondulado - 3% a 8%	2	601,51	20,5%
	Ondulado - 8% a 20%	3	1.276,37	43,5%
	Forte Ondulado - 20% a 45%	4	782,59	26,6%
	Montanhoso - > 45%	5	44,12	1,5%
TOTAL			2.937	100,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

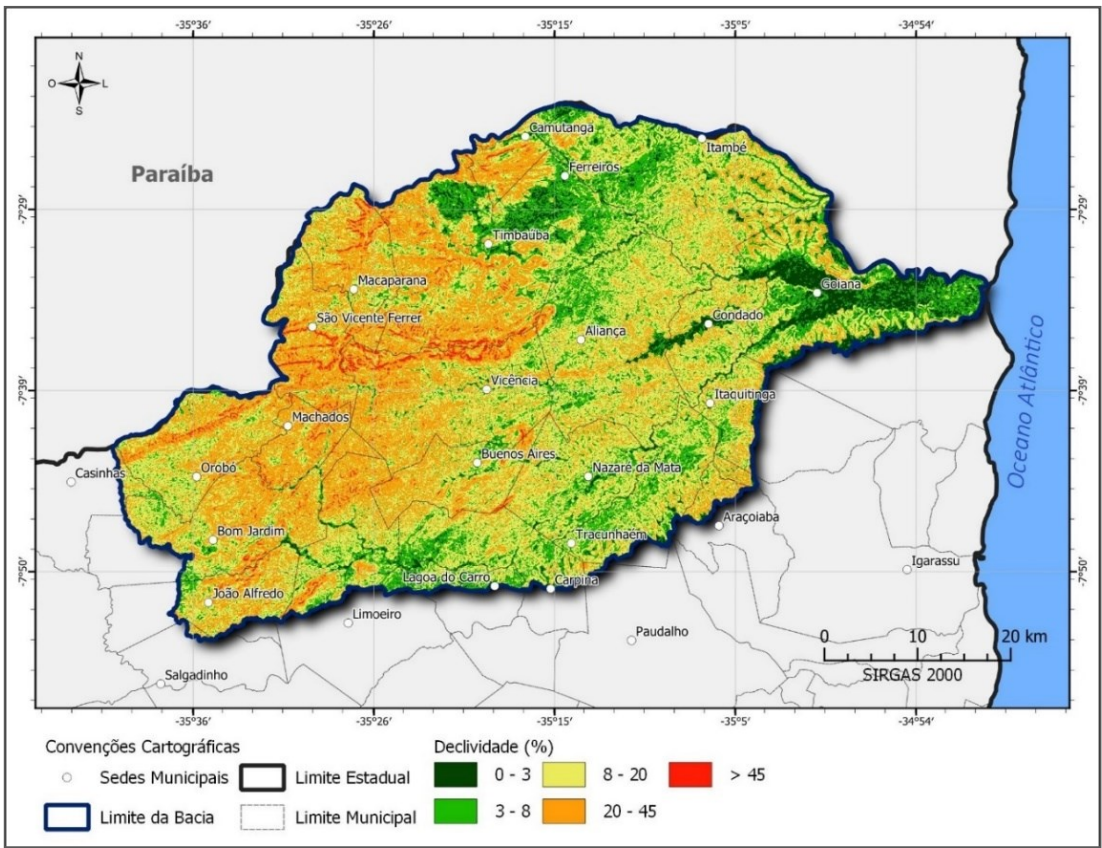


Figura 6 - Mapa ilustrativo de declividade da bacia hidrográfica do rio Goiana.
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Topodata (2011).

A informação espacial da pluviosidade, representada em precipitação média anual, foi extraída de estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados utilizados neste trabalho foram os da normal climatológica de 30 anos, no período de 1989 a 2019 (Normal climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET), não sendo necessário o preenchimento de falhas, tendo em vista que a condição dos dados se mostrou satisfatória.

Para essa análise, selecionou-se 6 (seis) estações meteorológicas, situados dentro da área de estudo, com uniformidade temporal no período de 1989 até 2019 (30 anos) conforme verificado na Figura 7.

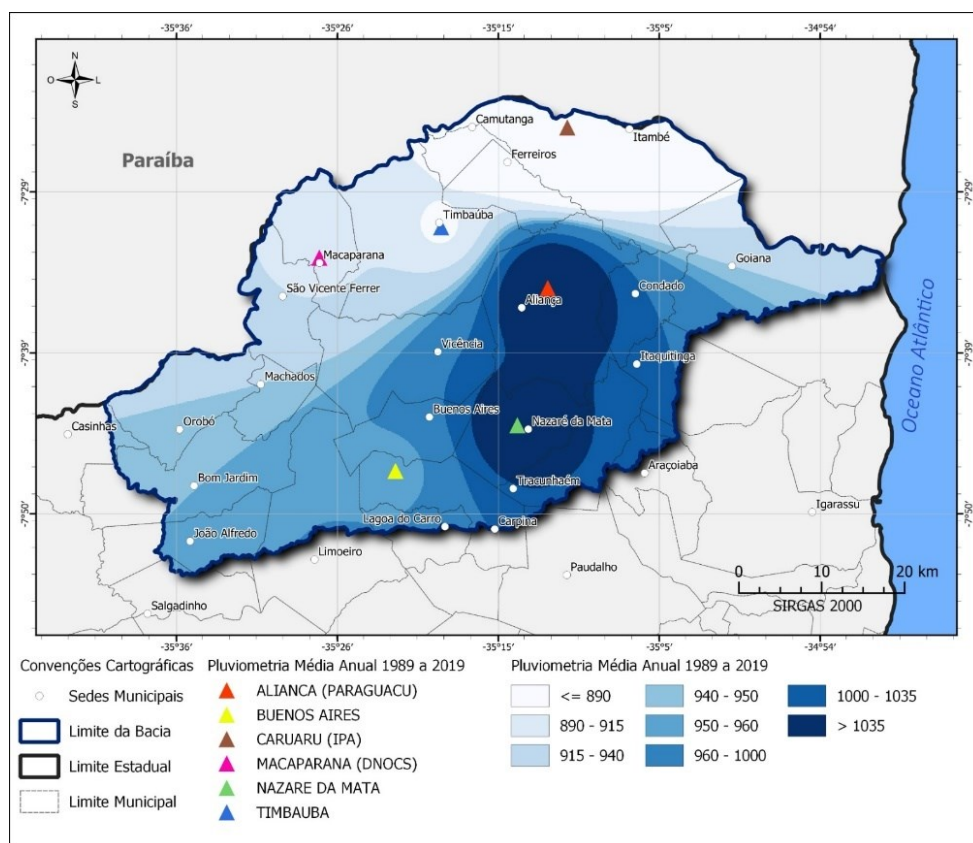


Figura 7 - Mapa Ilustrativo da precipitação média anual da bacia hidrográfica do rio Goiana
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de INMET (2022).

As classes do agrupamento de valores de precipitação média anual, relacionadas com a escala de vulnerabilidade à erosão, foram determinadas com melhor aderência ao aspecto de pluviosidade (regime pluvial) na bacia. Foi calculada a área de cada faixa de valores definida, em km² e o respectivo percentual em relação a área da bacia hidrográfica, conforme o

Quadro 8.

Quadro 8 - Agrupamento da variável pluviometria.

Variável Avaliada	Classe	Valores da Vulnerabilidade	Área (Km ²)	%
Precipitação média anual	< 700mm	1	211,56	7,2%
	700mm a 900mm	2	582,59	19,8%
	900mm a 1.100mm	3	846,31	28,8%
	1.100mm a 1.300mm	4	859,48	29,3%
	> 1.300mm	5	437,07	14,9%

	TOTAL	2.937	100,0%
--	--------------	--------------	---------------

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após as definições das 4 variáveis utilizadas, desenvolveu-se a matriz de classificação da vulnerabilidade à erosão hídrica para a bacia hidrográfica do rio Goiana. Para a elaboração da matriz de vulnerabilidade se fez necessário a aplicação de um fator de ponderação em relação à área de cada classe anteriormente analisada, determinando o valor em escala para cada uma das variáveis, conforme apresentado no Quadro 9. Vale ressaltar também que, na matriz, é possível verificar o peso total relativo da variável em relação às demais, sendo a declividade a que possui o maior peso, com 2,93, que representa 28,00%.

Quadro 9 - Matriz de classificação da vulnerabilidade à erosão hídrica da bacia do rio Goiana.

Variável Avaliada	Classe	Peso	Percentual
Uso e Ocupação do Solo	Floresta	0,13	27,92%
	Corpos d'água	0,01	
	Formação não Natural	0,00	
	Agropecuária	2,08	
	Lavoura Temporária	0,60	
	Área Não Vegetada	0,11	
TOTAL USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		1,39	
Solos	Latossolos	0,06	18,83%
	Argissolos, Luvisolos, Nitossolos, Chernossolos, Planossolos e Espodossolos	1,83	
	Cambissolos	0,00	
	Neossolos, Vertissolos, Organossolos, Gleissolos, Plintossolos e Afloramentos rochosos	0,09	
TOTAL SOLOS		1,97	
Declividade	Plano - 0% a 3%	0,08	28,00%
	Suave Ondulado - 3% a 8%	0,41	
	Ondulado - 8% a 20%	1,30	
	Forte Ondulado - 20% a 45%	1,07	
	Montanhoso - > 45%	0,08	
TOTAL DECLIVIDADE		2,93	
Precipitação Média Anual	< 900mm	0,16	25,25%
	901mm a 950mm	0,67	
	951mm a 1.000mm	0,79	
	1.001mm a 1.050mm	0,69	
	> 1.050mm	0,34	
TOTAL PRECIPITAÇÃO		2,65	
TOTAL GERAL		8,94	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a elaboração da matriz de classificação, com indicação dos respectivos pesos das variáveis, foi gerado o modelo final de vulnerabilidade à erosão hídrica para a área de

estudo. Entretanto, com o objetivo de melhorar a aderência e representatividade dos dados das variáveis, se realizou uma Análise Hierárquica de Processo (AHP), que se apresenta como um método reconhecido cientificamente para auxiliar à decisão sob múltiplos critérios e permite a utilização de dados qualitativos e/ou quantitativos mensuráveis.

Primeiramente, as variáveis utilizadas para classificar a vulnerabilidade à erosão hídrica são decompostos em uma hierarquia, em seguida, são executadas as comparações binárias entre essas variáveis, buscando a definição das prioridades entre as variáveis. A escala de comparação proposta pelo método é apresentada no Quadro 10. Esta escala determina os critérios ou alternativas melhores e, também estabelece quanto melhor é em relação ao par.

Quadro 10 - Escala de comparação aos pares.

Valor	Definição da Avaliação	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991).

Para auxiliar na comparação entre as variáveis, foi considerado, os pesos calculados na matriz de classificação, ou seja, as variáveis que apresentam o maior peso na matriz, tem prioridade quando comparadas entre as demais, de forma binária. Como exemplo, para essa determinação pode-se mencionar a comparação entre o uso e ocupação do solo e o solo. Para a primeira variável o peso obtido foi de 2,93, já para a segunda variável esse valor foi de 1,97. Nesse caso, atribui-se o valor 3 para a comparação entre essas duas variáveis, representando uma importância fraca do solo sobre o uso e ocupação do solo. As demais comparações foram definidas de forma similar. No

Quadro 11, observa-se as prioridades definidas para cada variável analisada.

Quadro 11 - AHP - Definição das prioridades das variáveis.

Item	Prioridade das Variáveis		Igual	Quanto Mais?								
	A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

1	Uso e Ocupação do Solo	Solos			X						
2	Uso e Ocupação do Solo	Declividade	X								
3	Uso e Ocupação do Solo	Precipitação Média Anual		X							
4	Solos	Declividade				X					
5	Solos	Precipitação Média Anual			X						
6	Declividade	Precipitação Média Anual	X								

Fonte: Elaborado pelos autores.

Estas comparações realizadas, determinaram as prioridades locais e a partir destas, é possível construir a matriz de decisão. Nessa construção, toda vez que o critério da linha for mais importante que o da coluna, atribui-se um valor inteiro, caso ao contrário, atribui-se o valor inverso. No Quadro 12, observa-se a matriz de decisão elaborada a partir da análise hierárquica realizada.

Quadro 12 - AHP - Matriz de decisão.

	1	2	3	4
1	1	3,00	1,00	2,00
2	0,33	1	0,25	0,33
3	1,00	4,00	1	1,00
4	0,50	3,00	1	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

A matriz de decisão é normalizada e, em seguida, obtém-se as médias de cada variável, determinando a matriz de prioridade (Quadro 13) com o peso relativo de cada critério que representa o resultado final da Análise Hierárquica de Processos.

Quadro 13 - AHP - Matriz de prioridade.

	Categoria	Prioridade	Rank
1	Uso e Ocupação do Solo	35,1%	1
2	Solos	9,0%	4
3	Declividade	31,2%	2
4	Precipitação Média Anual	24,7%	3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desse modo, vale ressaltar que para determinar se a AHP é coerente, deve ser calculada a razão de consistência (CR), conforme Saaty (2005). Logo, este valor deve ser menor que 0,10, Poseiro *et al.* (2013). A razão de consistência é denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de consistência randômico obtido para uma matriz de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente e IC é o Índice de Consistência dado por $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\max}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos

(TREVIZANO & FREITAS, 2005). O valor calculado para esta análise foi o de 0,026, indicando que a AHP realizada está coerente.

Após realizada a análise hierárquica de processo, se realizou um procedimento de geoprocessamento, através da calculadora raster do software Qgis 3.16 para interpolar os dados das variáveis analisadas e por fim gerar um novo raster com o modelo final representando a vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Goiana.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta paisagem heterogênea no âmbito do uso e ocupação do solo, tipos solos, declividade e precipitação pluvial. Destaca-se como componentes naturais a declividade e a precipitação, pois ambas as variáveis se mostraram bastante relevantes nas análises realizadas.

3.1. Uso e ocupação do solo

Na bacia do rio Goiana, existe um grande polo produtor de cana de açúcar (lavoura temporária), ocupando cerca de 15% da área da bacia com esse tipo de uso do solo, esse fator influência diretamente no resultado da vulnerabilidade. Segundo Ross (2012), o uso diversificado do solo propicia diferentes graus de vulnerabilidade em função do manejo e da proteção exercida pela vegetação e são fundamentais para a aceleração dos processos erosivos.

3.2. Solos

Existe uma grande preponderância de Argissolos, Luvissolos, Nitossolos, Chernossolos, Planossolos e Espodossolos na bacia, chegando a cerca de 2.681 hectare (91,3%) de área da bacia. Os solos foram o fator de menor peso na análise da vulnerabilidade à erosão na bacia. Diante do exposto Ferreira *et al.* (2010), afirma que, o solo se torna vulnerável à erosão hídrica, quando o manejo das culturas não é feito da forma correta. Logo, acarreta danos com a supressão da cobertura vegetal e consequentemente o solo fica exposto a precipitação, provocando surgência de processos erosivos.

3.3. Declividade

O fator declividade, na bacia apresenta cerca de 1.276 hectares com declividade entre 8% a 20% (relevo ondulado), o que representa cerca de 43% da área da bacia. Nas áreas

onde se localizam os municípios de Machados, São Vicente Férrer, Macaparana e Camutanga, a declividade nessas região chega a ser maior que 45% (relevo forte ondulado e montanhoso), equivalente a cerca de 28% da área da bacia. Portanto, a declividade foi a variável com o maior peso de ponderação na matriz de classificação desenvolvida, com grande peso na análise final da vulnerabilidade à erosão.

3.4. Precipitação média anual

Os dados de precipitação pluvial foi um bom instrumento de trabalho para subsidiar a avaliação da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia, com base nas informações disponibilizadas pelo INMET, se observou dados de precipitações mensais e anuais.

Conclui-se que no período analisado, a precipitação anual apresenta índices elevados, mas distribuída durante o ano. Desse modo, o seu poder erosivo será bem menor do que uma precipitação anual reduzida, caracterizada pela concentração em um certo período do ano. Segundo Crepani *et al.* (2004), a intensidade da precipitação é a variável mais importante para esse tipo de análise, pois representa a relação entre a quantidade e a distribuição sazonal. Na Figura 8, observa-se a precipitação média mensal na bacia no período de 1989 a 2019.

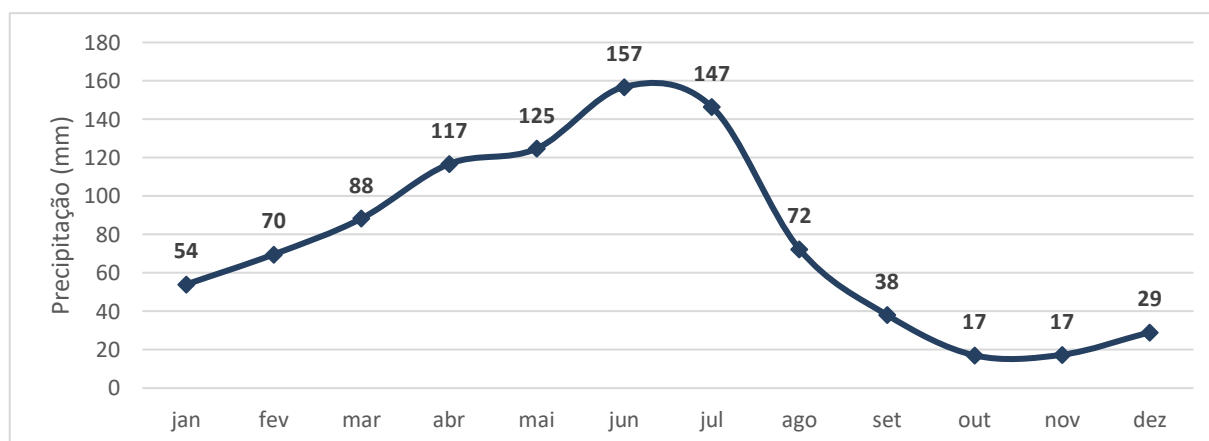


Figura 8 - Precipitação média mensal na bacia para o período de 1989-2019

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de APAC (2021).

Observa-se, na Figura 8, que as maiores quantidades de precipitações acontecem entre os meses de fevereiro e agosto, variando de 70 mm a 157 mm. Sabe-se que a intensidade pluviométrica contribui para a erosão hídrica na bacia.

3.5. Vulnerabilidade à erosão hídrica

O resultado gerado a partir da análise geoespacial, considerando a integração das variáveis de uso e ocupação do solo, solos, declividade e precipitação média anual, permitiu a identificação das áreas vulneráveis à erosão hídrica. Assim como, a classificação em faixas de vulnerabilidade, sendo elas: alta, média, baixa e muito baixa.

A partir da metodologia descrita, foi realizado um processamento dos rasters de uso e ocupação do solo, tipos de solos, declividade e precipitação média anual, aplicando a seguinte expressão abaixo, a qual foi gerada a partir da matriz de prioridade apresentada no Quadro 13.

$$VE = (UOS \times 0,351) + (SO \times 0,09) + (DE \times 0,312) + (PMA \times 0,247)$$

Onde:

VE: Vulnerabilidade à Erosão Hídrica

UOS: Uso e Ocupação do Solo

SO: Solos

DE: Declividade

PMA: Precipitação Média Anual

Para o processamento dos rasters utilizou-se a calculadora raster do software Qgis 3.16, onde é permitido realizar cálculos com base em valores pixel (rasters existentes) e os resultados são gravados em uma nova camada.

Os resultados de vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Goiana são apresentados no Quadro 14 e a espacialização dos dados na Figura 9.

Quadro 14 - Classificação da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia do rio Goiana.

Vulnerabilidade	Classificação	Área km ²	%
1	Muito Baixa	13,92	0,50%
2	Baixa	936,40	31,90%
3	Média	1.019,38	34,70%
4	Alta	963,59	32,80%
5	Muito Alta	3,71	0,10%
TOTAL		2.937,00	100,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

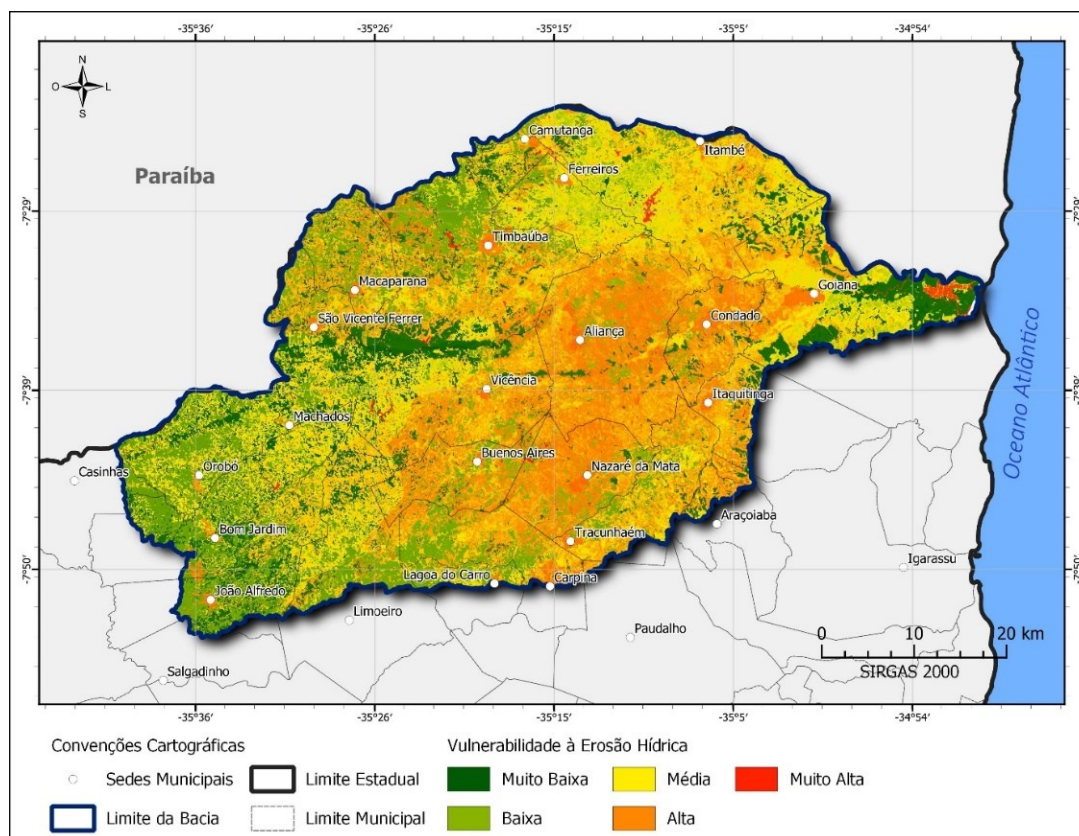


Figura 9 - Vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia do rio Goiana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se uma distribuição uniforme entre as classes de vulnerabilidade baixa (31,90%), média (34,70%) e alta (32,80%), as quais são equivalentes a cerca de 2.919 hectare (99,4%) da área da bacia.

De acordo com o Quadro 14 pode-se observar que classe baixa e muito baixa, possui abrangência de aproximadamente 950,40 km², correspondendo a 32,40% da área total da bacia em estudo. A classe de vulnerabilidade baixa e muito baixa possui um percentual mais expressivo localizada ao oeste da bacia, com solo predominante do tipo argissolos vermelho, destinado a agricultura e cultivo para alimentação de animais, com precipitação média anual variando entre 900mm e 950mm. Predominando relevo do tipo forte ondulado e montanhoso, com declividade variando de 20% a 45%. Diante do exposto, justificando a baixa vulnerabilidade à erosão hídrica nesta área da bacia.

Destaca-se na porção nordeste da bacia, a área com média vulnerabilidade, com cerca de 1019,38 km², correspondendo a 34,07% da área total da bacia em estudo. No qual possui solo predominante do tipo Argissolos Acinzentados Distrocoesos, destinado ao uso da agropecuária, plantação de cana de açúcar, infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas. Diante do exposto, justificando a média vulnerabilidade à erosão hídrica nesta área da bacia.

Constata-se maior concentração de vulnerabilidade alta e muito alta, na área centralizada norte e sul da bacia, com abrangência de aproximadamente 967,30 km², correspondendo a 32,90% da área total da bacia em estudo. A classe de vulnerabilidade alta e muito alta é mais expressiva devido a dois fatores desta região, a grande concentração de lavoura temporária (produção de cana de açúcar), com solo predominante do tipo argissolos vermelho/amarelo, e as maiores concentrações de precipitação média anual, que variam de 1000mm e 1035mm, apresentando distribuição homogênea. Tendo em vista que, o uso e ocupação do solo e a precipitação tem grande peso na análise da vulnerabilidade à erosão hídrica, justifica-se que, essa região apresenta classes altas de vulnerabilidade.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados desse trabalho apresentaram os graus de vulnerabilidade à erosão hídrica da bacia hidrográfica do rio Goiana nas classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, indicando a área respectiva de cada faixa, assim como o percentual em relação a área total da bacia hidrográfica. Este estudo foi desenvolvido através da metodologia AHP apresentada e das análises realizadas, considerando os planos de informações espaciais das 4 variáveis: uso e ocupação do solo, tipo do solo, declividade e pluviosidade.

Os resultados presentes neste estudo, a que se levar em consideração na aplicação do ordenamento territorial dos municípios contemplados na bacia ou que estejam na sua área de influência. Destaca-se também a contribuição deste estudo na gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana, estado de Pernambuco.

A análise da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia leva em conta a divisão político-territorial, destaca-se os municípios de Aliança, Buenos Aires, Condado, Itaquitinga, Nazaré da Mata, parte do território de Vicência e a sede municipal de Goiana, tendo em vista que existe predominância de alta vulnerabilidade. É indicado que medidas conservadoras como a desaceleração do desmatamento devem ser prioridade para a manutenção da conservação do solo, assim como medidas de amenização dos efeitos antrópicos acentuados e o desenvolvimento de um bom monitoramento ambiental.

Recomenda-se que seja desenvolvido um levantamento dos recursos naturais em escalas de detalhes que possam subsidiar estudos mais aprofundados da condição ambiental da bacia hidrográfica do rio Goiana, com a finalidade da gestão territorial e o monitoramento ambiental para que se tenha maior controle em relação aos níveis mais

elevados de vulnerabilidade à erosão hídrica, principalmente, de forma a evitar que, áreas de baixa vulnerabilidade não aumentem e áreas com níveis mais altos tenham redução.

Sugere-se que uma boa forma de planejamento e monitoramento ambiental e gestão territorial é através de uma hierarquização de acordo com as escalas de vulnerabilidade à erosão hídrica, similarmente como uma análise de risco onde são atribuídos graus de risco objetivando apresentar as prioridades de intervenção para redução do risco. A partir da hierarquização da vulnerabilidade é possível desenvolver um monitoramento que indique inclusive as prioridades de implementação de medidas estruturais e não estruturais para mitigação dos impactos da erosão hídrica em áreas com fragilidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC), **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco, Volume I - Horizontes e Cenários do Planejamento Hídrico, Demandas de Água, 1998**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/planos>. Acesso em: 21 set. 2021.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco; Nota Técnica; Unidades de Planejamento, 2020**. Disponível em: <https://www.perhpe.com.br/downloads>. Acesso em: 21 set. 2021.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico, 2021**. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>. Acesso em: 21 set. 2021.

BATISTA, P. V. G. *et al.*, Modelling spatially distributed soil losses and sediment yield in the upper Grande River Basin-Brazil. **Catena**, v. 157, p. 139-150, 2017.

CARVALHO, J. C.; LUIZ, G. C.; GONCALVES, T. D. A infiltração no contexto do Plano Urbanístico e dos Projetos Paisagísticos e Arquitetônico. In: CARVALHO, J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N; CARVALHO, E. T. L. (Orgs.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2021, p. 25-47.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: EDUSP, 1974. 149p.

CORRÊA, E. A. *et al.*, Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. 32, 72-87, 2016.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CREPANI, E. *et al.*, **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS)**. Brasília: EMBRAPA, 2006.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

GALDINO, S. *et al.*, Large-scale modeling of soil erosion with RUSLE for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. **Land degradation & development**, v. 27, n. 3, p. 773-784, 2016.

GOMES, D. J. C. *et al.*, Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 816-833, 2021.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. F. **Drainage Basin Form and Process – a Geomorphological Approach**. New York: John-Wiley & Sons, 1973. 456p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Amer.**, v. 5, p. 275–370, 1945.

KARAMAGE, F. *et al.*, Usle-based assessment of soil erosion by water in the Nyabarongo River Catchment, Rwanda. **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 8, p. 1-16, 2016.

LIN, B. S. *et al.*, Improvement of the K-Factor of USLE and Soil Erosion Estimation in Shihmen Reservoir Watershed. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 355, 2019.

LIU, Y. H. *et al.*, Soil erosion modeling and comparison using slope units and grid cells in Shihmen reservoir watershed in northern Taiwan. **Water**, v. 10, n. 10, p. 1372- 1387, 2018.

MORISAWA, M. **Streams: their Dynamics and Morphology**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1968. 174p.

NUNES, N. C. **Análise espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no sudoeste de Goiás**. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2020.

POSEIRO, P. *et al.*, Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da baía da Praia da Vitória. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA. 8, 2013, Lisboa. **Anais...** Lisboa: LNEC, 2013.

Projeto MapBiomias. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**, 2020. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org/sobre-o-projeto>. Acesso em: 21 set. 2021.

ROSS, J. L. S., 2012. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, volume especial de 30 anos, p. 38-51, 2012.

SAATY, T. L. “**Método de Análise Hierárquica**”. tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1991.

SAATY, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SCHWAB, G. O. *et al.*, **Soil and Water Conservation Engineering**. New York: John-Wiley & Sons, 1966. 683p.

SENA, S. R. **Uso de dados de sensores remotos na análise das alterações temporais no uso e cobertura da terra na Lagoa de Itaparica, Bahia, Brasil**. 2021. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

SILVA, F. da; FOLETO, E. M.; ROBAINA, L. E. de S. Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Riscos Ambiental: quando as duas terminologias se concentram na mesma tragédia. O caso do morro do baú em Santa Catarina e da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Geonorte, Amazônia**, v. 1, n. 4, p. 459-473, 2012.

TOPODATA - **Banco de Dados Geomorfométricos Locais do Brasil**. 2011. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>. Acesso em: 21 set. 2021.

THOMAS, J.; JOSEPH, S.; THRIVIKRAMJI, K. P. Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. **Geoscience Frontiers**, v. 9, n. 3, p. 893-906, 2018.

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIRA DE PRODUÇÃO. 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97p.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, v. 2, p. 475-508, 1997.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

ZALOTI, F. A.; SANTOS, P. S.; NASCIMENTO, D. M. C. Uso da geoinformação para geração da vulnerabilidade potencial à erosão e vulnerabilidade à erosão: Ilha de Itaparica-Bahia. **Bahia Análise & Dados: Geotecnologias e geoinformação**, v. 25, p. 789-802, 2015.

Recebido: 02.06.2022

Aceito: 10.03.2023