



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Adaptação do fator geomorfológico na metodologia de mapeamento da vulnerabilidade à perda de solos

Kássio Samay Ribeiro Tavares<sup>1</sup>, Ivanilton José de Oliveira<sup>2</sup>, Patrícia de Araújo Romão<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 1 Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências - IG, Departamento de Geografia. Rua Carlos Gomes, 250- Cidade Universitária. CEP 13.083-250-Campinas/SP. E-mail: kassiosamayribeiro@gmail.com. <sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG, Instituto de Estudos Socioambientais – IESA; oliveira@ufg.br <sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG, Instituto de Estudos Socioambientais - IESA; patricia\_romao@ufg.br

Artigo recebido em 21/09/2021 e aceito em 29/03/2022

### RESUMO

O presente trabalho parte da observação de trabalhos científicos que utilizaram a metodologia de mapeamento da vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al. (2001), e de questionamentos sobre a adaptação ou a falta de fatores de análise que fazem parte dessa metodologia. Com isso, o trabalho propõe a adaptação do fator amplitude altimétrica, substituindo-o pelo modelo HAND. Tendo isso em vista, o objetivo principal do trabalho é propor uma adaptação do fator geomorfológico da metodologia de vulnerabilidade à perda de solos, de Crepani et al. (2001). A metodologia foi dividida em levantamento bibliográfico, processamento de dados altimétricos e compilação de mapas temáticos. Como resultado principal, evidencia-se a resposta coerente obtida pela aplicação com o modelo HAND, bem como dois mapas finais, o de vulnerabilidade natural à perda de solos, fazendo uso do fator vegetação, como evidência da cobertura vegetal, e o de vulnerabilidade ambiental à perda de solos, utilizando-se o mapa de uso e cobertura das terras. A partir disso, foi constatado que a bacia hidrográfica do rio do Peixe apresentou áreas significativas de vulnerabilidade moderadamente estável/vulnerável. Segundo análises, a causa principal desse grau de vulnerabilidade observado são as atividades agropecuárias e o manejo incorreto do solo, aliado a localidades de relevos movimentados, com tipologias de rochas e de solos, específicas. Como considerações finais, é possível dizer que esse trabalho fornece subsídio para aplicação dessa adaptação em outras bacias hidrográficas, podendo também ser acrescentadas análises de fatores socioeconômicos para possíveis estudos de Zoneamento Ecológico Econômico.

Palavras-chave: modelo HAND, Vulnerabilidade ambiental e natural, Geomorfometria, dissecação horizontal.

## Adaptation of the geomorphological factor in the methodology for mapping vulnerability to soil loss

### ABSTRACT

The present work starts from the observation of scientific works that used the methodology for mapping vulnerability to soil loss by Crepani et al. (2001), and questions about the adaptation or lack of analysis factors that are part of this methodology. With this, the work proposes the adaptation of the altimetric amplitude factor, replacing it by HAND. With this in mind, the main objective of the work is to propose an adaptation of the geomorphological factor of the methodology of vulnerability to soil loss, by Crepani et al. (2001). The methodology was divided into two fronts, bibliographic survey and data processing through secondary data, compilation of thematic maps. As a main result, it is evident the good response obtained by the application with the HAND model, as well as two final maps, the one of environmental vulnerability to soil loss, using the land use and coverage map and the one of natural vulnerability to loss of soils, making use of the vegetation factor, as evidence of vegetation cover. From this, it was found that the Peixe River watershed presented significant areas of moderately stable/vulnerable vulnerability, which according to the analyzes the main factor of this degree are agricultural activities and incorrect soil management, combined with localities of relief and types of rocks and soils. As final considerations, it is possible to say that this work provides support for the application of this adaptation in other river basins, and socioeconomic factors can also be implemented for possible studies of Economic Ecological Zoning.

Keywords: HAND, Environmental and natural vulnerability, Geomorphometry, horizontal dissection.

## Introdução

Desde o princípio, a paisagem geográfica foi concebida a partir de uma ideia de síntese, resultante da integração dos componentes naturais e sociais. Sua investigação perpassa várias subáreas da Geografia, como a Geomorfologia, a Climatologia, a Pedologia e a Biogeografia. Essa ideia redundou em diversas propostas analíticas, como os mapeamentos de unidades de paisagem (ou unidades ambientais e geoambientais), cujos resultados comumente se apresentam como marcadores das discontinuidades do elemento-chave da área de atuação do pesquisador, isto é, o relevo, o clima, o solo e a vegetação.

Modificações do meio natural são invariavelmente necessárias para garantir o desenvolvimento socioeconômico e para dar suporte ao crescimento populacional. Contudo, muitas dessas alterações do meio geram desequilíbrio, dando origem a fenômenos como a erosão, o assoreamento, a escassez ou degradação da qualidade da água etc. Ainda sobre isso, Sporl (2011) expõe que, qualquer alteração realizada em um determinado componente de um sistema dinâmico, influencia diretamente e indiretamente nos outros elementos. Essa interferência no ambiente ocorre principalmente pela reordenação do espaço pelo homem em função de exploração dos recursos naturais, porém, de maneira errônea e desequilibrada.

Essa abordagem também é salientada por Braz e Neto (2021) e Zacharias (2015) expressando que, atualmente o desenvolvimento da sociedade urbana ocorre em detrimento dos recursos naturais disponíveis, ameaçando na maioria das vezes, de forma considerável, sua disponibilidade. O conflito da relação homem-natureza/sociedade-natureza contribui para que cada vez mais emergjam problemas ambientais, acarretando áreas de vulnerabilidades consideráveis.

Diante disso, a vulnerabilidade pode ser entendida como a suscetibilidade, envolvendo o ser humano a alguma situação de perigo ou dano. Nas últimas décadas, o termo vulnerabilidade tornou-se palavra-chave em estudos de risco ambiental e mudanças climáticas. Segundo Adger (2006) e Esteves et al. (2016), o conceito de vulnerabilidade tem sido utilizado como ferramenta analítica, principalmente, para descrever situações de suscetibilidade ambientais.

Na tentativa de prever, mitigar e monitorar esses fenômenos, ferramentas de geoprocessamento têm sido utilizadas, para conjugar dados geográficos (sociais, econômicos ambientais etc.) oriundos de fontes diversas (como cadastros urbanos e rurais, censos demográficos, imagens de sensores remotos etc.). Isso gera

resultados preventivos e de planejamento de risco, permitindo mapeamentos de vulnerabilidades para as áreas analisadas.

Nesse sentido, existem metodologias preditivas com esse intuito, dentre as quais se destacam as relacionadas à análise de vulnerabilidade à perda de solos, que resultam em dados referentes a áreas com maior ou menor vulnerabilidade. Batista et al. (2019) e Borrelli et al. (2021), realizaram um levantamento de metodologias aplicadas à modelagem de erosão do solo, nesses trabalhos foram citadas várias metodologias originadas de vários países, das quais destacam-se os modelos USLE (*Universal Soil Loss Equation*) de Wischmeier e Smith (1978); RUSLE (*Revised USLE*) de Renard et al. (1997); USLE-MM (*Modified- Modified Universal Soil Loss Equation*) de Bagarello et al. (2008) e WaTEM/SEDEM (*Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Model*) de Verstraeten et al. (2010).

A partir disso, destaca-se uma metodologia muito empregada nos estudos geográficos brasileiros, que considera em suas análises os processos morfogenéticos e pedogenéticos, é a proposta por Crepani et al. (2001). As análises estão majoritariamente relacionadas aos aspectos geomorfológicos, os quais compõem alguns dos principais parâmetros, levando em consideração aspectos como a declividade, a altimetria e as drenagens.

Inúmeros trabalhos têm aplicado a metodologia de Crepani et al. (2001) para realizar mapeamentos de vulnerabilidade à perda de solos, esses estudos alcançam os mais diversos contextos de análise, como exemplos recentes, de Santos, Junior e Borges (2021), Costa, Souza e Silva (2021), Belem e Cabral (2021), Rodrigues et al. (2020), Santos e Soares (2020), Sutil, Gonçalves e Vieira (2020) e de Mendonça et al. (2020) que aplicaram a metodologia em bacias hidrográficas, bem como no âmbito municipal, conforme realizado por Tavares, Romão e Oliveira (2020), Almeida, Silva e Neves (2020), Dellargine et al. (2020) e por Leal et al. (2019).

No entanto, várias análises recorrem a adaptações e/ou exclusão de fatores importantes da metodologia original. Essas adequações ocorrem principalmente no que diz respeito ao fator geomorfológico, devido à dificuldade na obtenção de dados referentes à dissecação do relevo e à amplitude altimétrica, evidenciado nos trabalhos de Lopes e Saldanha (2016) e de Ribeiro e Campos (2007).

Grande parte das metodologias preditivas faz uso dos modelos digitais de elevação para

levantamentos de dados e informações morfométricas de terrenos. Frente aos diversos modelos de terreno já desenvolvidos surge o modelo descritor de terreno chamado HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), traduzido para a distância vertical à drenagem mais próxima. O modelo HAND foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010) objetivando evidenciar áreas suscetíveis à inundação, sendo capaz de exibir em níveis de encostas, a mediação do fluxo de escoamento para diferentes bacias (ROSIN et al., 2003; RENNO et al., 2008; NOBRE et al., 2011).

A partir do modelo digital de elevação, o HAND gera um modelo digital hidrológico que representa o terreno sujeito a inundação. Em suma, trata-se da representação da altura à drenagem mais próxima, aplicados também ao mapeamento de aptidões de uso do solo. O modelo HAND é estudado como preditor de suscetibilidade a outros desastres hidrológicos como, por exemplo, escorregamento de massa úmida. Atualmente o modelo HAND alcançou visibilidade internacional, sendo utilizado no campo da hidrologia e da gestão de riscos por países como Estados Unidos e Holanda. Mais recentemente, foi criado um aplicativo próprio do modelo HAND (INPE, 2021).

Tendo em vista o exposto, o objetivo desse artigo é propor uma adaptação na definição do fator geomorfológico da metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solos. Esta pesquisa fundamentou-se na hipótese de que essa adaptação poderia ser realizada, de modo a permitir o mapeamento da vulnerabilidade ambiental à perda de solos. Assim, para chegar ao proposto, foi feita a caracterização dos aspectos geoambientais da bacia hidrográfica do rio do Peixe, bem como aplicada a metodologia de Rennó et al. (2008), da distância à drenagem mais próxima (HAND), como alternativa ao tema amplitude altimétrica, para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental à perda de solos da referida bacia hidrográfica em análise.

### Material e métodos

Para o alcance do objetivo proposto, segue-se a caracterização da bacia hidrográfica do rio do Peixe, bem como os procedimentos metodológicos da pesquisa em questão.

#### *Contextualização da área de estudo*

A bacia hidrográfica do rio do Peixe é uma sub-bacia do alto curso do rio Araguaia, no estado de Goiás, abrangendo cerca de 50% do município de Doverlândia, e envolvendo parcialmente os municípios de Caiapônia e de Baliza,

compreendendo, aproximadamente, uma área de 5 140 km<sup>2</sup> (figura 1). O rio do Peixe nasce nas porções leste e oeste de Goiás, com suas nascentes localizadas na vertente norte da Serra Caiapó, onde apresenta fitofisionomias mais densas, identificadas como savânicas ou florestais (CARNEIRO, 2012). Como já mencionado, essa bacia se insere na região do Alto do Araguaia, que é conhecida como campo de importantes pesquisas de diversos autores, dentre eles, Barbalho (2002), Castro (2005), Cabacinha (2008) Faria (2011) e Carneiro (2012), que desenvolveram outros inúmeros trabalhos, tendo em vista o entendimento e a compreensão do uso do solo, da fragmentação do Cerrado e dos processos erosivos ali existentes, culminando assim em estudos voltados principalmente para a preservação e conservação de áreas prioritárias, bem como de remanescentes do bioma Cerrado.

De modo geral, é possível descrever a bacia hidrográfica do rio do Peixe, segundo dados do serviço geológico do Brasil (CPRM, 2006) para o estado de Goiás, como apresentando um total de sete formações: Vila Maria do Grupo Rio Ivaí (435 Ma.); Furnas e Ponta Grossa do Grupo Paraná (410 Ma.); Aquidauana do Grupo Itararé (320 Ma.); Irati do Grupo Passa Dois (270 Ma.); Serra Geral do Grupo São Bento (135 Ma.); Formação Cachoeirinha (65 Ma.) e depósitos aluvionares.

No que se refere aos compartimentos do relevo, a região é basicamente composta por Chapadões, Patamares, Planaltos, Depressões, Esplanadas, Serras e Planícies. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), esses compartimentos na área da bacia hidrografia do rio do Peixe são classificados como: Planaltos Residuais Cuestiformes Interiores; Planaltos Residuais Cuestiformes Externos; Planaltos Residuais Alcantilados; Patamares Cuestiformes Descontínuos Interiores; Patamares Dissecados da Borda da Cuesta do Caiapó; Patamares e Vales Encaixados do Araguaia Garças; Depressões e Vãos Dissecados Interpatamares; Depressão do Araguaia Peixe; Chapadão do Rio Verde - Alto Garças; Esplanadas e Serras do Interflúvio Araguaia Peixe; e Planícies e Terraços Fluviais.

Segundo dados da EMATER, classificados segundo o primeiro nível categórico, a região apresenta quatro tipos de solos: Cambissolo, Latossolo, Neossolo e Argissolo. O Cambissolo é caracterizado pelo Háplico distrófico é determinado pela baixa fertilidade natural, apresentando pouca profundidade e pequena diferenciação entre horizontes. Em modo geral, esse solo é pouco suscetível a processos erosivos em relevos de declividade baixa. Os Latossolos são

diferenciados entre Vermelho distrófico e o Vermelho-Amarelo distrófico, eles possuem alto teor de areia e/ou estrutura granular, que contribui para uma porosidade efetiva alta, conseqüentemente, possui uma boa drenagem, e baixa fertilidade natural. O Neossolo representado pela classe quartzarênica órtica, é um solo bem desenvolvido e profundo, bastante suscetível à erosão, especialmente quando sujeito a grandes concentrações de água. São excessivamente drenados e com uma estrutura bem desenvolvida.

Carneiro (2012) caracteriza a área de modo geral, geomorfologicamente, como bastante dissecada, com ocorrência de terrenos mais inclinados em menor proporção, nos locais correspondentes às escarpas das superfícies regionais de aplainamento, encontradas nas cabeceiras dos tributários do rio do Peixe. Tais observações se baseiam também pela altimetria entre 508 m e 860 m, compreendida em relevos suaves, com declividades majoritariamente (aproximadamente 70% da área da bacia) planas e suavemente onduladas.

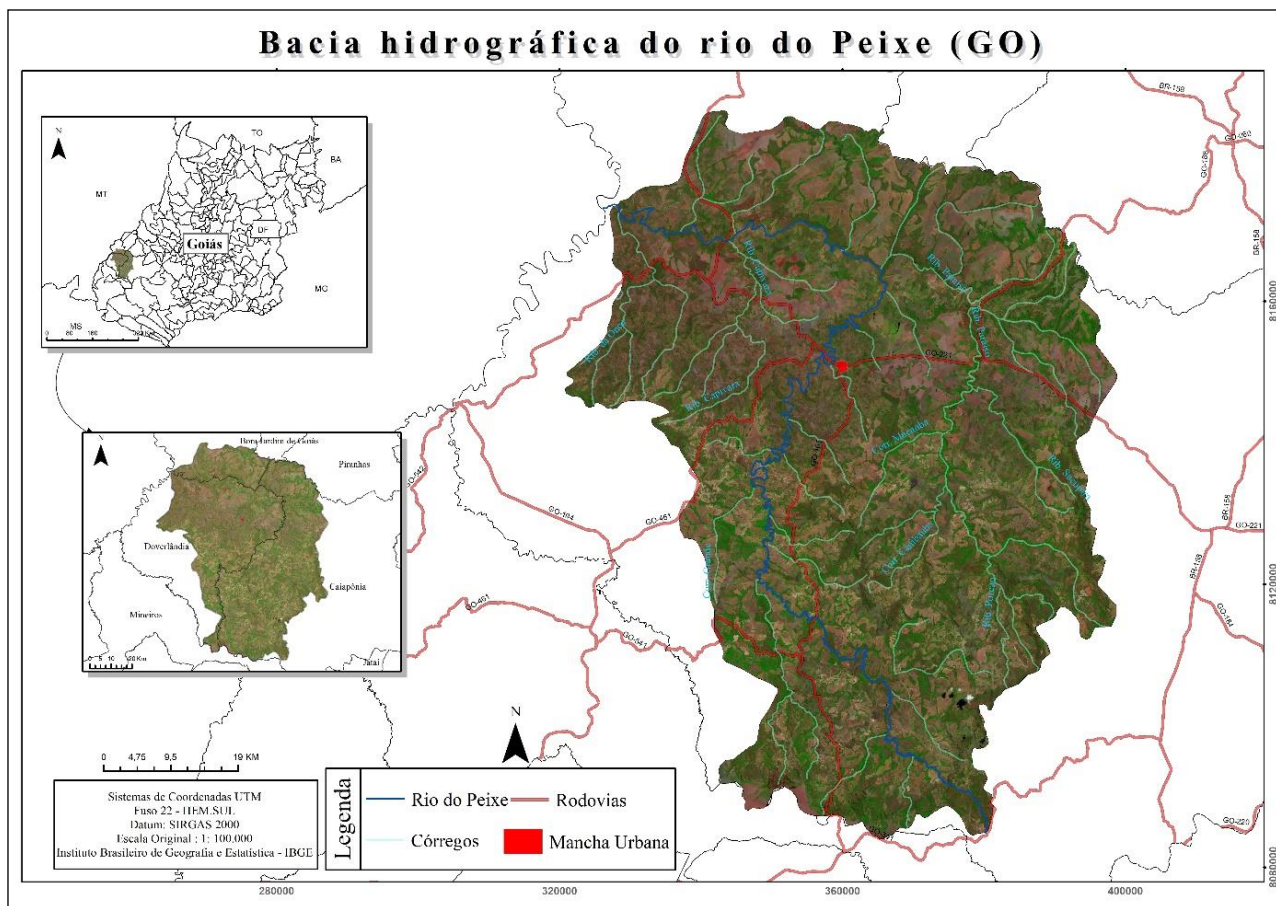


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Elaborado pelos autores.

### Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento da pesquisa, dividiu-se a metodologia em duas etapas: levantamento bibliográfico, definido pelo método bibliográfico e processamento dos dados, pelo método quali-quantitativo (figura 2).

Para o levantamento bibliográfico houve a seleção e a leitura do arcabouço textual e conceitual a partir das obras que embasam os assuntos sobre teoria geral dos sistemas, sistemas e paisagem, além da revisão de literatura acerca das aplicações

da metodologia de vulnerabilidade à perda natural de solo, e suas possíveis adaptações. Dados secundários, como a compilação de mapas temáticos, subsidiaram a etapa de geoprocessamento, utilizando-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG), complementada com tratamento de dados primários, a exemplo das imagens orbitais usadas para a geração do mapa de uso e cobertura das terras, e dos elementos morfométricos do relevo.

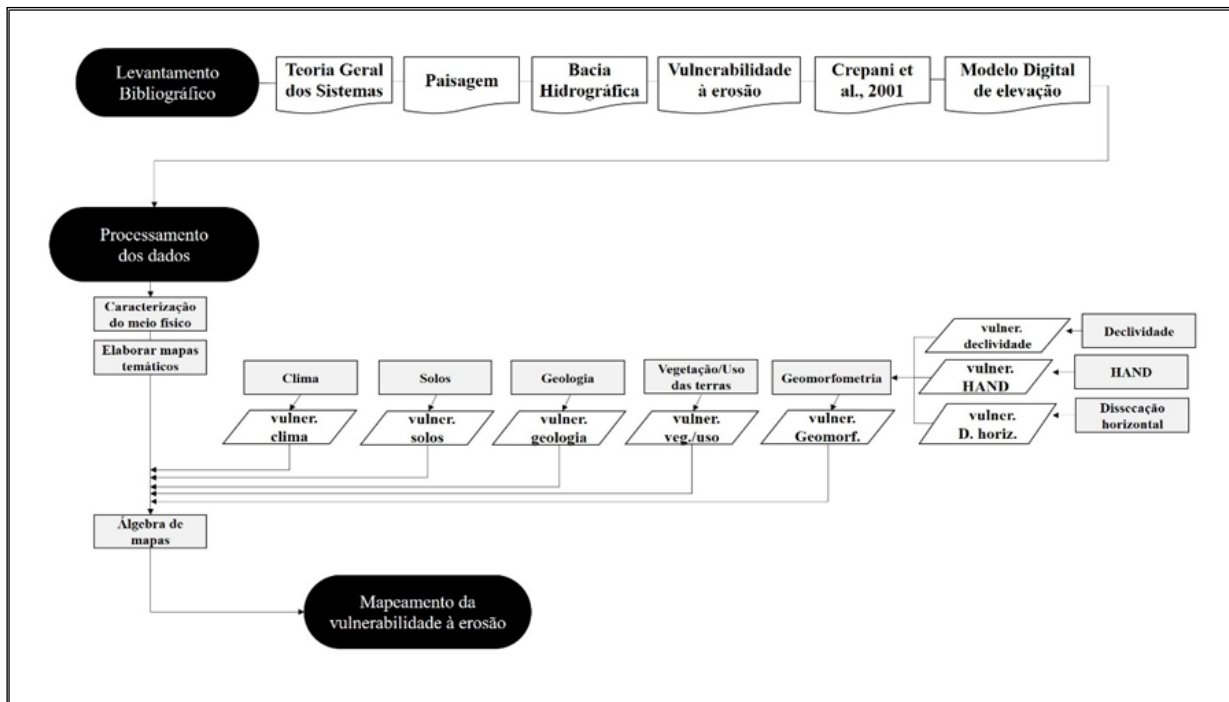


Figura 2. Fluxograma da metodologia. Elaborado pelos autores.

### Processamento dos dados

Seguindo a metodologia empírica de Crepani et al. (2001), propusemos a elaboração dos mapas de clima, geomorfologia, geologia, solos, vegetação e tipos de uso das terras, utilizando o programa ArcGis 10.3/ESRI para o tratamento e processamento dos dados.

Posteriormente, a elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solos foi realizada levando em conta o tema vegetação para geração do mapa de vulnerabilidade natural (CREPANI et al., 2001) e o tema referente aos tipos de uso das terras para geração especificamente do mapa de vulnerabilidade ambiental à perda de solos pela erosão hídrica, segundo a metodologia indicada por Florenzano (2008).

### Clima

Para o mapa referente ao fator clima, fizemos a aquisição de dados de precipitação por

meio de séries históricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), referentes a um período de 30 anos (1987 a 2018), correspondentes a oito estações pluviométricas. Utilizando o programa de planilhas *Excel/MicrosoftOffice* organizamos os dados que posteriormente foram inseridos no processo de espacialização.

O tratamento dos dados resultou, primeiramente, na soma da média mensal, posteriormente na média anual e por fim na média referente aos 30 anos de análise. Com os valores da média de precipitação, aplicamos a equação de intensidade pluviométrica, que equivale à divisão da média climática pela quantidade de meses de chuva. Os dados de média mensal/anual e de intensidade pluviométrica foram atribuídos considerando-se um índice representativo para a área e sua respectiva vulnerabilidade (tabela 1).

Tabela 1 – Valores de vulnerabilidade para a intensidade pluviométrica. Fonte: Crepani et al. (2001)

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	vulnerabilidade
175 - 200	1,6

### Geomorfometria

O mapa geomorfológico foi gerado a partir de três parâmetros (equação 1). O primeiro

parâmetro referiu-se à declividade; o segundo, à amplitude altimétrica, realizando-se a adaptação por meio da utilização do modelo HAND; e o terceiro, à dissecação horizontal. Para a elaboração

destes mapas utilizamos imagens do banco de dados do Alaska Satellite Facility's, bem como o modelo digital de terreno Alos Palsar 12,5m.

$$R = \frac{D + H + DH}{3} \quad (1)$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfometria

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade

H = Vulnerabilidade atribuída ao HAND

DH = Vulnerabilidade atribuída à dissecação horizontal.

(A) Declividade: Para este tema utilizamos o Modelo Digital de Elevação (MDE), para geração dos valores de declividade em porcentagem (%) e atribuição dos respectivos valores de vulnerabilidade (tabela 2).

Tabela 1- Valores de vulnerabilidade para declividade. Fonte: Crepani et al. (2001)

Declividade (%)	valores de vuln.	Declividade (%)	valores de vuln.	Declividade (%)	valores de vuln.
<3,5	1,0	17,4 - 19,8	1,7	34,6 - 37,2	2,4
3,5 - 5,8	1,1	19,8 - 22,2	1,8	37,2 - 39,8	2,5
5,8 - 8,2	1,2	22,2 - 24,5	1,9	39,8 - 42,4	2,6
8,2 - 10,3	1,3	24,5 - 27,2	2,0	42,4 - 45,3	2,7
10,3 - 12,9	1,4	27,2 - 29,6	2,1	45,3 - 48,1	2,8
12,9 - 15,1	1,5	29,6 - 32,1	2,2	48,1 - 50	2,9
15,1 - 17,4	1,6	32,1 - 34,6	2,3	>50	3,0

(B) HAND: Elaboramos o mapa de distância acima da drenagem mais próxima (HAND) a partir de Batista (2014); seguindo os passos e softwares sugeridos, como exemplo, o software Terraview 0.4.2.

Como já mencionado, o mapa de amplitude altimétrica proposto para a equação de Crepani et al. (2001) foi adaptado fazendo-se uso dos dados de distância vertical à drenagem mais próxima, do modelo HAND. As etapas utilizadas para geração do mapa referente a esse tema estão exemplificadas na figura 3.

Para o processo inicial, foi utilizado o programa *Terraview/TerraHidro* 0.4.2 (ROSIM et al., 2003), tendo sido finalizado no ArcGIS 10.3/ESRI. No Terraview iniciou-se o processo

com a criação do banco de dados do projeto e a importação do raster referente ao MDE. Após isto, foram feitas as correções do MDE e com o auxílio da ferramenta *Hidrological Tools* foram geradas as grades de direção de fluxo (Corrected LDD). A partir dos dados de direção de fluxo, a área de fluxo acumulado (*Acumulated área grid*) é obtida, sendo possível gerar a rede de drenagem (*Drainage Network*). Na geração dessa rede, foram realizados testes, de tal modo que ela representasse melhor a área de estudo, escolhendo-se um limiar com um valor de 50. A rede de drenagem, a direção de fluxo e o modelo digital de elevação corrigido são utilizados para a geração das alturas de diferença relativa, que correspondem ao modelo HAND.

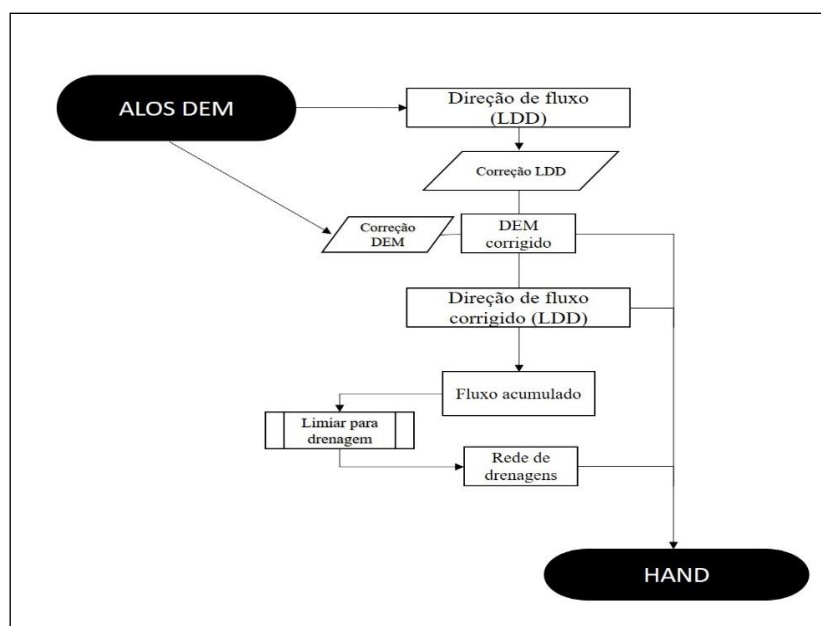


Figura 3. Etapas de processamento do HAND. Organizado pelos autores, com base em Rennó et al. (2008)

Por meio desse processamento foi possível obter os valores referentes ao HAND, aplicando o limiar (50) com base no trabalho de Rennó et al. (2008). A partir dos resultados alcançados, os

valores foram classificados e atribuídos os valores de vulnerabilidade (tabela 3).

Tabela 2 - Valores de vulnerabilidade para o HAND. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

HAND (m)	valores de vuln.	HAND (m)	valores de vuln.	HAND (m)	valores de vuln.
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20-29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77	1,6	132 - 141,5	2,3	>200	3,0

(C) Dissecação horizontal: Quanto aos valores do índice de dissecação horizontal do relevo utilizamos uma metodologia de automatização para este parâmetro (GUIMARÃES, et al., 2017), que, baseada em Ross (1994, 2012) gera valores não somente referentes à dimensão interfluvial média, mas também ao entalhamento dos vales. De acordo Crepani et al. (2001), esse índice está ligado à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha.

O processo para a obtenção dos valores de dissecação horizontal (cálculo da dimensão interfluvial média) é exemplificado na figura 4, contendo etapas e softwares utilizados, a saber, ArcGis 10.3/ESRI e QGIS 2.18/GRASS. A partir do programa QGIS 2.18/GRASS fez-se a delimitação das sub-bacias. Primeiramente, foi inserido o MDE corrigido e utilizando a caixa de ferramentas de processamento do software executou-se a função *r.watershed*, na qual houve a necessidade da determinação de alguns parâmetros para que fosse realizada a ação. Para o limiar da bacia foi atribuído o valor 300, e o tamanho das células de 30 m. Com esses parâmetros, obtiveram-se modelos raster de sub- bacias. Esses modelos foram transformados para o formato vetorial, com a função *r.to.vect.* e transformado o vetor para o formato linhas, pela função polígonos para linhas, por fim exportado em formato shapefile.

No ArcGis 10.3/ESRI, foi importado o arquivo de sub-bacias e aplicada a função *euclidean distance* para se obter uma camada matricial onde cada célula possuísse o valor igual à distância euclidiana da célula para a linha mais

próxima, determinando assim o interflúvio da bacia em que a célula está inserida. Os valores obtidos foram transformados para números inteiros por meio da função raster *calculator*. Essa ação ocorre em decorrência do programa que está sendo utilizado não reconhecer números não inteiros nessa função. Com os números inteiros, o raster da distância euclidiana foi multiplicado por -1. Esse processo aconteceu para encontrar os pontos de maiores distâncias em relação aos interflúvios. Como próximo passo, aplicou-se a função *flow direction*, e para destacar os centros das sub-bacias foi executado ao raster de direção de fluxo a função *sink*, posteriormente transformada para o formato de pontos (*raster to point*).

Com a função *add surface information*, foram inseridos os valores das distâncias euclidianas aos pontos em relação às linhas interfluviais. Os valores obtidos (raio) foram multiplicados por 2 para se obter o diâmetro, esta multiplicação ocorreu dentro da tabela de atributos, sendo criado um novo campo e feito o cálculo pela opção *field calculator*. Assim foram obtidos os valores do diâmetro interfluvial médio. Por fim, calculou-se o valor médio de todas as bacias e as medidas de diâmetro para cada bacia. Para este processo foi utilizada a função *zonal statistics*. Com este procedimento, obteve-se uma camada em formato raster, contendo as bacias delimitadas e seus respectivos valores de dimensão interfluvial média.

Após esse processo, atribuímos os valores de vulnerabilidade da dissecação horizontal para cada classe obtida na área (tabela 4).

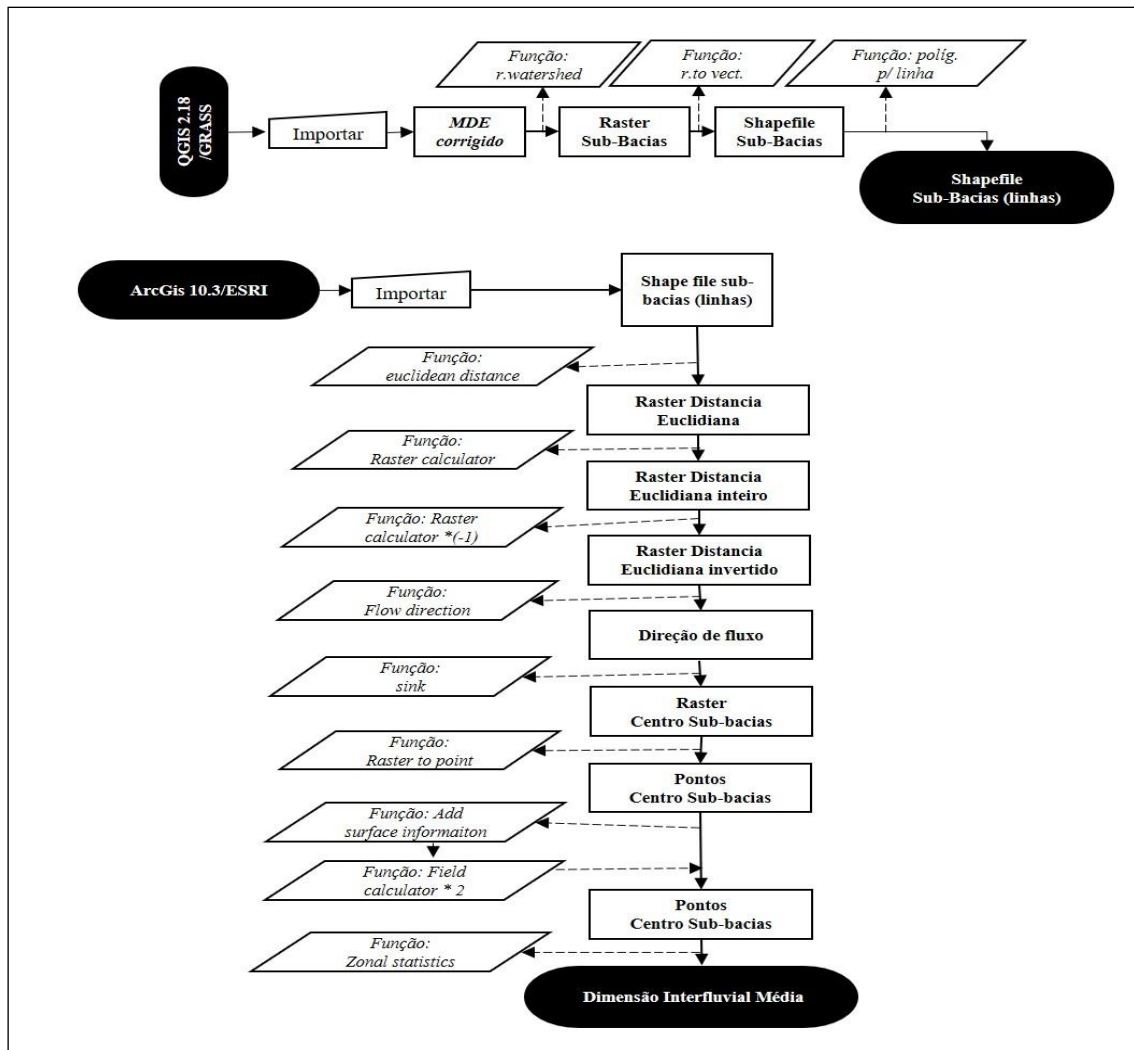


Figura 4. Fluxograma Dimensão Interfluvial média. Organizado pelos autores

Tabela 4 - Valores de vulnerabilidade para dissecação horizontal. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

dissecação horizontal (m)	valores de vuln.
<250	3,0

**Geologia**

Para a compilação e geração do mapa de geologia, realizamos a aquisição de dados secundários, advindos da Superintendência de

Geologia e Mineração e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), executando a classificação de valores de vulnerabilidade para cada classe geológica, conforme descrito na tabela 5.

Tabela 5 - Valores de vulnerabilidade para geologia. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001)

geologia (litotipo)	valores de vulnerabilidade
Basalto, Basalto andesito	1,5
Arenito	2,4
Conglomerados	2,5
Diamictito, Siltito	2,5
Argilito Siltico	2,7
Folhelho	2,8
Depósitos de Areia, Depósitos de Cascalho	3,0

*Solos*

Para a compilação e geração dos mapas de solos, realizamos a aquisição a partir de um banco de dados secundários, advindos da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa

Agropecuária (EMATER-GO). Em sequência, os dados foram classificados, e assim realizada a atribuição de valores de vulnerabilidade às respectivas classes de solos (tabela 6).

Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade para solos. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

<b>tipo de solo</b>	<b>valores de vulnerabilidade</b>
Neossolo Litólico distrófico	1,0
Neossolo Litólico eutrófico	1,0
Latossolo Vermelho distrófico	1,0
Latossolo Vermelho férrico	1,0
Latossolo Vermelho Ácrico	1,0
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	1,3
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	2,0
Cambissolos Háptico distrófico	2,5
Cambissolos Háptico eutrófico	2,5
Neossolo Quartzarênico Órtico	3,0

*Uso das terras e Vegetação*

Para o mapa de uso e cobertura da terra, realizamos as etapas de aquisição e de análise de imagens de satélite Sentinel 2 (2019), composição colorida, RGB (654); tratamento, segmentação e classificação, usando o método supervisionado por meio do software Spring 5.0/INPE; e posterior correção de possíveis erros da classificação, de modo a identificar polígonos com dados divergentes e reclassificá-los.

O mapeamento do uso das terras teve por início a definição das seguintes classes de mapeamento: solo exposto, cerrado, agropecuária, corpos d'água e floresta. As imagens Sentinel 2 foram obtidas por meio da plataforma do *Earthexplorer*; manipuladas no programa ArcGis 10.3/ESRI, no qual foram ajustadas as referências cartográficas e posteriormente recortadas para a área de estudo.

No Spring 5.0/INPE, foi elaborado um banco de dados, seguido pela criação de um projeto com projeção UTM. Após a incorporação dos

dados ao projeto criado, aplicou-se um contraste à imagem e realizada a segmentação. Na segmentação ocorre um agrupamento de células adjacentes tendo por base a similaridade entre elas. Para este trabalho, escolheu-se o valor de 30/2000, escolhido por meio de testes, no intuito de facilitar a identificação dos temas ao se fazer a coleta de pontos de amostragem. Após a classificação da imagem, a mesma foi exportada em formato shapefile, importada para o ArcGis 10.3/ESRI, ocorrendo as correções pertinentes às classes. Deste modo, também foram aplicados os valores de vulnerabilidade para cada classe de uso e cobertura das terras (tabela 7), como sugerido por Crepani et al. (2001).

Para a realização do mapa de vegetação, foi acessada a plataforma do IBGE denominada de Base de Dados e Informações Ambientais (BDIA). No programa ArcGis10.3/ESRI, às tipologias de vegetação foram aplicados os valores de vulnerabilidade, também propostos por Crepani et al. (2001) (tabela 8).

Tabela 7. Valores de vulnerabilidade para uso e cobertura do solo. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

<b>uso e cobertura do solo</b>	<b>valores de vulnerabilidade</b>
Floresta	1,0
Cerrado	1,5
Corpos d'água	2,0
Agropecuária	3,0
Solo Exposto	3,0

Tabela 8. Valores de vulnerabilidade para vegetação. Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

vegetação	valores de vulnerabilidade
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	1,5
Savana Arborizada com floresta de galeria	1,4
Savana Arborizada sem floresta de galeria	1,7
Savana Florestada	1,5
Savana Parque com floresta de galeria	2,3
Savana Parque sem floresta de galeria	2,6
Pastagem	3,0

## Resultados e discussão

Como resultados deste trabalho de pesquisa, são apresentados os mapas temáticos, clima (intensidade pluviométrica), geologia, solos, vegetação, uso e cobertura das terras, tendo sido classificados cada um segundo a sua respectiva vulnerabilidade proposta por Crepani et al. (2001). Apresentam-se também os resultados da adaptação feita ao fator amplitude altimétrica, substituído pelo HAND, bem como o detalhamento dos resultados da análise oriunda da metodologia aplicada ao fator dissecação horizontal do relevo, assim como seu respectivo mapa. Com base nesses produtos, foram elaborados valores de vulnerabilidade de suas classes para finalmente gerar os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental à perda de solos, utilizando-se a técnica de álgebra de mapas.

### Clima (Intensidade Pluviométrica)

O estado de Goiás, em sua totalidade, apresenta um clima tropical, com duas estações bem definidas, a chuvosa que acontece

normalmente nos meses de outubro a abril, e a seca que ocorre entre os meses de maio e setembro. Com os dados obtidos, os valores da precipitação média mensal e da correspondente intensidade pluviométrica, para cada uma das oito estações, são apresentados na tabela 9.

O fator climático, para considerar a vulnerabilidade natural, é representado pelo potencial da chuva em remover solo por meio da erosão hídrica, denominado intensidade pluviométrica. A intensidade média dos meses para a bacia hidrográfica do rio do Peixe apresentou valores entre 163 mm e pouco mais de 185 mm, considerada moderadamente estável, conforme a tabela de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica de Crepani et al. (2001). Entretanto, mesmo com esse grau de vulnerabilidade/estabilidade da intensidade pluviométrica, não significa que exista a tendência de ocorrerem baixos índices de perda de solo, isso devido à intensidade das chuvas nesses meses, que tendem a ser de forte impacto e quantidade, considerando o curto espaço de tempo em que ocorrem tais eventos climáticos.

Tabela 9. Precipitação e intensidade pluviométrica média mensal da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Organizado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001).

código estação	estação	latitude	longitude	precipitação (mm) (média - 30 anos)	intensidade pluviométrica (média mensal)
1752003	Ponte Do Cedro	-17,57	-52,6	1147,63	163,9471
1651000	Caiapônia	-16,95	-51,8	1149,749	164,2499
1652002	Torixoreu	-16,2	-52,55	1160,558	166,5117
1651002	Piranhas	-16,42	-51,82	1170,231	167,1759
1551002	Peres	-15,89	-51,85	1176,44	168,0629
1651001	Ponte Branca	-16,77	-52,84	1219,955	174,2793
1652003	Doverlândia	-16,72	-52,32	1262,739	180,3913
1652000	Bom Jardim De Goiás	-16,2	-52,16	1300,056	185,7151

A comparação entre as oito estações climáticas apresentou diferenças nas variabilidades da precipitação, pois foi observado que as estações

Tavares, K.S. R.; Oliveira, I. J.; Romão, P. A.

de Bom Jardim de Goiás e de Doverlândia têm a maior precipitação em relação às outras estações analisadas. Na região da bacia hidrográfica do rio

do Peixe, o período de seca é marcado nos meses de maio a setembro, ocorrendo menores períodos chuvosos registrados em Caiapônia nos meses de agosto e setembro.

### Geologia

Os valores de vulnerabilidade empregados a cada classe consideram os aspectos relativos ao grau de coesão das rochas. Aos níveis de vulnerabilidade geológica de menor grau foram atribuídas as litologias referentes ao basalto, dado o valor de 1,5 de vulnerabilidade (figura 5).

O valor 3,0 atribuído às áreas a leste da bacia hidrográfica do rio do Peixe corresponde a depósitos de areia e cascalho, derivados da desagregação de rochas como o arenito, classificados como tendo maior vulnerabilidade à perda de solo por erosão. Esses depósitos, por serem compostos de materiais com menor coesão, são mais facilmente transportados com o fluxo de água.

Observa-se que as áreas de vulnerabilidade 2,4, consideradas como moderadamente vulnerável por Crepani et al. (2001), referem-se aos arenitos, correspondentes a rochas consolidadas da Formação Furnas, do Grupo Paraná. Essa litologia,

quando mais friável, é de fácil desagregação, pela ação do fluxo da água de escoamento superficial.

A vulnerabilidade atribuída ao diamictito e siltito, corresponde ao valor 2,5. Assim como o arenito, essas duas litologias são consideradas como moderadamente vulneráveis por Crepani et al. (2001). O diamictito é uma rocha sedimentar formada a partir de fragmentos de rochas, possuindo uma matriz siltico argilosa intercalada com arenitos grossos. Neste caso, a resistência diferencial (por responderem de modo desigual aos processos associados ao intemperismo químico e físico) faz com que sejam carreados distintamente, materiais de diferentes graus de coesão, e alguns sejam desagregados mais facilmente que outros, contribuindo para a perda de solo pela erosão hídrica (CREPANI et al. 2001).

Já os folhelhos, que são rochas sedimentares argilosas, resultantes da consolidação de sedimentos finos, geralmente de granulometria argila, originados especialmente de minerais como quartzo, feldspato e argilominerais, intercalados a rochas areníticas, tiveram a atribuição do valor de 2,8 quanto à vulnerabilidade à perda de solos por erosão.

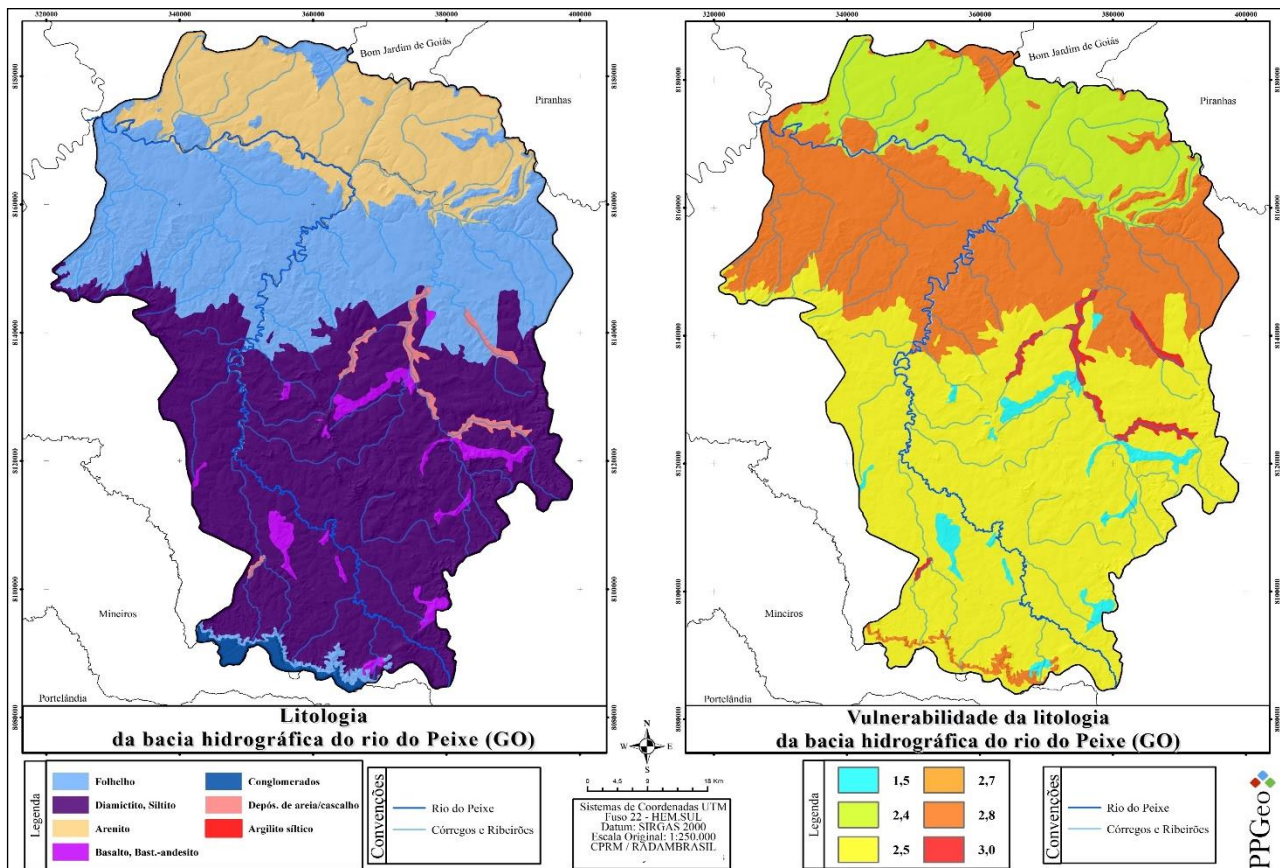


Figura 5 – Mapa litológico e Vulnerabilidade da litologia. Elaborado pelos autores.

*Solos*

Os Latossolos Vermelho Ácrico, férrico e distrófico consistem em solos bem desenvolvidos, profundos (EMBRAPA, 2018), que apresentam textura argilosa com elevado teor de areia, proporcionando uma boa permeabilidade, devido à sua porosidade (figura 6). Essa tipologia de solos ocorre, predominantemente, nas áreas de relevo plano, proporcionando a mecanização agrícola. Também se ressalta que a presença de argila pode

facilitar o processo de compactação superficial pelo pisoteio de gado e pela mecanização agrícola. Os Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico na área apresentam um alto teor de argila e silte, o que segundo Lima et al. (2021) e Crepani et al. (2001), dificulta a infiltração de água, o que também favorece os processos erosivos. Diante disso, de modo geral, na área, os solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo possuem um valor de vulnerabilidade maior, comparado aos Latossolos Vermelhos.

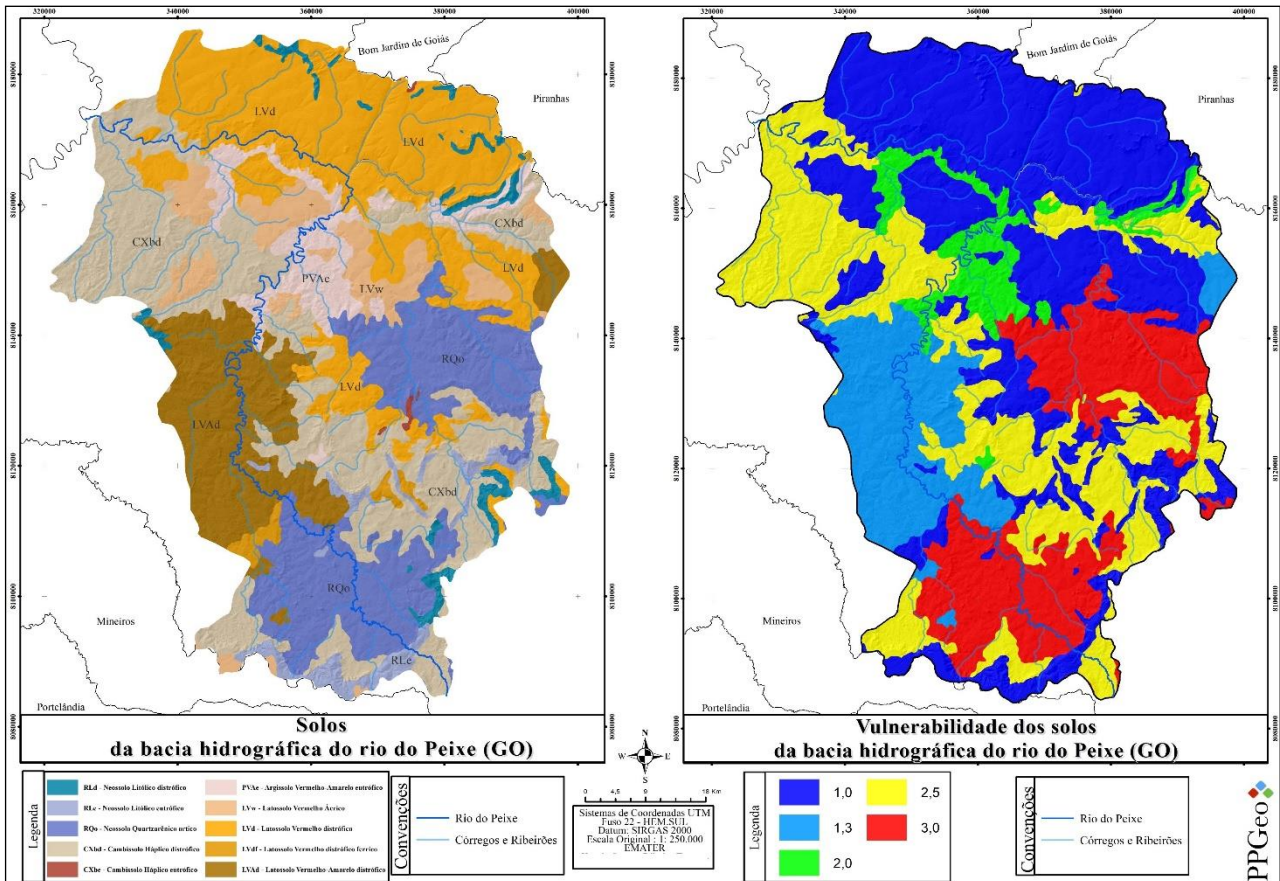


Figura 6- Mapa de solos e de vulnerabilidade dos solos da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Elaborado pelos autores.

Os solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, aos quais foi atribuído um valor de vulnerabilidade 2,0, presentes no centro e noroeste da área de estudo, com 5,6% de ocorrência na área, são consideravelmente intemperizados e desenvolvidos, associados a relevos mais dissecados. Para Zianini e Ribeiro (2021) e Crepani et al. (2001), a ocorrência destes solos auxilia no escoamento superficial, dificultando a infiltração da água em seus horizontes, favorecendo processos erosivos.

Solos do tipo Cambissolo Háptico distrófico foram identificados em áreas expressivas por toda a bacia hidrográfica do rio do Peixe.

Tavares, K.S. R.; Oliveira, I. J.; Romão, P. A.

Tomando por base o que foi discorrido por Momoli (2022) e Crepani et al. (2001), esse solo apresenta vulnerabilidade moderadamente vulnerável, com atribuição de valor 2,5. Esses solos são encontrados em relevos mais ondulados e ou montanhosos, bastante suscetíveis/erodíveis, por serem solos rasos, os quais favorecem o escoamento superficial. Na região esses solos apresentam alto teor de argila e de silte e baixa fertilidade, derivados de arenito e de outras formações geológicas da área.

Os neossolos presentes na área são divididos em duas classes, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, que abrangem grande

parte do sul e leste, encontradas também no exutório da bacia hidrográfica do rio do Peixe, na região noroeste. Os Neossolos Litólicos são encontrados em áreas com o relevo mais inclinado, como por exemplo, no front da cuesta da serra do Caiapó. São solos rasos, com presença de rocha, evidenciando o material de origem, e com baixa fertilidade (EMBRAPA, 2018). Para esses solos foram atribuídos valores de vulnerabilidade 1,0.

Os solos do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico são solos minerais, profundos, com textura areia. São excessivamente bem drenados e com pouco desenvolvimento devido à baixa atuação dos processos pedogenéticos e pela resistência das rochas ao intemperismo. Assentados sobre a rocha mãe, esses solos são considerados jovens, encontrados em relevos movimentados e próximos a altas altitudes, nas quais a velocidade da erosão é maior, além do próprio fato de sua textura média facilitar a desagregação e o transporte. Assim, atribuiu-se o valor de vulnerabilidade 3,0 a eles, conforme sugerido por Crepani et al. (2001).

#### *Uso das terras e vegetação*

Com o mapeamento realizado por meio da classificação supervisionada de imagens de satélite, é possível observar que a área da bacia hidrográfica do rio do Peixe, referente a este tema, apresenta duas classes de maior área, Cerrado, abrangendo também as fitofisionomias campestres (campo limpo, campo sujo etc.), além das savânicas e da utilização pela agropecuária, representada por pastagens e por lavouras. Existem ainda as classes, de floresta, englobando as matas de galeria e ciliar, de solo exposto, e de corpos hídricos.

De acordo com Carneiro et al. (2012), a região da bacia hidrográfica do rio do Peixe apresenta usos do solo em sua maioria representado por Cerrado e abriga grandes áreas cobertas por pastagem. Para o mesmo autor, a região foi alvo de grandes investimentos agrícolas, devido ao relevo plano que facilita a mecanização.

Na bacia, grandes áreas de relevo plano, caracterizadas pela ocorrência de solos mais pobres (distróficos) e de baixa aptidão agrícola, são comumente utilizadas para pastagem/pecuária bovina. Percebe-se assim que o uso do solo para a pastagem é intenso na região, observado desde as redondezas de Doverlândia até os limites da bacia hidrográfica.

Desse modo, classes com vulnerabilidade alta (3,0) foram associadas à agropecuária e ao solo exposto. Para as áreas de agropecuária ocorre o desmatamento e a inserção do gado, bem como a transformação da vegetação nativa em pasto,

aumentando a vulnerabilidade. À classe água foi atribuído o valor de 2,0, tendo sido considerada como moderadamente vulnerável. As classes de Cerrado e floresta apresentam os menores graus de vulnerabilidade, expressos por 1,5 (Cerrado) e 1,0 (floresta) (figura 7).

De acordo com Crepani et al. (2001), a densidade da cobertura vegetal da paisagem natural é um dos fatores de importância na análise da proteção de unidades contra os processos erosivos hídricos (morfogenéticos). Devido a isso, segundo os autores, para altas densidades de cobertura vegetal atribui-se o valor de 1,0 na escala de vulnerabilidade. Já as densidades intermediárias recebem valores em torno de 2,0 e baixas densidades vegetacionais valores próximos ou mesmo 3,0 de vulnerabilidade.

Na bacia hidrográfica do rio do Peixe foram encontradas as seguintes formações vegetacionais: floresta estacional semidecidual aluvial, savana arborizada com e sem floresta de galeria, savana florestada e savana parque com e sem floresta de galeria. Nos dados obtidos para esse tema pelo BDIA (2019), está incluída a classe de pastagem, abrangendo pastagens naturais, plantadas e lavouras.

Como descrito, o parâmetro utilizado para determinar a vulnerabilidade desse tema é a densidade de cobertura vegetal. Assim, são empregues os valores de vulnerabilidade moderadamente estável (1,4 a 1,7), correspondendo às classes de formações de floresta estacional semidecidual aluvial, savana florestada e savana arborizada com e sem floresta de galeria. As formações de floresta estacional semidecidual aluvial são observadas na porção leste da bacia hidrográfica, representadas por coberturas de Cerrado presentes ao logo do curso de ribeirões em relevos levemente ondulados. A savana florestada, popularmente chamada de cerradão, caracterizada por apresentar dossel arbóreo fechado e com alturas que variam de 7 até 15 m, foi identificada em maior quantidade ao sul da bacia, provavelmente isso ocorreu pela presença de declividades altas e de grandes desníveis altimétricos relativos à cuesta da serra do Caiapó. As savanas arborizadas com e sem floresta de galeria, comumente chamadas de campo cerrado, apresentam arbustos e palmeiras adensadas, e são encontradas nas porções, central e sul, com algumas manchas ao norte da bacia hidrográfica. As florestas de galeria ou mata ciliares, quando ocorrem, estão associadas a relevos mais dissecados e às drenagens (BDIA, 2019). Associados à cobertura vegetal de formações de savana parque com e sem floresta de galeria, foram atribuídos valores correspondentes à classe

moderadamente vulnerável (2,3 a 2,6). Já a savana parque apresenta uma camada rasteira gramínea sob uma camada de árvores (BDIA, 2019). Essa tipologia pode ocorrer de forma isolada ou em pequenas ilhas, conforme pode ser observado no mapa de vegetação (figura 8), representadas nas porções norte e sudeste. A savana parque com floresta de galeria é encontrada ao norte, acompanhando um trecho do rio do Peixe e alguns ribeirões, e ao sudeste em relevo dissecado com presença de drenagens e floresta de galeria associada. A savana parque sem floresta de galeria é evidenciada em relevos mais inclinados, em interflúvios.

Para áreas classificadas como pastagem, a vulnerabilidade empregada, segundo os valores de referência de Crepani et al. (2001), é 3,0 (vulnerável). Essa classe também é caracterizada pelos autores como coberturas artificiais, que englobam as culturas perenes e as culturas anuais, resultado da conversão da mata e do cerrado campo limpo em área de pastagem. Ela é vista em toda a bacia hidrográfica do rio do Peixe, fazendo divisas com as outras classes de vegetação e concentrada na porção central e norte da bacia, principalmente nos relevos mais planos (figura 8).

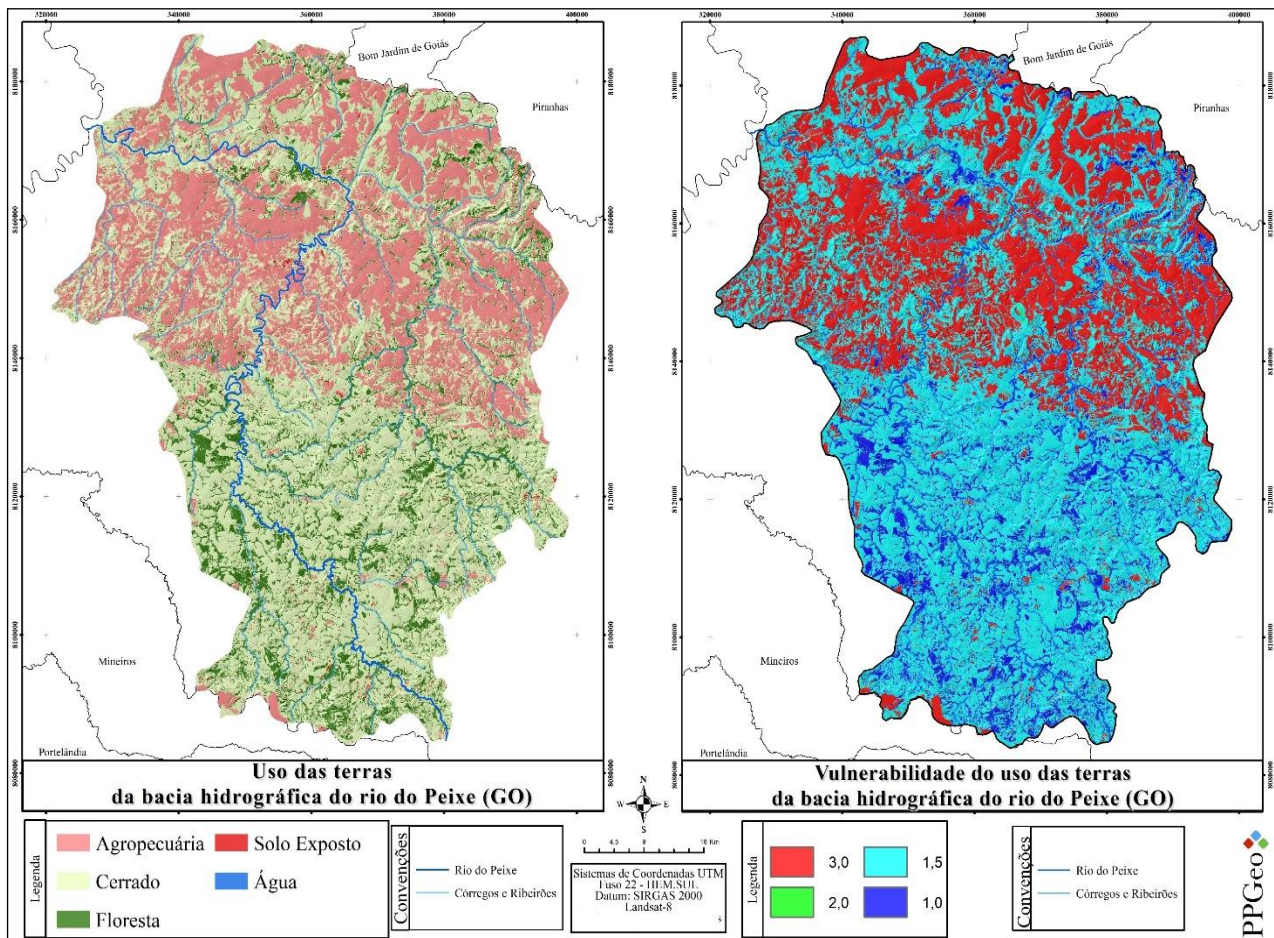


Figura 7- Mapa de Uso das terras e vulnerabilidade do uso das terras. Elaborado pelos autores

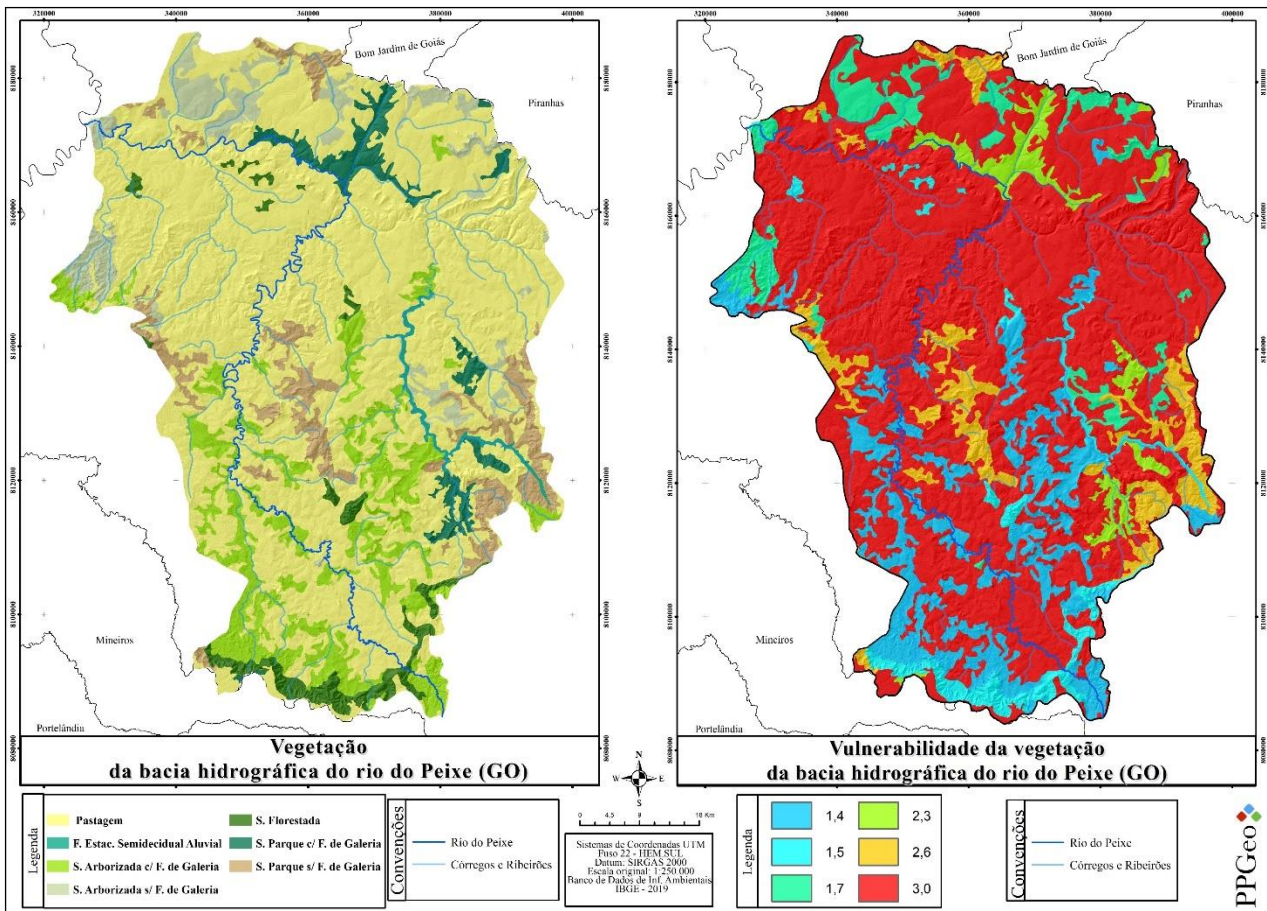


Figura 8- Mapa de vegetação e vulnerabilidade da vegetação. Elaborado pelos autores.

**Geomorfometria**

Como etapa para o alcance dos valores geomorfométricos que tangem à metodologia, elaborou-se os mapas de declividade, HAND e de

dissecação horizontal do relevo os quais são evidenciados na figura 9 e descritos nos próximos parágrafos. Com esses valores, com auxílio da equação utilizada para esse fator, mapearam-se os valores de geomorfometria para a área.

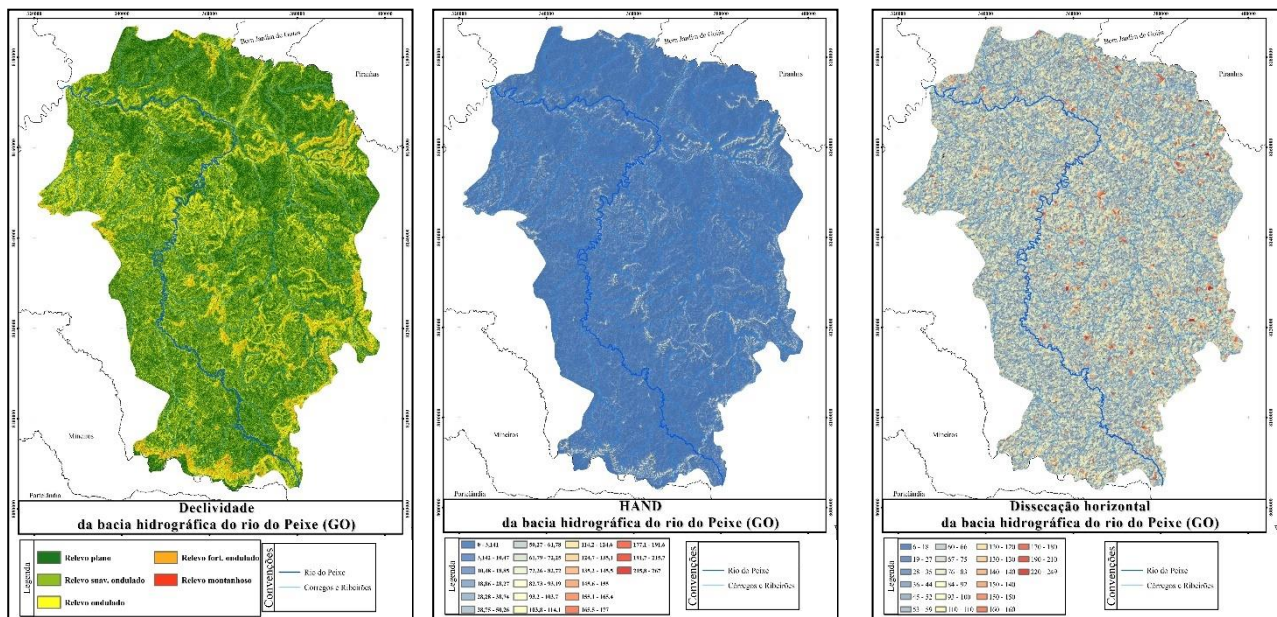


Figura 9- Mapa de declividade, HAND e dissecação do relevo. Elaborado pelos autores.

Quanto à declividade, Crepani et al. (2001) afirmam que, quanto maior a inclinação, maior é a velocidade do fluxo de água proveniente da precipitação das chuvas. Desse modo, os valores mais próximos de 1,0 estão ligados à menor vulnerabilidade das encostas, com um ângulo menor de inclinação. Nas situações com maior declividade, com valores próximos a 3,0, prevalecem os processos erosivos (morfogênese) (CREPANI et al., 2001).

Grande parte das áreas vulneráveis relacionadas à declividade na bacia hidrográfica do rio do Peixe ficou entre 1,0 e 2,0, na qual prevalecem regiões planas. Os valores de 2,0 a 3,0 são observados no mapa justamente de maneira inversa, representadas pelas regiões com uma declividade maior, a vulnerabilidade 3,0 está exemplificada diretamente na porção sul da bacia e em pequenas porções ao nordeste.

HAND: Os valores obtidos e o mapa elaborado para o fator HAND expressam as distâncias verticais acima de cada drenagem, o qual, foi elaborado para a substituição do fator proposto por Crepani et al. (2001), denominado de amplitude altimétrica.

A partir da observação do mapa gerado, é visto que a área apresenta desníveis de 0 a 267m. Regiões com valores de distância vertical entre 0 e 67,5 m, expressam a maior parte da bacia hidrográfica do rio do Peixe, correspondentes a desníveis em que a energia potencial é menor. E os valores maiores de distância vertical (altura) estão presentes em pequenas áreas, em que o relevo é mais acentuado.

Os valores mais altos de distância vertical estão alocados na região nordeste da bacia hidrográfica do rio do Peixe e também ao sul, localizadas no front da cuesta da serra do Caiapó, indicando, em geral, áreas bem drenadas e solo pouco saturado, essas também representando porções com maiores desníveis, segundo a altimetria da região, iniciam-se em 624 m, chegando a 999 m de altitude.

Aos maiores desníveis associam-se as maiores energias potenciais para que ocorram as maiores perdas de solo por erosão hídrica, pois a energia potencial pode ser transformada em energia cinética. A força da gravidade está intimamente ligada à força de transporte, gerando forças de atrito entre a lâmina d'água, que vai dos locais mais altos para os mais baixos, desagregando mais partículas, por maior ganho de velocidade, prevalecendo, nesse caso, a morfogênese.

O relevo nas áreas de maiores desníveis é descrito por relevos ondulados a montanhosos, prevalecendo formas acentuadas. As áreas com menores valores associam-se a prováveis locais

onde a profundidade do nível d'água é menor, em planícies (Martins e Ribas, 2021; Souza, Nascimento e Cruz, 2021 e INPE, 2010).

Portanto, as regiões que possuem maior vulnerabilidade estão localizadas no extremo sul da bacia hidrográfica do rio do Peixe, expressas por maiores distâncias verticais. As de maior estabilidade acontecem com maior frequência na área e associa-se à maior probabilidade de nesses locais predominarem os processos pedogenéticos.

Em relação à dissecação horizontal, os valores obtidos apresentam intervalos que vão de 6 m a 249 m de dimensão interfluvial. Majoritariamente a bacia apresenta valores medianos que vão de 19 m a 110 m. Os maiores valores estão presentes em pequenas áreas, nas porções, central, nordeste e sudeste, exibindo locais que chegam a 249 m de dissecação horizontal.

De acordo com Crepani et al. (2001) e enfatizado por Lima e Lupinacci, (2021) e Caldas et al. (2021), quanto maiores forem os interflúvios, ou seja, quanto menor for a intensidade de dissecação horizontal, menores são os valores de vulnerabilidade a serem atribuídos, ou seja, mais próximo da estabilidade. Já as unidades da paisagem que apresentam os menores interflúvios ou maiores intensidades de dissecação horizontal, recebem valores de escala de vulnerabilidade próximos a 3,0. Com esses valores, é possível avaliar o trabalho da dissecação horizontal realizado pelas drenagens na bacia hidrográfica, indicando pontos onde a suscetibilidade à erosão é maior (LEITE; ROSA, 2012).

Na evolução do relevo, em locais mais altos, os maiores tamanhos de interflúvios, ou seja, as menores dissecações horizontais associam-se provavelmente a um material de cobertura (solos/rochas) que possui maior permeabilidade, possivelmente são solos profundos e bem drenados, pois nessas condições, o escoamento superficial é menor e a infiltração é maior, ocorrendo uma menor densidade de drenagens na superfície.

Por outro lado, em terrenos menos permeáveis, o escoamento superficial é maior, em detrimento de menor infiltração da água, associando-se assim a maiores densidades de drenagens e a menores tamanhos de interflúvios.

Levando em consideração os valores de referência de Crepani et al. (2001) para a dissecação horizontal, toda a extensão da bacia encontra-se em vulnerabilidade 3,0, que segundo os autores, valores menores que 250 m, representam dimensões interfluviais menores, disseçadas.

*Equação geomorfométrica*

Como resultado da equação aplicada, utilizando os mapas, de declividade, modelo HAND e de dissecação horizontal, foi obtido o mapa geomorfométrico com valores de

vulnerabilidade. Os dados resultantes da equação determinaram áreas correspondentes a níveis de vulnerabilidade que iniciaram em 1,6 (moderadamente estável) e foram até 3,0 (vulnerável) (figura 10).

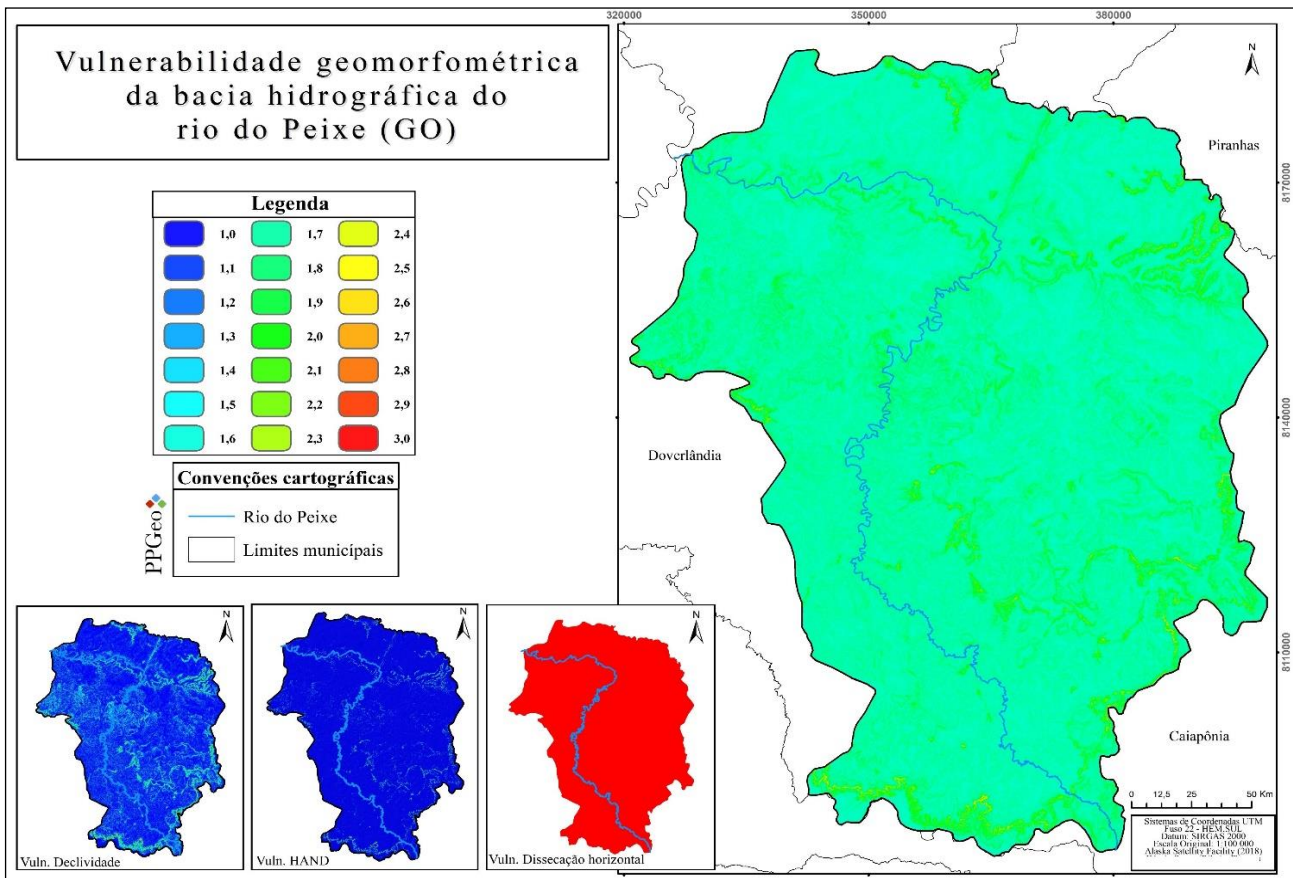


Figura 10- Mapa de vulnerabilidade geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Elaborado pelos autores.

Em síntese, áreas com maior vulnerabilidade à perda de solos por erosão são caracterizadas pela ocorrência comum de maiores desníveis, grandes inclinações e altos índices de dissecação, que correspondem a um relevo com densidade de drenagem maior, oriundos de processos morfogenéticos, em que existe o predomínio de processos de erosão, em detrimento aos processos de formação. Logo, a dinâmica denudacional é marcada por relevos fortemente ondulados e montanhosos, com maior potencial à perda de solos.

Para o fator geomorfométrico, a bacia hidrográfica do rio do Peixe foi representada em sua maioria pela vulnerabilidade moderadamente estável, isso se deu devido à grande parte da área apresentar uma superfície com relevo plano a suave-ondulado, cujos maiores desníveis se concentraram em pequenas áreas. Os valores de 2,5 a 3,0 são evidenciados em pequenos polígonos que se localizam em algumas porções norte e sul, onde

consequentemente estão localizados os relevos mais ondulados e montanhosos.

Ainda na figura 10, é possível identificar o resultado final do mapa geomorfométrico, bem como a visualização da vulnerabilidade dos fatores utilizados na álgebra de mapas, os quais foram classificados em vulnerabilidades de 1,0 a 3,0, com exceção da dissecação horizontal com valor único para toda a área de 3,0.

*Vulnerabilidade à perda de solos*

Com a junção das classes temáticas e a aplicação da equação de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al. (2001), foi possível o mapeamento da vulnerabilidade ambiental e natural à perda de solos. Como dito na metodologia o mapa de vulnerabilidade ambiental utilizou-se o fator de uso e cobertura das terras, evidenciando áreas antropizadas, já para a vulnerabilidade natural, seguindo a metodologia de Crepani et al.

(2001), foram utilizadas as classes de vegetação compreendendo o meio natural (figura 11).

#### *Mapeamento da vulnerabilidade natural e ambiental à perda de solos*

Com a junção das classes temáticas e a aplicação da equação de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al. (2001), foi possível o mapeamento da vulnerabilidade natural e ambiental à perda de solos. Como descrito anteriormente, no mapa de vulnerabilidade ambiental utilizou-se o fator de uso e cobertura das terras, já para a vulnerabilidade natural, seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001), utilizou-se classes de vegetação compreendendo o meio natural.

Por meio do mapeamento da vulnerabilidade natural, a partir dos valores obtidos para esse caso, é possível dizer que, na bacia hidrográfica do rio do Peixe, ficaram desde 1,0 (estável) até 2,5 (moderadamente vulnerável) (figura 11). Observa-se que, a área da bacia é compreendida majoritariamente (76%) por classes no intervalo de 1,8 a 2,2, consideradas por Crepani et al. (2001) como grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável. Os maiores valores de vulnerabilidade natural à perda de solos encontrados pelo mapeamento realizado estão entre 2,3 e 2,5, classificados como moderadamente vulnerável, ocuparam pouco mais de 14% da área. A classe de vulnerabilidade natural com grau correspondente à moderadamente estável, classificada pelos valores que se iniciam em 1,4 e chegam a 1,7, de acordo com Crepani et al. (2001), representou um total de 9,78% da bacia. As áreas que apresentaram valores de 1,0 a 1,3 tiveram cerca de 0,20% da bacia hidrográfica do rio do Peixe consideradas como estável.

Áreas com classificação estável e moderadamente estável quanto à vulnerabilidade natural à perda de solos decorrem, principalmente, da presença de remanescentes de Cerrado nativo, bem como florestas de galeria presentes em alguns rios e córregos. Essas áreas com considerável cobertura vegetal promovem a desaceleração da água das chuvas, com menor tendência à perda de solos. Outro fator observado diz respeito à geomorfologia, sendo regiões de aplainamento.

A classe medianamente estável/vulnerável quanto à vulnerabilidade natural à perda de solos pela erosão, compreende áreas onde não há

presença de vegetação e/ou ausência de vegetações mais densas, basicamente compostas por pastagens e por solo exposto, que apresentam uma vulnerabilidade maior, tendo apresentado também vulnerabilidade maior à perda de solos quanto à geomorfologia.

Por outro lado, observando-se o resultado do mapeamento da vulnerabilidade ambiental, é possível destacar que a bacia hidrográfica do rio do Peixe exibe valores que vão de 1,0 (estável) a 2,6 (moderadamente vulnerável). Grande parte da área é representada pela classe medianamente estável/vulnerável, que compreende 66,82%, com valores que vão de 1,8 a 2,2. O grau denominado moderadamente estável apresentou valores de 1,4 a 1,7, em 27,97%, da área. Já a classe de grau moderadamente vulnerável, com valores de 2,3 a 2,6, soma 4,56% da área. Enquanto o grau de vulnerabilidade estável, de 1,0 até 1,3, consistiu na menor área do mapeamento, com 0,62% (figura 11).

Assim, as áreas correspondentes às menores vulnerabilidades ambientais (estável e moderadamente estável) estão relacionadas com a maior estabilidade, levando em consideração os processos morfodinâmicos que ali acontecem normalmente caracterizados por locais com florestas, mata de galeria e Cerrado, inseridos em relevos moderadamente ondulados, e associados aos principais rios e córregos da bacia hidrográfica do rio do Peixe. Nessas áreas também se localizam os solos mais profundos e intemperizados.

A classe medianamente estável/vulnerável, quanto à vulnerabilidade ambiental à perda de solos, expressa a maior parte da bacia e em grande maioria corresponde a áreas agrícolas e com considerável atuação antrópica, como as pastagens e o solo exposto. Essa classe também expressa valores de declividade como fortemente onduladas e montanhosas, bem como zonas de erosão recuante, morros e colinas.

As áreas de maior vulnerabilidade ambiental à perda de solos estão majoritariamente localizadas nas regiões, central, leste e oeste da bacia hidrográfica do rio do Peixe, podendo ser associadas à junção, do relevo ondulado, presença de agradações, litologia composta basicamente arenitos e pedologia representada por neossolos quartzarênicos e cambissolos.

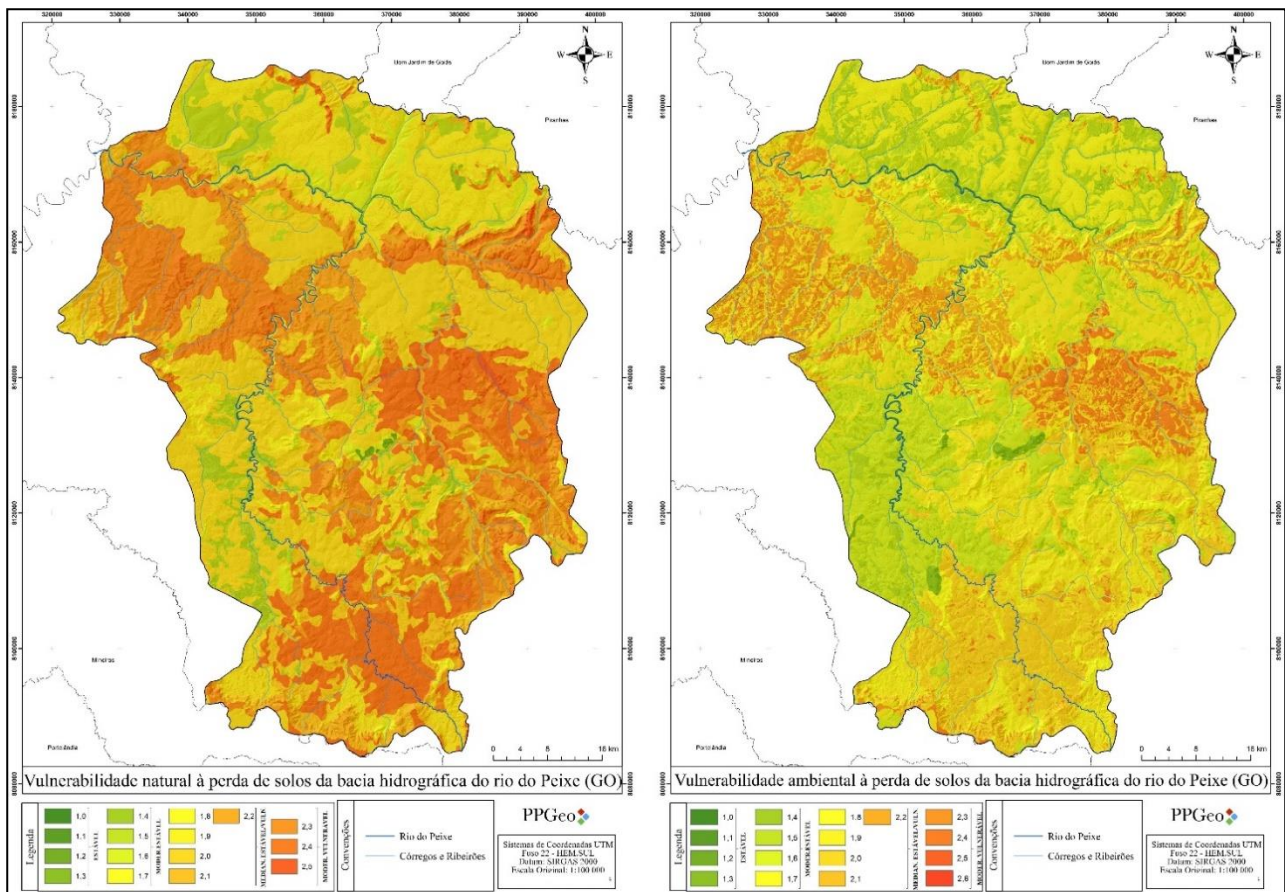


Figura 11- Mapa de vulnerabilidades da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Elaborado pelos autores.

### Pontos de Campo

A fim de evidenciar de maneira clara e objetiva os resultados do mapeamento de vulnerabilidade à perda de solos, foi realizado um trabalho de campo para a coleta de dados e informações (figura 12). O mapa apresenta 16 pontos de coleta, referentes a diferentes classes de vulnerabilidade. Foram observados os respectivos fatores utilizados na metodologia adotada e realizada a captura de imagens referentes a cada ponto.

Os pontos de 1 a 9 foram coletados no curso da GO-465, sentido norte-sul, iniciando na cidade de Doverlândia para o front da cuesta da serra do Caiapó. No primeiro ponto, de acordo com os valores de mapeamento da vulnerabilidade ambiental, essa área foi classificada como medianamente estável/vulnerável, com valores que próximos a 2,2 de vulnerabilidade. De acordo com o que foi observado, trata-se de uma localidade com intenso uso agropecuário e sede de fazendas da região, com grandes áreas de relevo levemente ondulado, utilizadas como pastagem para gado. A

junção desses fatores e a tipologia de solos e litologia arenítica, resultam nesse alto valor de vulnerabilidade.

Em todo o trajeto dos pontos 2, 3 e 4 são avistados processos erosivos, localizados principalmente em áreas de pastagem e próximo de fazendas. Esses pontos evidenciam vulnerabilidade ambiental entre 1,6 e 2,2, caracterizados por um manejo ou planejamento inadequado para a localidade, comprovações disso são as bacias de contenção próximas a essas áreas, implantadas na tentativa de conter o processo erosivo. O manejo tem influência direta no desenvolvimento de erosões, quando se promove a retirada exagerada da cobertura vegetal para o pasto, a vegetação que protegia o solo torna-se escassa favorecendo esses processos. Esses processos em conjuntura com o relevo e os solos arenosos da região geram uma maior suscetibilidade à erosão. O ponto 4 apresenta o menor valor de vulnerabilidade desses três, com 1,6, evidenciando um relevo plano a levemente ondulado, com presença de grandes áreas de vegetação nativa e pastagem plantada.

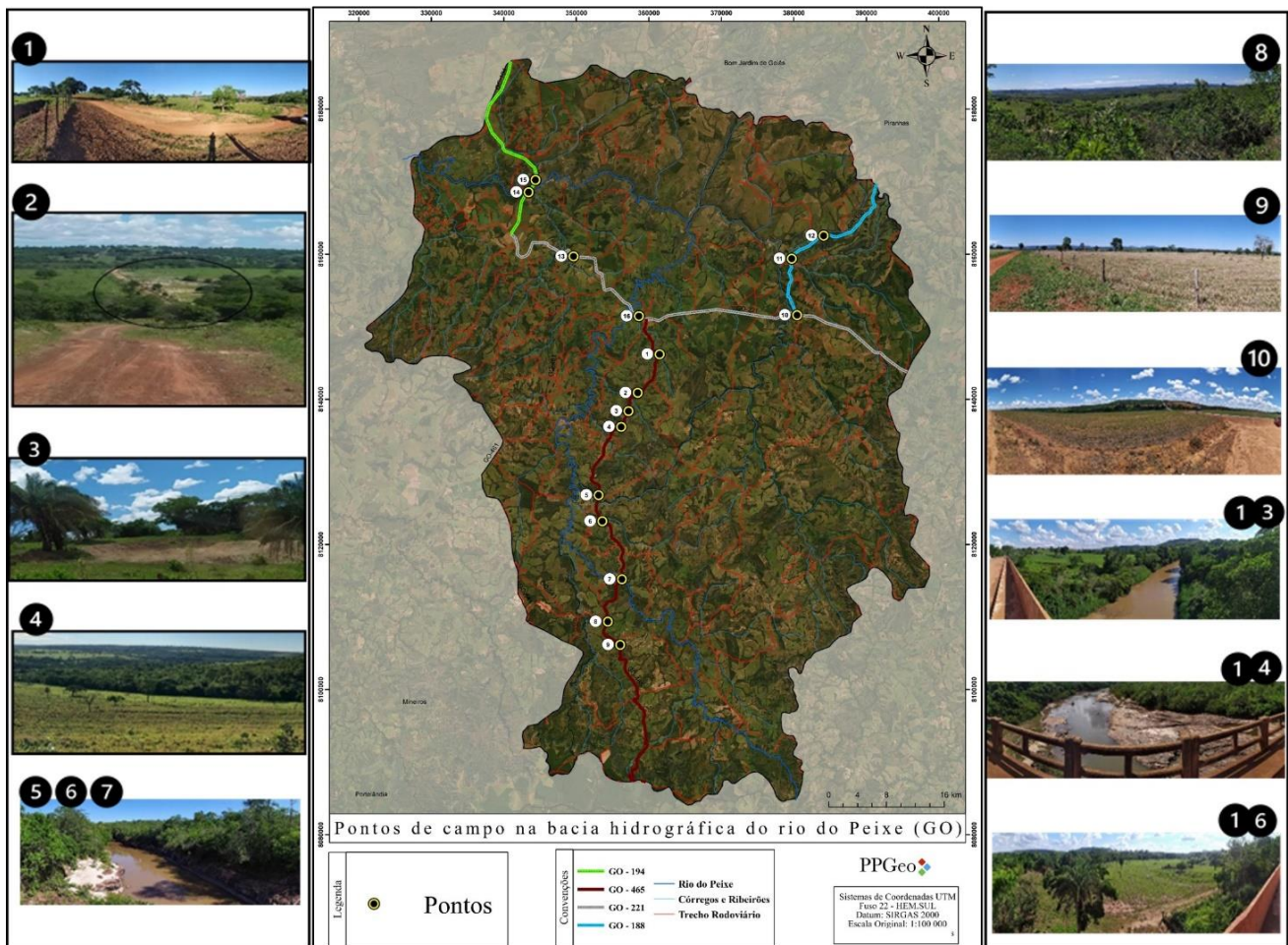


Figura 12- Pontos de validação em campo da bacia hidrográfica do rio do Peixe (GO). Elaborado pelos autores.

Os pontos 5, 6 e 7 apresentam variações de vulnerabilidade ambiental que iniciam em 1,6 e chegam a 1,9. No trajeto são encontrados focos de processos erosivos, como visto também nos pontos anteriores. Localizados sobre a Formação Aquidauana, essa área apresenta afloramentos rochosos de arenito esbranquiçado e vermelho, encontrada em toda extensão desse trajeto, bem como solo derivado desses tipos de rochas.

Em alguns locais a vulnerabilidade é considerada medianamente estável, representadas por coberturas vegetais mais densas e uma conservação maior do solo e áreas utilizadas para pasto quase não vistas nesse trecho. Os valores maiores (vulnerabilidade 1,9), referente ao ponto 6 são decorrentes da tipologia do solo, com características areníticas, evidenciando os cambissolos e neossolos quartzarênicos.

O ponto 8 apresenta o menor valor de vulnerabilidade ambiental do trajeto pela GO-465, representando uma área mais próxima da estabilidade. Observa-se que nesse ponto há uma vasta cobertura vegetal e poucas áreas de pastagem ou agricultura e apresenta um relevo levemente ondulado. Nesse ponto também se encontra

Latossolos Vermelho-Amarelo, considerados estáveis dentro do grau de vulnerabilidade. Essa mesma região faz parte da Formação Serra Geral, com litologia de basalto e basalto-andesito. A maior vulnerabilidade encontrada no ponto 9 (1,8 de vulnerabilidade) se dá pela falta de cobertura vegetal em algumas áreas utilizadas para pastagem, bem como a litologia quartzarênica, resultando Neossolos Quartzarênicos.

Os pontos 10, 11 e 12 inseridos no trajeto seguindo pela GO-188 apresentam áreas com intenso uso agropecuário. Em todo o percurso avistam-se plantações de soja e milho, bem como pastagens para o rebanho bovino. Esses pontos são caracterizados por vulnerabilidade ambiental entre 1,7 e 2,0 e evidencia áreas de cultivo, com presença de sulcos erosivos, acarretadas pelo manejo inadequado do solo. Nessas áreas são encontradas curvas de nível e bacias de contenção, técnicas utilizadas por agricultores e pecuaristas para evitar e conter as erosões, ocasionadas também pela retirada de cobertura vegetal e inserção do gado. Nesses locais há evidências de que ocorrem várias queimadas oriundas do processo de transformação de vegetação nativa em pasto.

Os pontos 14 e 15 encontram-se nas proximidades do curso do rio do Peixe, áreas areníticas, provenientes da Formação Furnas. Nesse ponto, o rio do Peixe corre sobre arenitos e apresenta extensa área florestada em seu entorno, o que consequentemente aliado ao relevo mais suave agrega valores baixos de vulnerabilidade ambiental, como o classificado para esses dois pontos, 1,5 (próximo da estabilidade).

Os pontos 13 e 16 apresentaram vulnerabilidade ambiental, caracterizadas pelo solo argiloso, relevo suave e grandes áreas de agropecuária e pastagens, que se estendem até as proximidades do leito do rio do Peixe. Esse tipo de uso é decorrente também da presença de fazendas no entorno da região urbana. No ponto 16, nas proximidades da cidade de Doverlândia, são avistadas áreas apresentando processos erosivos, decorrentes da falta ou manejo inadequado do solo.

### Conclusões

Com base no conteúdo exposto, deve-se destacar que o referencial teórico da vulnerabilidade com base nos princípios da análise da paisagem e da dinâmica ecológica fornece a base para o desenvolvimento da pesquisa. Assim, este trabalho buscou explicar a inter-relação do ambiente natural, considerando as características do ambiente e as atividades antrópicas.

Fatores humanos podem levar a mudanças na qualidade ambiental, resultando em perdas econômicas e ambientais. É importante enfatizar o papel norteador da geomorfologia nesta pesquisa, representado pelos índices morfométricos.

Pontua-se também a importância da utilização dos recursos de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, que contribuíram, significativamente, para a realização desta pesquisa, possibilitando a investigação, o processamento da informação geoespacial e a modelagem ambiental, que reflete diretamente nos resultados do trabalho.

Diante dos resultados alcançados, pode-se concluir que a adaptação realizada como substituição do fator amplitude altimétrica pelo fator distância vertical à drenagem mais próxima (HAND) dentro da metodologia de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al. (2001) mostrou-se efetiva.

Análise da vulnerabilidade à perda de solo, com base na metodologia de Crepani et al. (2001), permitiu identificar os locais de maior vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Peixe, tendo em vista a adaptação do tema relacionado à amplitude altimétrica. Esta análise pode ser entendida como uma ferramenta para identificar os locais mais vulneráveis,

possibilitando atividades de planejamento e subsidiando medidas de controle dos processos que levam à perda de solos. Além disso, a partir deste tipo de análise, é possível observar que a metodologia utilizada também pode contribuir para a gestão pública, auxiliando na definição de ações necessárias para a prevenção e monitoramento de possíveis desastres.

Com isso ressaltam-se as maiores vulnerabilidades encontradas na bacia hidrográfica do rio do Peixe, em grande parte medianamente estável/vulnerável. Esses resultados expressam o avanço desordenado e sem planejamento de inserção de pastagens e áreas de plantio. O manejo inadequado ou a falta dele traz consequências evidenciadas em toda bacia hidrográfica, em especial nas áreas de uso agropecuário, como é o caso das erosões. As erosões foram observadas em várias magnitudes e situações, desde sulcos erosivos até ravinamentos.

Portanto, a utilização do solo de acordo com sua vulnerabilidade à perda de solo levaria à mitigação e até prevenção dos processos erosivos, inclusive em áreas já afetadas por ações antrópicas. Modificar o meio ambiente de forma insustentável pode causar danos irreversíveis à natureza e à sociedade.

Deste modo, este trabalho fornece subsídios a estudos posteriores quanto à vulnerabilidade natural e ambiental em bacias hidrográficas, principalmente em ambientes de Cerrado, com declividades suaves a onduladas ou usos suscetíveis, de forma a contribuir no planejamento, prevenção e controle de perda de solo por erosão hídrica.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo auxílio financeiro de bolsa de mestrado.

### Referências

- Adger, W. N. 2006. Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.
- Almeida, P. F., Silva, J. B. L., & Neves, F. M. 2020. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física [online]*, 13, 1587-1609.
- Bagarello, V., Di Piazza, G. V., Ferro, V., & Giordano, G. 2008. Predicting unit plot soil loss in Sicily, south Italy. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(5), 586-595.
- Barbalho, M. D. S., & Castro, S. S. 2002. Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia

- (GO/MT/MS). IV Simpósio Nacional De Geomorfologia. Anais... São Luís.
- Batista, P. H. L. 2014. Cartografia geotécnica aplicada aos riscos de alagamento e inundação na bacia do rio São Bartolomeu. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Departamento Engenharia Civil e Ambiental. Brasília.
- Batista, P. V., Davies, J., Silva, M. L., & Quinton, J. N. 2019. On the evaluation of soil erosion models: Are we doing enough? *Earth-Science Reviews*, 197, 102898.
- Belem, F. L., & Cabral, J. B. P. 2021. Estudo de Vulnerabilidade Ambiental da Bacia do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Ferreira Gomes (AP). *Revista Georaguaiá*, 11(1), 307-337.
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., & Panagos, P. 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 146494.
- Braz, J. S., & Neto, R. M., 2021. As Unidades de Paisagem no município de Areado, sul de Minas Gerais: uma proposta de estudo ambiental integrado a partir da concepção geossistêmica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(06), 3401-3416.
- Cabacinha, C. 2008. Caracterização Estrutural e Física de Fragmentos de Mata de Galeria na Alta Bacia do Rio Araguaia. 2008 (Doctoral dissertation, Tese, Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia).
- Caldas, A. M., Neto, F. C. R., Rodrigues, A. D. C. F., de Moura, A. E. S. S., da Silva, E. R., Possas, J. M. C., ... & Corrêa, M. M. 2021. Morfometria, aspectos de qualidade físico-química e microbiológica da água e ações antrópicas em bacia hidrográfica na região de Mata Atlântica, Brasil. *Research, Society and Development*, 10(5), e12210514656-e12210514656.
- Carneiro, G. T. 2012. Processo de fragmentação e caracterização dos remanescentes de Cerrado: Análise ecológica da paisagem da bacia do rio dos Peixes (GO). Tese. Doutorado em Ciências Ambientais. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 135 fls.
- Costa, F. R., de Souza, R. F., & da Silva, S. M. P. 2021. Análise das vulnerabilidades natural e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (RN). *Geosciences= Geociências*, 40(02), 459-475.
- Castro, S. S. 2005. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 38-60.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2006. Retomada dos Levantamentos Geológicos Básicos: estado da arte em 2006: catálogo de produtos. Belo Horizonte, 125 p. il.
- Crepani, E., Medeiros, J. D., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial (p. 124). São José dos Campos: Inpe.
- Dellargine, F. L., de Souza, D. S. L., de Mira, Í. R. C., Silva, G. T. G., & da Silva, M. L. 2020. Análise da Vulnerabilidade Ambiental do Município de Inconfidentes-MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(07), 3602-3624.
- de Mendonça, A. F., de Almeida Teixeira, T. M., de Oliveira, O. A., & de Oliveira Teixeira, A. C. 2020. Mapeamento Da Vulnerabilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Bandeirinha Em Formosa-Go. *Geoambiente On-line*, (36), 19-42.
- dos Santos, L. C. A., & Soares, I. G. 2020. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Maranhão–Brasil. *Geografia (Londrina)*, 29(1), 85-105.
- EMBRAPA. 2018. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 5º ed. Brasília, DF.
- Esteves, T., Ravindranath, D., Beddamatta, S., Raju, K. V., Sharma, J., Bala, G., & Murthy, I. K. 2016. Multi-scale vulnerability assessment for adaptation planning. *Current Science*, 1225-1239.
- Faria, K. M. S. DE. 2011. Degradações e viabilidade de restauração da bacia do Rio Claro (GO). Tese de Doutorado - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Florenzano, T.G., 2008. Cartografia, in: Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 105-128.
- Guimarães, F. S., Cordeiro, C. M., Bueno, G. T., Carvalho, V. L. M., & Nero, M. A. 2017. Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(1).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. HAND model: a new look over the landscape. Disponível em: <http://handmodel.ccst.inpe.br/>. Acesso em 04 set. 2021.
- IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2009. Manual técnico de geomorfologia / IBGE. Rio de Janeiro. 2.ed. n. 5, 178p. : il.

- Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE). 2010. Distância vertical à drenagem mais próxima. Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE), Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade, Variáveis Ambientais para a Modelagem de Distribuição de Espécies (AmbData).
- Leite, E. F., & Rosa, R. 2012. Mapeamento Geomorfológico: A Carta de Energia do Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(2), 269-284.
- Leal, J. M., Aquino, C. M. S., Aquino, R. P., Valladares, G. S. 2020. Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuí, Piauí: Bases para o ordenamento territorial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, a v.12, n.02 (2019) 608-621.
- Lima, K. C., Lupinacci, C. M. 2021. Geomorfologia do semiárido: proposta metodológica de representação cartográfica e interpretação do relevo em escala de detalhe. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(2), 218.
- Lima, C. G. D. R., Bacani, V. M., Montanari, R., Vick, E. P., Ferreira, C. C., & Silva, E. R. D. S. D. 2021. Metodologias Indiretas De Mensuração Da Erodibilidade Do Solo E Caracterização Da Variabilidade Espacial. *Mercator (Fortaleza)*, 20.
- Lopes, M. S.; Saldanha, D. L. 2016. Análise de vulnerabilidade natural a erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã RS. *Revista Brasileira de Cartografia*. N°68/9. Edição especial Movimentos de massa e processos erosivos. Rio de Janeiro. p.1689-1708.
- Oliveira Martins, M., & Ribas, R. P. 2021. Identificação de áreas de suscetibilidade à inundação no sistema hidrográfico do Rio Tavares em Florianópolis-SC. *Geosul*, 36(79), 473-494.
- Momoli, R. S. 2022. Atributos Morfológicos E Físicos Dos Solos Das Trilhas Turísticas Da Apa Nascentes Do Rio Vermelho, GOIÁS. *Formação (Online)*, 29(54), 167-197.
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., & Saleska, S. 2011. Height Above the Nearest Drainage—a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 404(1-2), 13-29.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture handbook*, 703, 25-28.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., & Tomasella, J. 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3469-3481.
- Ribeiro, F. L., & Campos, S. 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 11, 628-636.
- Rosim, S., MONTEIRO, A. M. V., RENNÓ, C. D., SOUZA, R. D., & Soares, J. V. 2003. TERRAHIDRO-Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2589-2596.
- Ross, J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do departamento de geografia*, 8, 63-74.
- Rodrigues, H. C. T., da Silva Campos, P. S., Almeida, H. F. P., Paiva, P. F. P. R., dos Santos Junior, P. C., Marques, G. T., Chase, O. A. 2020. Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1598-1612.
- Ross, J. L. S. 2012. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. *Revista do Departamento de Geografia*, 38-51.
- Santos, N. A., de Oliveira Junior, I., Borges, E. F. 2021. Análise Integrada Da Paisagem: Subsídios Para O Zoneamento Ambiental Em Canudos-Ba. *Caderno Prudentino de Geografia*, 3(43), 178-200.
- Souza, Ê. G. F., do Nascimento, A. H. C., & da Cruz, E. A. 2021. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(03), 1530-1540.
- Sutil, S. C., Gonçalves, J. A. C., & Vieira, E. M. 2020. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(06), 3060-3077.
- Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., & Govers, G. 2010. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil use and management*, 18(4), 386-394.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of

- Agriculture, Science and Education Administration.
- Zacharias, A. A., & Guerra, F. C. 2015. O mapeamento das áreas vulneráveis aos riscos ambientais e as políticas públicas municipais para a sustentabilidade do patrimônio ambiental urbano. *Geografia e Pesquisa*, 9(1).
- dos Santos Zanini, M., & Ribeiro, J. C. 2021. Morfopedologia Aplicada Ao Controle Dos Processos Erosivos Na Sub-Bacia Do Córrego Piraputanga, Em Reserva Do Cabaçal/Mt. *Revista Equador*, 10(2), 40-65.