



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**KASSIO SAMAY RIBEIRO TAVARES**

**ADAPTAÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA  
DE MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS**

Goiânia, Goiás  
2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese

#### 2. Nome completo do autor

KASSIO SAMAY RIBEIRO TAVARES

#### 3. Título do trabalho

ADAPTAÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Ivanilton José De Oliveira, Diretor**, em 09/03/2021, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **KASSIO SAMAY RIBEIRO TAVARES, Discente**, em 09/03/2021, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1929399** e o código CRC **AFC2C84D**.

---

Referência: Processo nº 23070.006194/2021-61

SEI nº 1929399

KASSIO SAMAY RIBEIRO TAVARES

**ADAPTAÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA DE  
MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Nível Mestrado - em Geografia da Universidade Federal de Goiás, como Requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Orientador:** Dr. Ivanilton José de Oliveira  
**Linha de Pesquisa:** Análise Ambiental e Tratamento de Informações Geográficas.

Goiânia, Goiás  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Tavares, Kassio Samay Ribeiro  
ADAPTAÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA  
DE MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS  
[manuscrito] / Kassio Samay Ribeiro Tavares. - 2021.  
106 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto  
de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em  
Geografia, Goiânia, 2021.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. HAND . 2. CREPANI. 3. VULNERABILIDADE AMBIENTAL E  
NATURAL. 4. GEOMORFOMETRIA. 5. DISSECAÇÃO HORIZONTAL.  
I. Oliveira, Ivanilton José de, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº 14/2021 da sessão de Defesa de Dissertação de Kassio Samay Ribeiro Tavares, que confere o título de Mestre em Geografia, na área de concentração em Natureza e Produção do Espaço.

No quinto dia do mês de fevereiro de dois mil e vinte e um, a partir das 10 horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO NA DEFINIÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Ivanilton José de Oliveira (IESA/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Patrícia de Araújo Romão (IESA/UFG), membro titular externo; Professor Doutor Guilherme Taitson Bueno (IESA/UFG), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Ivanilton José de Oliveira, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, no quinto dia do mês de fevereiro de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

ADAPTAÇÃO DO FATOR GEOMORFOLÓGICO NA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS



Documento assinado eletronicamente por **Ivanilton José De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 05/02/2021, às 12:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia De Araújo Romão, Professor do Magistério Superior**, em 05/02/2021, às 13:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 06/02/2021, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?)



[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](#), informando o código verificador **1849643** e o código CRC **449F8A25**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.006194/2021-61

SEI nº 1849643

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a todos que de alguma forma direta ou indireta fizeram parte no desenvolvimento deste trabalho. Em especial, gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Ivanilton José de oliveira que além de um orientador se tornou um amigo. Agradecer também pela enorme paciência em me orientar e auxiliando em minha trajetória acadêmica, que inicialmente não foi fácil, e nem continua sendo.

Imensa gratidão a banca Profa. Dra. Patrícia de Araújo Romão e Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno, que aceitaram avaliar e contribuir com o trabalho, que desde a qualificação se empenharam em ler, fazer observações e adicionar ainda mais ensinamentos em minha trajetória, nutro grande admiração pelos dois. Individualmente, agradeço a Profa. Dra. Patrícia, que desde a graduação me socorre em duvidas, trabalhos e ensinamentos, sendo considerada por mim e por muitos de seus alunos uma “mãezona”, grande parte do aluno e profissional que sou hoje ela parte de sua influência.

Aos meus pais, pelo suporte dado desde a graduação e nesses dois últimos anos de mestrado e também a Luana de Castro Amorim, pelo incentivo continuo e pelos momentos leves que me proporcionou em vários momentos difíceis no ano inicial da Pós Graduação.

Agradeço aos meus amigos e colegas da Pós Graduação, por duvidas tiradas, ajuda em trabalhos e forças pra continuar empenhado nesse processo que é se aperfeiçoar. Agradecimento também ao Programa de Pós Graduação em Geografia, os professores envolvidos e também funcionários, por sempre estar de maneira solícita auxiliando nessa caminhada.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudos, pois, sem ela provavelmente eu não estaria concluindo esse ciclo. E como no trabalho final de graduação, conluo os agradecimentos agradecendo a mim, Kassio Samay Ribeiro Tavares por não ter desistido e por continuar empenhado em melhorar e evoluir.

Obrigado a todos.

*“SABER NÃO É O BASTANTE, NECESSITAMOS APLICAR O CONHECIMENTO.  
QUERER NÃO É O BASTANTE, NECESSITAMOS REALIZAR”.*

Leonardo da Vinci

## 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. Em observação a esses trabalhos, foi constatado que majoritariamente os autores deixam de aplicar ou substituem fatores geomorfológicos como o de amplitude altimétrica e dissecação horizontal, fazendo uso apenas da declividade, diferentemente do que é proposto pela metodologia. Com isso, o trabalho propõe a adaptação do fator amplitude altimétrica, substituindo-o pela distância vertical à drenagem mais próxima, chamado de HAND, que é aplicado também ao mapeamento de aptidões de uso do solo e o mapeamento de áreas de suscetibilidade. O HAND enquanto método de modelagem hidrológica é estudado como preditor de suscetibilidade de desastres hidrológicos como por exemplo escorregamento de massa úmida e inundação. 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 estruturação do trabalho está dividida em 4 sessões, a primeira com o referencial teórico, a segunda evidenciando a metodologia aplicada, a terceira sessão com os resultados e discussões e por fim as considerações finais a respeito do trabalho. A metodologia foi dividida em duas frentes, levantamento bibliográfico acerca de assuntos que abarcam a pesquisa, bem como aplicações da metodologia de vulnerabilidade à perda de solos e processamento de dados através de dados secundários, compilação de mapas temáticos e utilização de imagens orbitais para a geração dos mapas de uso das terras e dos elementos geomorfométrico do relevo, fazendo uso de programas SIG. Como resultado principal, evidencia-se a boa resposta obtida pela aplicação com o modelo HAND, o qual apresentou valores condizentes com a área de estudo e também resultados próximos aos do mapa de amplitude altimétrica, utilizado como fator de comparação e observação. Através desses pontos foram elaborados dois mapas finais, o de vulnerabilidade ambiental à perda de solos, utilizando-se o mapa de uso e cobertura das terras e o de vulnerabilidade natural à perda de solos, fazendo uso do fator vegetação, como evidencia da cobertura vegetal. Com o resultado desses dois mapeamentos, foi constatado que a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, tida como área de aplicação da metodologia, apresentou áreas significativas de vulnerabilidade moderadamente estável/vulnerável, que segundo as análises o fator principal desse grau são as atividades agropecuárias e o manejo incorreto do solo, aliado a algumas localidades de relevos movimentados e tipologias de rochas e solos. Como considerações finais, é possível dizer que esse trabalho fornece subsidio para aplicação dessa adaptação em outras bacias hidrográficas, podendo também ser implementado fatores socioeconômicos para possíveis estudos de Zoneamento Ecológico Econômico.

**Palavras Chave:** HAND, Crepani, Vulnerabilidade ambiental e natural, Geomorfometria, dissecação horizontal.

## ABSTRACT

The present work starts from the observation of scientific works that used the methodology of mapping the 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. Observing these works, it was found that most authors fail to apply or substitute geomorphological factors such as altimetric amplitude and horizontal dissection, using only the slope, differently from what is proposed by the methodology. With this, the work proposes the adaptation of the altimetric amplitude factor, replacing it with the vertical distance to the nearest drainage, called HAND, which is also applied to the mapping of land use aptitudes and the mapping of areas of susceptibility. The HAND as a method of hydrological modeling is studied as a predictor of susceptibility to hydrological disasters such as wet mass landslides and flooding. With this in mind, the main objective of the work is to propose an adaptation of the geomorphological factor of the methodology for vulnerability to soil loss, by Crepani et al. (2001). The work structure is divided into 4 sessions, the first with the theoretical framework, the second showing the applied methodology, the third session with the results and discussions and finally the final considerations about the work. The methodology was divided into two fronts, a bibliographic survey about subjects that encompass the research, as well as applications of the methodology of vulnerability to soil loss and data processing through secondary data, compilation of thematic maps and use of orbital images for the generation maps of land use and geomorphometric elements of the relief, using GIS programs. As a main result, the good response obtained by the application with the HAND model is evidenced, which presented values consistent with the study area and also results close to those of the altimetric amplitude map, used as a comparison and observation factor. Through these points, two final maps were drawn up, the environmental vulnerability to soil loss, using the land use and cover map and the natural vulnerability to soil loss, using the vegetation factor, as evidenced by the vegetation cover. With the result of these two mappings, it was found that the hydrographic basin of the Peixe River, considered as the application area of the methodology, presented significant areas of moderately stable / vulnerable vulnerability, which according to the analyzes the main factor of this degree are the agricultural activities and the incorrect handling of the soil, allied to some locations of busy reliefs 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 hydrographic basins, and socioeconomic factors can also be implemented for possible studies of Economic Ecological Zoning.

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

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma bacia hidrográfica. ....	20
Figura 2 -Linhas de festo e talvegues numa carta com curvas de nível. ....	22
Figura 3 -Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas. ....	25
Figura 4 -Morfologia atenuada pela transformação inversa de Fourier: (a) Morro de São José/RJ no MDE-SRTM original; (b) Morro de São José no MDE corrigido; (c) relevo movimentado no MDE-SRTM original; (d) relevo movimentado no MDE corrigido. ....	29
Figura 5 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	31
Figura 6 – Linha do tempo das formações geológicas da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	32
Figura 7- Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	34
Figura 8 - Mapa dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	36
Figura 9 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	39
Figura 10 - Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	41
Figura 11- Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	43
Figura 12 - Fluxograma da metodologia ....	44
Figura 13 – Etapas de processamento do HAND. ....	47
Figura 14- Fluxograma Dimensão Interfluvial média. ....	50
Figura 15 – Mapas de Intensidade Pluviométrica e vulnerabilidade da Intensidade Pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	57
Figura 16– Afloramento de arenitos nas bordas do Rio do Peixe. ....	59
Figura 17 - Mapa litológico e de vulnerabilidade litológica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	60
Figura 18 - Mapa pedológico e de vulnerabilidade pedológica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	61
Figura 19 - Mapa de solos e de vulnerabilidade dos solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	62
Figura 20 -Mapa de vegetação e vulnerabilidade da vegetação da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO) – 2019. ....	66
Figura 21 – Área de pastagem na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	67
Figura 22– Mata ciliar ao longo do leito do Rio do Peixe. ....	68

Figura 23– a) Ocorrência de pastagem GO-188; b) Ocorrência de pecuária bovina GO-221 e c) Ocorrência de pecuária bovina GO-465. ....	69
Figura 24- Mapa de uso das terras e vulnerabilidade do uso das terras da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	70
Figura 25- Mapa de declividade e vulnerabilidade da declividade da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	72
Figura 26 - Mapa de HAND e mapa de vulnerabilidade HAND da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	74
Figura 27– Mapa da amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	75
Figura 28 – Mapa de dissecação horizontal e vulnerabilidade da dissecação horizontal da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	77
Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade geomorfométrica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	79
Figura 30 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	81
Figura 31- Mapa de vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	83
Figura 32 – Mapa de pontos de campo na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	85
Figura 33 – Ponto 1 – uso agropecuário, relevo levemente ondulado e solo arenoso na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	86
Figura 34 – a) e b) Processos erosivos; c) Bacia de contenção próximo a processo erosivo; d) Relevo levemente ondulado; e) Área vegetada na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	87
Figura 35 – a) e b) Processos erosivos na Formação Aquidauana; c) e d) Afloramentos arenitos esbranquiçados e vermelhos; e) Arenito alisado pelo Rio do Peixe (GO). ....	88
Figura 36 – a) Cobertura vegetal ponto 8; b) Pastagem ponto 9. ....	89
Figura 37 – Início da GO-188, agricultura e focos de processos erosivos. ....	90
Figura 38 – Focos de erosão na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	91
Figura 39 – a) Curvas de nível em pasto, b) Queimada para inserção de gado na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	91
Figura 40 – a) Rio do Peixe e área florestada, b) Rio do Peixe correndo sobre arenitos. ....	92
Figura 41 – a) Pastagem nas proximidades do Rio do Peixe. ....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupos e formações Geológicas e sua distribuição na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).....	33
Tabela 2 - Compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.....	35
Tabela 3 – Solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. ....	38
Tabela 4 – Altitudes da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. ....	40
Tabela 5 - Precipitação e intensidade pluviométrica média mensal do período de 1987 a 2018 da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO). ....	55
Tabela 6– Vulnerabilidade ambiental (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).....	80
Tabela 7– Vulnerabilidade natural (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Valores de vulnerabilidade para a intensidade pluviométrica.....	45
Quadro 2- Valores de vulnerabilidade para declividade .....	46
Quadro 3- Valores de vulnerabilidade para o HAND .....	48
Quadro 4- Valores de vulnerabilidade para dissecação horizontal.....	50
Quadro 5- Valores de vulnerabilidade para geologia .....	52
Quadro 6- Valores de vulnerabilidade para os solos. ....	52
Quadro 7- Valores de vulnerabilidade para uso e cobertura do solo.....	54
Quadro 8- Valores de vulnerabilidade para vegetação .....	54

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	12
1.1 Problemática da investigação .....	13
1.2 Recorte espacial e temporal .....	13
1.3 Justificativa .....	14
1.4 Objetivos .....	14
1.5 Estruturação do Trabalho .....	15
<b>2. Referencial Teórico</b> .....	15
2.1 Teoria Geral dos Sistemas .....	15
2.2 Os Sistemas e a Paisagem .....	17
2.3 Bacias hidrográficas .....	19
2.4 Vulnerabilidade à erosão .....	23
2.5 A metodologia de Crepani et al. 2001 .....	24
2.6 Modelos digitais de elevação .....	27
<b>3. Metodologia</b> .....	30
3.1 Contextualização histórica e fiosaográfica da área .....	30
3.1.1 Geologia .....	32
3.1.2 Compartimentos geomorfológicos .....	35
3.1.3 Solos .....	37
3.1.4 Altimetria .....	40
3.1.5 Declividade .....	42
3.2 Metodologia Escolhida .....	44
3.2.1 Processamento dos dados .....	44
3.2.1.1 Clima .....	45
3.2.1.2 Geomorfometria .....	46
3.2.1.3 Geologia .....	51
3.2.1.4 Solos .....	52
3.2.1.5 Vegetação e uso das terras .....	53
<b>4. Resultados e discussões</b> .....	54
4.1 Clima (Intensidade Pluviométrica) .....	54
4.2 Geologia .....	58
4.3 Solos .....	61
4.4 Vegetação .....	63

4.5 Uso das Terras .....	67
4.6 Declividade .....	71
4.7 HAND.....	73
4.8 Dissecação horizontal .....	76
4.9 Equação geomorfométrica.....	78
4.10 Vulnerabilidade à perda de solos.....	80
4.10.1 Vulnerabilidade ambiental à perda de solos.....	80
4.10.2 Vulnerabilidade natural à perda de solos.....	82
4.10.3 Pontos de campo .....	84
<b>5 Considerações finais .....</b>	<b>93</b>
<b>Referências .....</b>	<b>95</b>

## 1. Introdução

Um dos grandes objetivos da ciência geográfica é compreender as relações entre sociedade e natureza, a partir de suas materializações no espaço geográfico. E isso envolve analisar e interpretar não apenas a fisionomia, ou seja, o aspecto visível das feições, formas e estruturas, mas também sua dinâmica, isto é, os processos que podem explicar o comportamento atual ou, ainda, sua gênese e evolução espaço-temporal.

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. E redundou em diversas propostas analíticas, como os mapeamentos de unidades de paisagem (ou unidades ambientais), cujos resultados comumente apresentam como marcadores das discontinuidades o elemento-chave da área de atuação do pesquisador, isto é, o relevo, o clima, o solo ou 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. 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 para as áreas analisadas.

Áreas em constante transformação, pelo desenvolvimento e expansão de atividades econômicas, necessitam de um planejamento territorial e ambiental, tanto para a prevenção de impactos ambientais, como para a conservação de recursos naturais. Existem muitas metodologias preditivas com esse intuito, dentre as quais se destacam as de análise de vulnerabilidade à perda de solos, que resultam em dados referentes à áreas com maior ou menor vulnerabilidade. Uma metodologia muito empregada nos estudos geográficos, que considera 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.

Grande parte dessas metodologias preditivas fazem uso dos modelos digitais de elevação para levantamentos de dados e informações morfométricas de terrenos. Frente aos diversos modelos de terreno já desenvolvidos que buscam compreender e descrever as propriedades físicas locais, 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) objetivando evidenciar áreas suscetíveis a inundação 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 e o mapeamento de áreas suscetíveis. O HAND enquanto método de modelagem hidrológica é estudado como preditor de suscetibilidade de desastres hidrológicos como por exemplo escorregamento de massa úmida e inundação. Atualmente o modelo HAND alcançou visibilidade internacional, sendo utilizado no campo da hidrologia e gestão de riscos por países como Estados Unidos e Holanda.

### **1.1 Problemática da investigação**

Inúmeros trabalhos têm aplicado a metodologia de Crepani et al. (2001) para realizar mapeamentos de vulnerabilidade natural à perda de solos, fazendo adaptações e/ou deixando de avaliar fatores importantes da metodologia original. Essas adaptações ocorrem principalmente no que diz respeito ao fator geomorfológico, devido à dificuldade na obtenção de dados referentes à dissecação do relevo e amplitude altimétrica, evidenciado nos trabalhos de Lopes e Saldanha (2016) e Ribeiro e Campos (2007). Tendo em vista os avanços tecnológicos atuais, com a obtenção de dados remotos e modelagem digital sobre o relevo, apresenta-se a seguinte questão: a adaptação do fator geomorfológico, substituindo-se a amplitude altimétrica pela distância à drenagem mais próxima (HAND, na sigla em inglês), permitiria análises completas e condizentes com realidades distintas daquela para qual a proposta de Crepani et al. (2001) foi elaborada (como o bioma Cerrado)?

### **1.2 Recorte espacial e temporal**

A presente pesquisa parte da aplicação da metodologia de Crepani et al. (2001) de vulnerabilidade natural à perda dos solos, na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, que compõe a alta bacia do Rio Araguaia. A região do Alto do Araguaia é conhecida como campo de pesquisas de diversos autores, dentre eles, Barbalho (2002), Castro (2005), Cabacinha (2008) Faria (2011) e Carneiro (2012), que desenvolveram outros inúmeros trabalhos voltados para o entendimento e compreensão do uso do solo, fragmentação do Cerrado e processos erosivos do local, culminando principalmente para a preservação e conservação de áreas prioritárias de remanescentes do bioma Cerrado. A bacia hidrográfica compreende aproximadamente 5.140 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Doverlândia, Caiapônia e Baliza, no estado de Goiás, com nascentes encontradas na vertente norte da Serra Caiapó (EIBH, 2010).

Em função dos parâmetros adotados na metodologia de Crepani et al. (2001), o recorte temporal da pesquisa se restringe principalmente à situação atual, tendo o ano de 2019 como referência, em função da geração do mapa de uso e cobertura das terras. Contudo, para os dados sobre a intensidade da precipitação atmosférica (chuvas), será utilizado um período de 30 anos (1987-2018), conforme indicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

### **1.3 Justificativa**

Tendo em vista a observação de trabalhos que utilizaram a metodologia de Crepani et al. (2001), a amplitude altimétrica e o índice de dissecação utilizados como tema para a obtenção da vulnerabilidade geomorfológica são os principais problemas encontrados por quem se propôs a aplicar esta metodologia, decorrente das dificuldades em se obter os dados morfométricos e/ou poucas metodologias que auxiliem na obtenção destes temas. Exemplo disso é o trabalho de Lopes e Saldanha (2016), que utilizaram a metodologia no subsídio ao planejamento ambiental, neste trabalho, para a vulnerabilidade geomorfológica foram utilizados apenas dois fatores morfométricos, a declividade e a hipsometria, e o trabalho de Ribeiro e Campos (2007), empregado apenas a declividade como fator geomorfológico. Neste sentido, a relevância desta pesquisa está, principalmente, na possibilidade de proporcionar uma proposta de execução mais acessível, mediada pelo uso de produtos de sensores remotos e modelagem automatizada, em substituição ao procedimento tradicional, complexo, utilizado para se obter o fator geomorfológico da metodologia clássica de vulnerabilidade à perda de solos.

### **1.4 Objetivos**

Tendo em vista o exposto, o objetivo geral desse projeto é propor uma adaptação na definição do fator geomorfológico da metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solos.

São distinguidos os seguintes objetivos específicos: Caracterizar os aspectos geoambientais da bacia hidrográfica do Rio do Peixe; aplicar a metodologia de Batista (2012) da distância à drenagem mais próxima (HAND), como alternativa ao tema amplitude altimétrica; aplicar a metodologia de automatização do índice de dissecação horizontal do relevo (dimensão interfluvial); realizar a comparação dos resultados obtidos entre o HAND e amplitude altimétrica; mapear a vulnerabilidade à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

### **1.5 Estruturação do Trabalho**

O trabalho está dividido em 4 seções. A primeira é denominada Referencial teórico, e abarca a discussão e exposição de conceitos e arcabouço teórico a respeito de variados temas que contemplam a pesquisa, tais como: Teoria Geral de Sistemas; os sistemas e a paisagem; vulnerabilidade natural à erosão; metodologia de Crepani et al. (2001); bacias hidrográficas e modelos digitais de elevação.

A próxima seção, referente à Metodologia, está dividida em itens que abrangem as informações sobre a área de estudo, bem como seu histórico e sua caracterização fisiográfica. Além dos procedimentos metodológicos e fontes de dados utilizados para responder aos objetivos de pesquisa.

Na seção três, são apresentados os resultados e discussões a partir dos mapas temáticos de clima, geologia, solos, uso das terras e morfometria, que corresponde aos temas de declividade, HAND como adaptação da amplitude altimétrica e dissecação horizontal. Apresenta-se também, o mapeamento de vulnerabilidade à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

Por fim, a seção 4 refere-se às considerações finais do trabalho, evidenciando pontos importantes que foram discutidos, bem como sugestões para futuros trabalhos.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1 Teoria Geral dos Sistemas**

Bertalanffy (1977), o criador da Teoria dos Sistemas Geral diz que sistema é um “conjunto de unidades em inter-relações mútuas”. Para Chiavenato (1993) sistema é um “conjunto de elementos unidos por alguma forma de interação ou interdependência”. Neste contexto em 2011 é elucidado por Stair e Reynolds (2011) que sistema é um conjunto de elementos ou componentes que interagem entre si para alcançar um determinado objetivo.

Reunindo estas e outras conceituações sobre sistemas, pode-se dizer, complementarmente, que um sistema se caracteriza por um conjunto de elementos relacionados dinamicamente com interação entre si, desempenhando cada qual um papel para atingir um determinado objetivo em comum. Para Morin (1977), o sistema é composto por partes e os elementos que unidos os compõem.

A teoria geral de Bertalanffy (1968) analisa como os sistemas funcionam, executando os processos para os quais visam obter respostas. Também é exposto pelo autor que o sistema é um conjunto de fenômenos que trabalham mediante o fluxo da matéria entre a energia e a informação, gerando uma vinculação entre as mesmas.

O sistema é, portanto, formado por componentes interdependentes cercados por um meio exterior. Este meio exterior é onde o sistema opera, ou seja, no ambiente, e onde é por ele condicionado. Para Tricart (1977), do ponto de vista metodológico, esse conceito apoia-se num tipo de raciocínio elaborado pelos físicos há quase 200 anos e aplicado à termodinâmica, em que o *sistema* é visto como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, originando relações de dependência mútua.

Os sistemas apresentam entrada (input) e saída (output), onde a entrada é composta por aquilo que o ambiente recebe, essas entradas que o ambiente recebe sofrem transformações em seu interior, que são posteriormente enviadas para fora, o que é caracterizado pela saída ou output, ou seja, toda entrada corresponde a um tipo de saída (CHRISTOFOLETTI, 1979).

O conceito de sistema aberto, de acordo com Bertalanffy (1968), encontrou afinidade principalmente para a aplicação nas ciências da Terra e Geomorfologia. Estas aplicações abarcaram intensamente os pressupostos da Teoria Geral dos Sistemas, como pode-se verificar pelo grande número de pesquisas baseadas no Geossistema e na Análise da Paisagem, os quais são as categorias mais utilizadas em estudos sistêmicos.

Convém ressaltar que Tricart (1977) corroborava o fato de que o conceito de sistema é melhor e mais coerente conceito disponível para estudos na área da Geografia Física, tendo em vista que normalmente se é usado uma atitude dialética frente à necessidade de análise

resultante de maior complexidade, tornando assim a Teoria de Sistemas mais eficaz na atuação sobre o meio ambiente.

Para o autor, o componente mais importante da dinâmica da superfície terrestre é o morfogênico, que do ponto de vista ecológico, constitui uma limitação. Assim, um dos objetivos da administração e ordenamento do meio ambiente é, necessariamente, diminuir a instabilidade morfodinâmica. Disso decorre a necessidade de estabelecer uma taxonomia dos tipos de meios ambientes fundada no seu grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica (TRICART, 1977).

## **2.2 Os Sistemas e a Paisagem**

No campo da Geomorfologia, o conceito de paisagem sempre foi um dos mais importantes, evidenciando a incorporação das propostas teóricas e metodológicas que acompanharam o desenvolvimento dos estudos geomorfológicos, a exemplo da Teoria Geral dos Sistemas e da análise integrada, atualmente baseada no uso das geotecnologias.

A busca por uma proposta de análise e mapeamento das paisagens permeia a história da Geomorfologia, com vários autores de renome apresentando suas concepções sobre o assunto. Uma das mais conhecidas é a de Bertrand (1972), para quem a paisagem é, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, constituem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Na proposta de Bertrand (1972), embora as delimitações geográficas sejam arbitrárias, pode-se vislumbrar uma taxonomia das paisagens. Trata-se de pesquisar as discontinuidades objetivas, buscando delimitar a paisagem global tal qual ela se apresenta, permitindo tornar claras as combinações e as relações entre os elementos, assim como os fenômenos de convergência. O sistema de classificação comporta seis níveis tempo-espaciais, agrupadas em unidades superiores (zona, domínio, região natural) e unidades inferiores (geossistema, geofácies e geótopo).

Para Bertrand (1972), os elementos que constituem a paisagem participam de uma dinâmica comum que não corresponde obrigatoriamente à evolução de cada um dentre eles tomados separadamente. Cada geossistema possui um sistema de evolução diferente, que reúne todas as formas de energia (sistema geomorfogenético, dinâmica biológica, exploração antrópica) que, reagindo dialeticamente umas em relação às outras, determinam a evolução geral da paisagem. O sistema de evolução se define, ainda, por uma série de agentes, como os

naturais (climáticos, biológicos etc.) que determinam processos naturais, e os agentes antrópicos, que determinam processos antrópicos (desmatamento, incêndio etc.).

Erhart (1966), num texto sucinto, publicado originalmente em 1956, descreve um ensaio elaborado a partir de investigações desenvolvidas em Madagascar, a partir das quais o autor defende a análise das paisagens a partir de duas condições antagônicas: a biostasia, fruto da presença de uma cobertura vegetal, capaz de fornecer estabilidade ao sistema pedogenético e geomorfológico, permitindo, assim, o desenvolvimento dos solos e restringindo a ação vertical dos processos morfogenéticos; e a resistasia, em que a retirada da vegetação desencadearia a prevalência do escoamento das águas pluviais e a ação da gravidade, retirando camadas de solos por fluxos dispersos ou concentrados e, desta forma, promovendo a evolução das vertentes pela ação de processos erosivos.

Embasado em Erhart (1966), Bertrand (1972) apresenta uma tipologia dinâmica, de em que classifica os geossistemas em função de sua evolução, distinguindo sete tipos, reagrupados em dois conjuntos dinâmicos diferentes: os geossistemas em biostasia: paisagens onde a atividade geomorfogenética é fraca ou nula, o sistema de evolução é dominado pelos agentes e processos bioquímicos (pedogênese, concorrência entre as espécies vegetais etc.) e a intervenção antrópica nunca compromete o equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica; e os geossistemas em resistasia: a geomorfogênese domina a dinâmica global das paisagens e há uma modificação mais ou menos possante do potencial ecológico.

Distingue-se a resistasia verdadeira, onde a erosão geomorfológica é capaz de modificar o modelado ou mesmo a destruição pedológica e da vegetação. Esse fenômeno ocorre frequentemente nas margens de regiões ariadas, acelerada muita das vezes pela relação sociedade x natureza. A resistasia limitada está ligada a cobertura viva da vertente, provocando alterações na parte superficial das vertentes, não criando novos modelos do relevo.

De acordo com Tricart (1977), estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece. A ótica dinâmica deve ser o ponto de partida da avaliação e, também ancorado em Erhart (1966), o autor distingue três meios morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis.

De acordo com Tricart (1977), nos meios estáveis, a ideia de estabilidade aplica-se ao modelado, à interface atmosfera-litosfera, cuja evolução é lenta, quase imperceptível e constante, aproximando-se da condição do clímax fitoecológico. Essas regiões apresentam as

seguintes condições: 1) cobertura suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese; 2) dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem solapamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução; e 3) ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.

O autor reconhece a importância da cobertura vegetal, enfatizada por Erhart (1966), no conceito de biostasia, demonstrando o efeito estabilizador das plantas pela função de anteparo aos fluxos de radiação e às gotas de chuva, e pelo efeito frenador sobre o vento, mas indica que o termo mais adequado seria fitoestasia, já que a vida animal não contribui para a estabilidade; ao contrário, atua como elemento ativo na morfogênese.

Os meios intergrades, para Tricart (1977), indica uma transição, uma passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis, como um contínuo. Os meios intergrade caracterizam-se por uma interferência de morfogênese e pedogênese, variando de acordo com critérios qualitativos e quantitativos.

E, por fim, nos meios fortemente instáveis, de acordo com Tricart (1977), a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural e fator determinante do sistema natural. Diferentes origens, às vezes combinadas, explicam tal situação, como: a geodinâmica interna, como nos casos de vulcanismo; a cobertura vegetal introduz uma influência indireta do clima, pois quando mal adaptada às irregularidades climáticas permite que as manifestações meteorológicas extremas ganhem um potencial energético considerável; as condições climáticas de semi-aridez apresentam um intenso trabalho morfodinâmico; à degradação antrópica se acrescentam as causas naturais, em especial nas regiões acidentadas onde o clima opõe fatores limitantes severos à reconstituição da vegetação; as oscilações climáticas naturais não provocam, senão excepcionalmente, fenômenos semelhantes, pois são menos brutais e seus efeitos menos radicais; os ravinamentos generalizados (“bad-lands”) demonstram um processo de escoamento superficial difuso que elimina os detritos mobilizáveis desde que são formados.

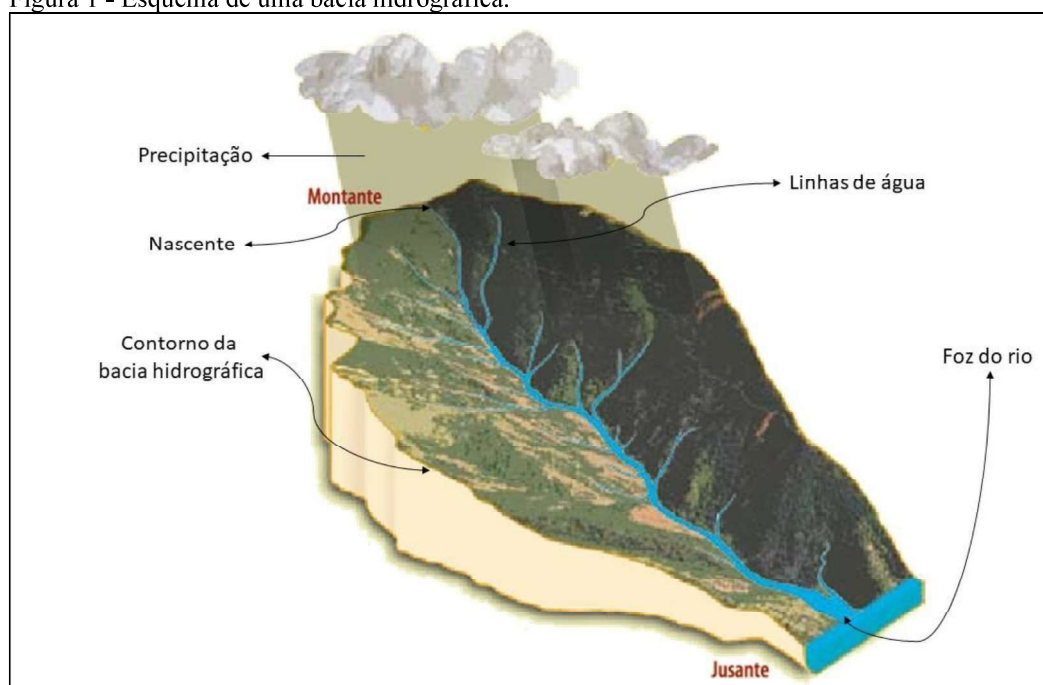
### **2.3 Bacias hidrográficas**

Autores como Santos (2004), Mattos e Perez Filho (2004) e Guerra e Mendonça (2007), defendem a utilização do paradigma sistêmico nos estudos sobre bacia hidrográfica. Neste contexto, os autores elucidam de maneira geral que o arcabouço teórico dos sistemas se adapta perfeitamente ao estudo de bacias hidrográficas, reconhecendo as partes dessa paisagem como dependentes, que a bacia hidrográfica constitui em um todo interconectado.

As bacias hidrográficas podem ser consideradas como sistemas abertos, em relação aos *inputs* de energia, derivados da precipitação, e os *outputs* ligados a água e sedimentos oriundos da erosão fluvial e de encostas existentes no âmbito das bacias (SOUZA, 2013).

De acordo com Cruz (2003) e Viessman et al. (1977), bacia hidrográfica pode ser entendida como uma unidade fundamental da hidrologia. Bacia hidrografia é uma área geográfica natural da superfície terrestre, definida topograficamente e drenada por um curso d'água ou também por sistemas que estão interligados aos cursos d'água (figura 1). A bacia hidrográfica é delimitada por pontos mais altos do relevo, que compõem os divisores topográficos, também chamados de espigões, que definem a direção do fluxo gravitacional da superfície.

Figura 1 - Esquema de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de Fabião, A. e Fabião, A. M. D. (2007).

Estudos científicos sobre processos hidrológicos e morfológicos em áreas de bacias iniciaram-se sistematicamente, no século XVIII, e a partir destes se desenvolveram vários outros trabalhos de valor significativo bastante usados na atualidade, que é o caso de estudos de índices e parâmetros estudados por Christofolletti (1999), Valle et al. (2014) e Rocha (2001). Tais trabalhos possibilitaram questões sobre a dinâmica natural de uma bacia hidrografia, permitindo assim o monitoramento e a análise de condições ambientais para estudos de avaliação de impactos ambientais.

Devido à grande importância da bacia hidrográfica para o meio natural, na década de 1990 foram delimitados pela Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), os

fundamentos de utilização da água e da bacia hidrográfica. Nesse mesmo período, através da lei n. 9.433, sancionada em 8 de janeiro de 1997, foi definida que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação do PNRH e para a atuação do sistema nacional de recursos hídricos.

O contorno de uma bacia hidrográfica é determinado pela linha de separação das águas que divide as precipitações que desaguam em uma determinada bacia e as que caem nas bacias adjacentes. As linhas de separação são definidas em dois tipos: de águas topográfica ou superficial e de águas freática ou subterrânea.

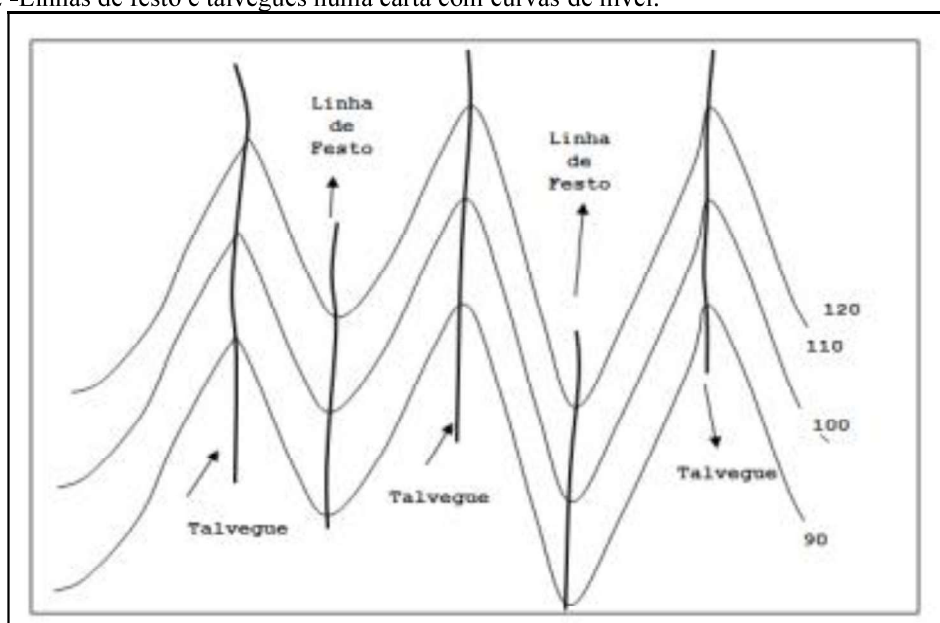
Linhas de separação de águas topográfica ou superficial são as que seguem pelo festo, representando os pontos de maior cota em torno da bacia hidrográfica, atravessando-a de acordo com as maiores cotas de altitude entre elas. Linhas de separação de águas freáticas ou subterrânea são determinadas pelas estruturas geológicas das áreas, delimitando os limites dos reservatórios de água subterrânea que são oriundas da infiltração, ocasionada principalmente, pela precipitação (GUIMARÃES, 2017).

A conformidade de uma bacia se dá pela elevação do terreno e seus desníveis, sendo da parte mais alta para a mais baixa que são onde se orientam os cursos da água. A área de uma bacia também é limitada pelos divisores de águas que separam as bacias adjacentes. Assim, a água que precipita fora da bacia não contribui para o escoamento da bacia considerada (PORTO; PORTO, 2008).

Para Guimarães (2017), a delimitação de uma bacia hidrográfica de um determinado curso d'água pode ser expressa em uma carta com curvas de nível, onde se deve a partir de um ponto de referência procurar a linha de maior cota que abrange o curso de água. Também é exposto que, “ A linha de festo nunca pode cortar o curso de água (a não ser na secção de referência) que segue pelos pontos de máxima cota circundantes do curso de água e existe sempre uma linha de festo entre dois talvegues (linha de reunião de águas)”, exemplificado na Figura 2.

As linhas de talvegue e festo podem ser identificadas em cartas com curvas de nível, onde, nota-se que quando as curvas de nível de menor cota contornam a de maior cota, a linha que atravessa a curvatura formada por elas é a chamada de linha de festo. Com as linhas de talvegue é o processo contrário, quando as curvas de nível de maior cota abrangem as de menor cota, a linha que atravessa a convexidade por elas formadas são considerados talvegues.

Figura 2 -Linhas de festo e talvegues numa carta com curvas de nível.



Fonte: Guimarães, R. C. (2017)

Porto e Porto (2008) expõem que a bacia de drenagem é um conjunto de terras, cursos de rios e afluentes que drenam a água a partir das precipitações. As bacias hidrográficas são consideradas como unidades de território principalmente para fins de conservação e manejo do solo e da água, pois, as ações da superfície refletem diretamente no recurso hídrico (PIS-SARRA, 2002). Rocha (2001) indica como manejo integrado, uma alternativa de utilizar os recursos conscientemente, melhorando assim o desenvolvimento sustentável.

A superfície terrestre é constantemente impactada por meios naturais e antrópicos, favorecendo assim os processos de erosivos, esses processos ao longo do tempo modificam a conformidade geomorfológica. O processo de formação dos solos é um acontecimento lento e gradativo, enquanto a destruição pode ser rápida. Walker (1994) diz que a erosão do solo em uma bacia tendo por base fenômenos antrópicos ameaça a sustentabilidade e o próprio desenvolvimento. Outro fator intimamente ligado à dinâmica das bacias são os eventos climáticos, que tendo em vista as mudanças climáticas globais aumentam a ocorrência de chuvas intensas as que contribuem para maiores taxas de erosão (KUNDZEWICZ et al., 2007).

As alterações ambientais causam efeitos adversos sobre os solos e os recursos hídricos, afetando assim a sua quantidade e qualidade. Esses impactos, juntamente com o grande aumento populacional e as suas decorrências afetam diretamente na disponibilidade do recurso hídrico, assim, conforme evidenciado em diversos trabalhos, é necessário a intervenção de gestão hídrica (VALLE et al., 2014; CAREY et al., 2011; MARQUES et al. 2007; COLLIN; MELLOUL, 2003; MERTEN; MINELLA, 2002).

Um estudo de vulnerabilidade em uma bacia hidrográfica indica a condição de suscetibilidade que ela apresenta, sendo também, considerada como uma ferramenta de análise útil para três linhas da sustentabilidade, sendo elas a ambiental, econômica e social (ROBISON et al., 2015). A vulnerabilidade e o risco têm sido aliados a diversos fatores, principalmente ambientais como as alterações climáticas, erosões, poluição da água etc., e também aplicada a escalas mais restritas como aquíferos, bacias hidrográficas e ecossistemas (FIGUEIRÊDO et al., 2010).

## **2.4 Vulnerabilidade à erosão**

A partir do século XX, os estudos voltados para o entendimento da dinâmica da paisagem começaram a se destacar, isto derivado das necessidades contemporâneas da sociedade urbana a estudos e análises que contemplassem e envolvessem políticas de ordenamento e desenvolvimento territorial. O grande impasse da relação homem *vs.* natureza afligia as comunidades urbanas, que em grande maioria apresentavam áreas com riscos e vulnerabilidades socioambientais. Diante disto se fez necessário inserir o fator social nas análises de impactos ambientais (ZACHARIAS E GUERRA, 2019).

Segundo Esteves (2011), embora ainda haja certa confusão principalmente no que se refere às definições de risco e vulnerabilidade, na atualidade a noção de vulnerabilidade encontra-se bastante difundida, sendo o conceito empregado para fins de análise, estudos, objetos de debates tanto no meio acadêmico como no meio empresarial e governamental. Essa abordagem também é salientada por Zacharias (2010), expressando que: Nos dias atuais o desenvolvimento da sociedade urbana ocorre em detrimento dos recursos naturais disponíveis, ameaçando na maioria das vezes, de forma considerável sua disponibilidade. Conflito de relação homem-natureza/sociedade-natureza que faz com que, o rápido crescimento das cidades como resultado do aumento populacional e concentração urbana; a impermeabilização dos solos pelas altas taxas de adensamento populacional; as enchentes; inundações; alagamentos e processos erosivos provocados pelo assoreamento e entupimento das calhas dos rios; a crescente degradação do solo pelas ocupações irregulares e práticas agrícolas inadequadas, entre outros problemas ambientais; cada vez mais, contribuam para que a população fique susceptível a áreas vulneráveis dentro do sistema urbano (ZACHARIAS, 2010, p.132).

Em uma abordagem etimológica 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), o conceito de vulnerabilidade tem sido utilizado como ferramenta analítica, principalmente, para descrever situações de suscetibilidade a danos, impotência e marginalidade de sistemas físicos e sociais. Neste mesmo sentido, as Nações Unidas diz que, as condições determinadas por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, aumentam a suscetibilidade de uma comunidade, bem ou sistema ao impacto de um processo potencialmente perigoso (UNISDR, 2015).

Em 2014, o Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD) citou vulnerabilidade como uma adversidade que todas as sociedades são passíveis de, em algum momento, tornarem-se vulneráveis, algumas com um grau mais acentuado e outras que podem ser menos penalizadas e que, por consequência, recuperam-se com maior facilidade. Segundo discorrido em Crepani, et al. (2001) a vulnerabilidade pode ser entendida como a capacidade da paisagem de absorver os estímulos advindos de determinada atividade econômica, ou seja, quanto menor a capacidade de sustentação à ação humana, maior a vulnerabilidade natural da paisagem.

De acordo com Klais et al. (2012), a vulnerabilidade natural pode ser entendida como a incapacidade do meio ambiente de resistir ou recuperar-se de impactos negativos antrópicos. Levando em consideração o que foi discorrido, salienta-se o pensamento de Guerra (2006), o qual exemplifica que a vulnerabilidade acontece há bastante tempo, principalmente, pelas técnicas empregadas para agropecuária e pela exploração de recursos naturais, causando a alteração da paisagem, que com o passar dos anos, causam danos e potencializam mudanças ambientais.

Tais atividades podem gerar degradação, ocasionando impactos, como por exemplo, a contaminação dos solos e de corpos d'água. Como já comentado, no contexto do meio físico e também na relação com o ser humano, podem-se caracterizar dois tipos mais recorrentes de vulnerabilidade, a natural e a ambiental. Os processos do meio físico e, em destaque, os que interagem com a dinâmica externa da terra, ocorrem naturalmente e lentamente, no entanto, alguns, catastróficos, são muito rápidos como por exemplo: um terremoto, uma explosão vulcânica, maremoto, avalanche, dentre outros. Essa atuação lenta e natural envolve elementos do meio físico, como solo, relevo, rocha, cobertura vegetal e outros, e eles atuam geralmente em determinadas condições climáticas, no decorrer do tempo.

## **2.5 A metodologia de Crepani et al. 2001**

A proposta de Crepani et al. (2001), se deu para auxiliar e capacitar técnicos da região da Amazônia, para que, através de cartas de vulnerabilidade à perda de solos se subsidiasse a primeira fase do Zoneamento ecológico-econômico da Amazônia (ZEEA).

A metodologia foi concebida a partir de conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977), também do grande potencial ainda não explorado das imagens de satélite para estudos e análise da paisagem, permitindo uma visão sinótica, holística e repetitiva. Tal metodologia pretendeu usar como âncora o tratamento digital de imagens, fazendo uso da manipulação desses dados por softwares SIG. Segundo Crepani et al. (2001), com a utilização de imagens de satélite como âncora é possível utilizar todo o potencial disponível referente a sistemas de sensoriamento remoto as quais trazem consigo a possibilidade de incorporar metodologias perfeitamente aplicáveis a novos produtos que estarão disponíveis nos próximos anos.

De acordo com a metodologia, o primeiro passo é fazer uma nova interpretação de cada uma das informações temáticas, as quais expostas como mapas geológico, climatológico, pedológico, cobertura vegetal e uso da terra. As imagens de satélite são utilizadas para a geração de mapas referentes a geomorfologia, uma vez que através das imagens é possível a elaboração da declividade, amplitude altimétrica e dissecação do relevo.

Como próximo passo, é feita a atribuição de valores de vulnerabilidade para cada classe temática de unidade da paisagem. Esses valores são correspondentes ao princípio dos fatores pedogenéticos e morfogenéticos (Figura 3). Tais valores são expressos de 1 a 3, sendo 1,0 representando estabilidade e 3,0, vulnerabilidade alta.

Figura 3 -Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas.

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

Fonte: Crepani et al. (2001)

Crepani et al. (2001) utilizam uma equação matemática atribuída ao SIG para gerar valores finais de vulnerabilidade, assim obtendo a carta de vulnerabilidade natural à perda de solos. Esta equação empírica é expressa pela soma de todas as unidades temáticas analisadas divididas por 5, resultante na média aritmética de valores individuais de cada unidade territorial básica (Equação 1).

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5} \quad (1)$$

Onde:

- V = Vulnerabilidade
- G = vulnerabilidade para o tema Geologia
- R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
- S = vulnerabilidade para o tema Solos
- Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação
- C = vulnerabilidade para o tema Clima

Um dos mais importantes temas estudados é a morfometria, onde segundo Crepani et al. (2001), é necessário a análise e três atributos geomorfológicos que resultam na geomorfologia. Esses três atributos também chamados de índices morfométricos são a dissecação horizontal, amplitude altimétrica e a declividade. Essas informações, estão relacionados a forma do relevo, tais, permitem a quantificação empírica da energia potencial disponível para o escoamento superficial, ou seja, é a transformação de energia potencial em energia cinética, responsável pelo transporte de sedimentos.

Nesse contexto, é dito por Crepani et al. (2001), que a dissecação está ligada à permeabilidade e porosidade do solo interagindo diretamente com o solo e a rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração de águas pluviais, aumentando a quantidade de água em superfície a ser drenada para as áreas mais baixas do terreno. Esse fator implica em um número maior de canais de drenagem, conseqüentemente maior escoamento superficial, o que acarreta maior capacidade erosiva. A dissecação do relevo, pode ser obtida a partir de mediadas, realizadas com o auxílio de imagens de satélite que evidenciam a distância entre os canais de drenagem (amplitude dos interflúvios).

A amplitude altimétrica está relacionada com o aprofundamento da dissecação, ou seja, se torna um forte indicador de energia potencial. Quanto maior for a amplitude altimétrica, maior a energia potencial das águas pluviais, pois as águas decorrentes da

precipitação que caem nos pontos mais altos do terreno adquirirão maior energia cinética até chegar nas partes mais baixas, assim, apresentando maior capacidade de erosão. Crepani et al. (2001), diz que a amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máximas e mínimas contidas no terreno, esse processo realizado a partir de dados altimétricos de modelos digitais de elevação.

Já a declividade está intimamente relacionada com a inclinação do relevo, tendo relação direta com a velocidade da energia potencial, sendo assim, quanto maior a declividade maior a velocidade das águas pluviais, maior a capacidade de transporte de sedimentos, assim, quanto maior a declividade, mais rapidamente a energia potencial se transforma em energia cinética, influenciando na velocidade das massas de água responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo, favorecendo a morfogênese.

## **2.6 Modelos digitais de elevação**

Com o auxílio de estudos geomorfológicos é possível dizer que as qualidades dos resultados obtidos se dão pela qualidade dos dados primários utilizados, ou seja, para se obter resultados mais fidedignos em uma análise é necessário ter primordialmente um levantamento de dados primários de qualidade e de maior detalhe. Geralmente em estudos para a análise da geomorfologia, são utilizados como dados primários as grades retangulares de elevação de dados topográficos. No estudo desses dados, as metodologias de geração, de avaliação e de tratamento estatístico aplicado geram o grau de aproximação de valores próximos à realidade da paisagem, gerando, assim, dados com maior refinamento de aspectos geomorfológicos mais próximos do real (CHEREM, 2008).

Atualmente se dispõe de uma grande gama de modelos digitais de elevação, porém, a qualidade desses dados muita das vezes são diferentes, alguns com baixa qualidade, assim, inviabilizando interpretações dos valores reais. É viável dizer que a semelhança entre os MDEs e o relevo deve ser o mais próximo possível, isso também vale para a análise e representação da rede hidrográfica em ambiente digital por vetores.

Os modelos digitais de elevação são formados por grades retangulares matriciais, onde, cada pixel apresenta um valor numérico geralmente relacionado com a elevação do relevo. Também podem ser formados por grades triangulares vetoriais, sendo associados aos vértices (CHEREM, 2008).

Os dados de MDEs são articulados em formato de grade retangular pela sua aplicabilidade a ferramentas de processamento digital de imagens. As estruturas

computacionais são trabalhadas em modelos com o mesmo tipo de grade das imagens digitais. Também sendo possível a leitura e interação com os dados altimétricos presentes em cada pixel da imagem, valores estes, correspondentes a obtenção por interferometria (CHEREM, 2008).

Autores como Jarvis et al. (2004), Menezes e Coelho Neto (2003), Araújo (2006) e Pinheiro (2006) expressam em seus trabalhos que modelos digitais de elevação também podem ser gerados através de curvas de níveis interpoladas a cartas topográficas, onde, o tamanho de cada pixel, expressamente representa a resolução espacial da imagem, definindo a escala de trabalho. Para que um MDE seja considerado apto a ser utilizado em análises, este deve estar em conformidade a consistência geomorfologia e hidrológica representados como divisores de bacias, elementos côncavos e convexos e também talwegues.

Com o passar dos anos, trabalhos e análises foram sendo feitas para o aperfeiçoamento das técnicas de interferometria por radar, foram gerados dados positivos no que diz respeito ao MDE, possibilitando também a melhoria no tratamento desses dados (JARVIS et al., 2004; PINHEIRO, 2006). No que se diz respeito as formas de tratamento destes dados do MDE, pode ser feito a interpolação dos dados lineares e não-lineares e tratamento não espacial como por exemplo a transformação de Fourier, utilizado por Costa et al. (2005).

O tratamento dos MDEs é feito de acordo com a escala a ser trabalhada, ou seja, para cada escala escolhida, um tratamento específico deverá ser utilizado, e ainda conforme Valeriano e Garcia (2000), é crucial a estratificação do tratamento dos dados. Para o tratamento de uma área de estudo de pequena escala, com menos detalhes é preciso o uso de técnicas de conformidade morfológica com dados de relevos para a escala regional. Já para áreas de estudo com escalas geográficas autores como Pissarra et al. (1999), Valeriano (2002) e (2003), Valeriano e Carvalho Júnior (2003), Politano e Pissarra (2003) e Alves e Castro (2003), dizem que por se tratar de processos locais e com uma demanda maior para análises de escala de vertentes, é necessária a fidelidade morfológica e qualidade melhor de resolução espacial.

Atualmente, é disponibilizado pelo portal da *Alaska Satellite Facility* dados referentes a modelos numéricos de elevação, em resolução espacial de 12,5 m. Autores defendem que os usos de dados de 90 metros podem ser usados em análises com escalas de 1:100.000 e escalas com maiores detalhes que 1:250.000 (JARVIS et al., 2004). É defendido também a correção de pixels em MDEs obtidos através de imagens SRTM, pois os pixels possuem valores altimétricos não genuínos, esses mantendo sua escala original (COSTA et al., 2005). Valeriano (2002) propõe também como outra medida de refinamento da resolução dos dados

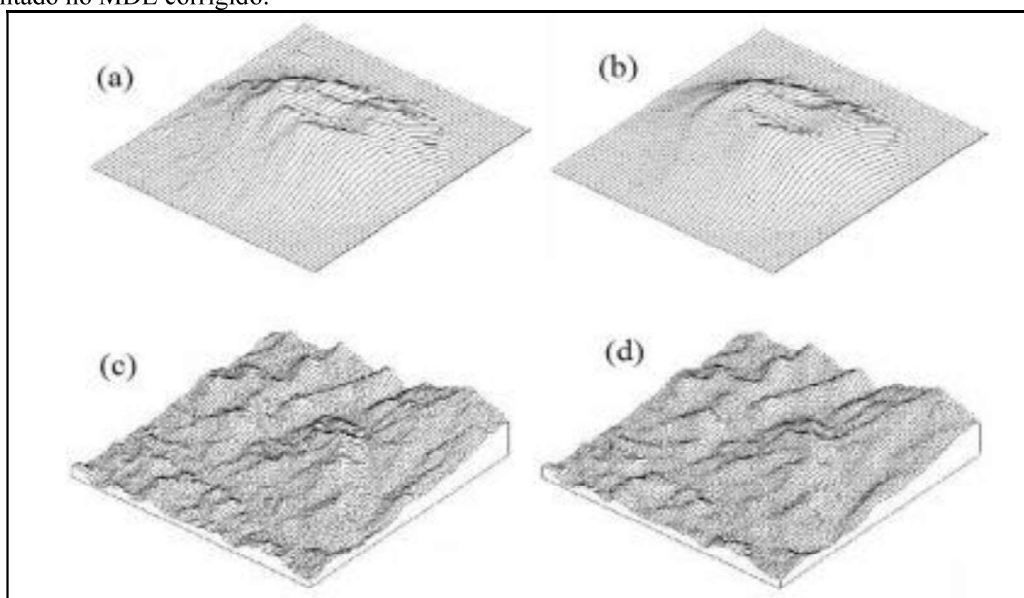
fazendo uso de interpoladores espaciais melhorando a resolução da matriz e também as distorções altimétricas.

Outro ponto a ser analisado é a natureza dos dados topográficos, estes obtidos por radares interferométricos orbitais. Esses sistemas de sensores são passivos, devido a isso, a incidência e a reflexão do radar varia de acordo com a direção e o ângulo da superfície.

Cherem (2008), indica também outras técnicas de melhoramento de dados, sendo uma delas os métodos de transformação de Fourier, que atenua os resíduos das imagens melhorando sua frequência, tendo uma melhor representação de grandes morros, vales e rugosidade do relevo (Figura 4).

Outra técnica citada é a interpolação dos MDEs-SRTM ponderada pelos dados de cartas topográficas, porém, essa técnica apresenta problemas na frequência de valores altimétricos. Para corrigir esse aspecto é utilizado interpoladores lineares que são de fácil aplicação, entretanto, as informações topográficas ficam prejudicadas pelo agrupamento de valores específicos. Outra forma de correção segundo Valeriano (2002), é a utilização de interpoladores geoestatísticos, como por exemplo, a krigagem. Esse modelo de correção gera um MDE com frequência normal para valores altimétricos, excluindo valores nulos, como por exemplo pixels com valor 0. Esse modelo suaviza o relevo, excluindo valores de picos e talwegues, estes que representam feições importantes da morfologia. Porém, mantém atributos necessários para as variáveis geomorfológicas, com isso ele confere resultados viáveis para estudos geomorfológicos de escala regional, onde melhora os dados SRTM.

Figura 4 -Morfologia atenuada pela transformação inversa de Fourier: (a) Morro de São José/RJ no MDE-SRTM original; (b) Morro de São José no MDE corrigido; (c) relevo movimentado no MDE-SRTM original; (d) relevo movimentado no MDE corrigido.



Fonte: Costa et al. (2005, p.17).

### 3. Metodologia

#### 3.1 Contextualização histórica e fisiográfica da área

Dentre os municípios que contemplam a área de estudo, a sede municipal de Doverlândia está instaurada dentro da bacia do Rio do Peixe. Doverlândia tem uma história que remonta a 1949, com o surgimento do povoado do Rio do Peixe, onde um fazendeiro chamado Sr. Manoel Ribeiro Campos comprou alguns alqueires de terras e construiu sua casa às margens do Rio do Peixe, lugar onde passou a residir com sua família. Em 1951 ficou pronto o campo de aviação construído pelo Sr. Manoel. A ideia de construir o campo de aviação surgiu devido às dificuldades enfrentadas por sua família nas estradas, onde o trânsito era praticamente impossível; nesse mesmo ano foi quando desceu o primeiro avião naquela localidade (CARNEIRO, 2012; EIBH, 2010).

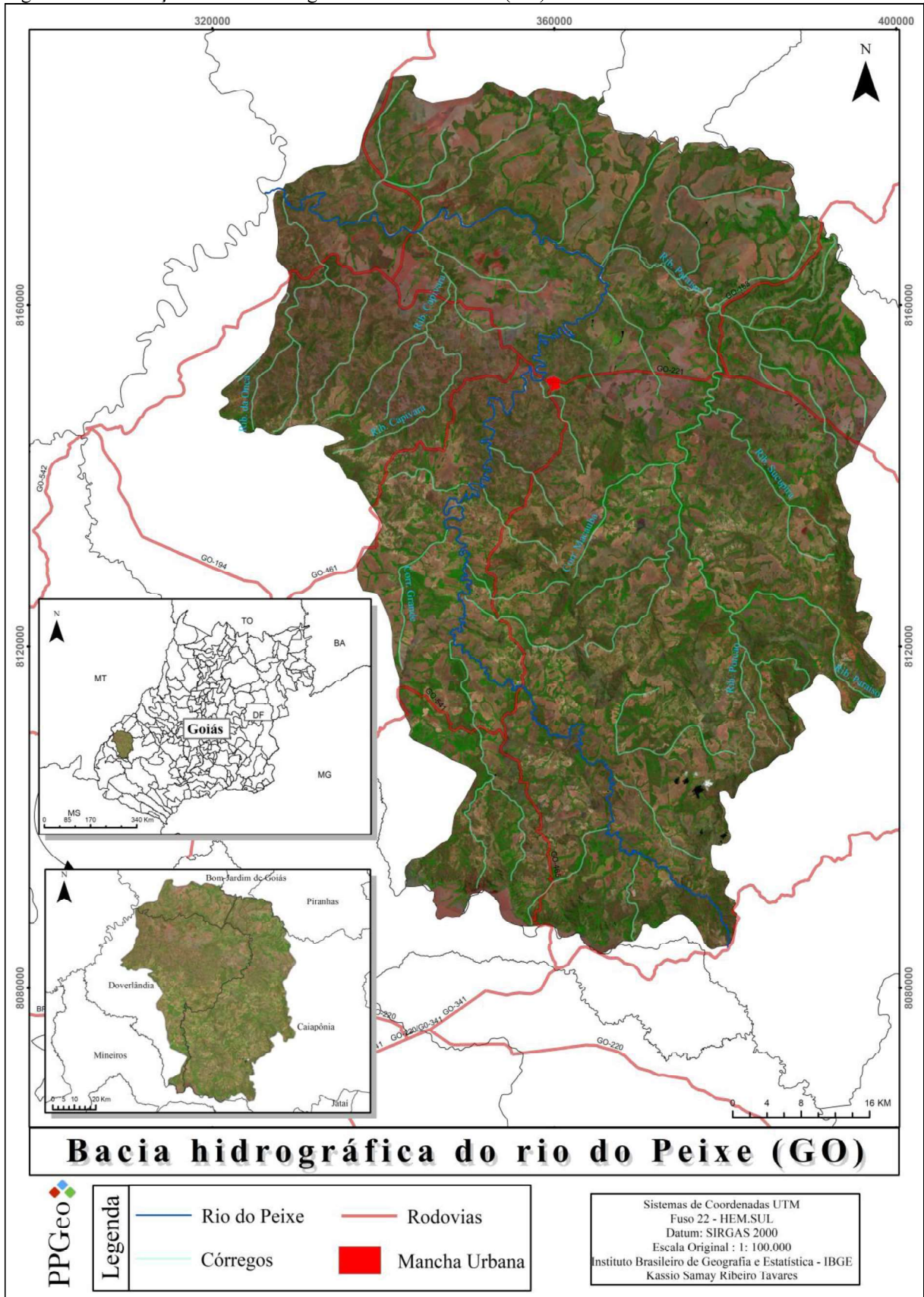
Depois de mais ou menos 10 anos, após a chegada do Sr. Manoel, inseriu-se na região o Sr. Dovercino Borges que, por sua ligação política com Caiapônia, estabeleceu ações como político. Caiapônia era o município ao qual pertencia o povoado do Rio do Peixe (Doverlândia, 2017).

Em 1969, o povoado do Rio do Peixe com o apoio do então prefeito Fuad Nasser, se tornou distrito, onde passou a se chamar Doverlândia, nome dado em homenagem ao líder político da época, Sr. Dovercino Borges. Devido a incentivos governamentais em prol da interiorização do Centro-Oeste brasileiro, os moradores do novo distrito, percebendo que Doverlândia era um lugar promissor, passaram a batalhar pela emancipação da cidade, que ocorreu em 1982. Assim, Doverlândia passou a ser um município político administrativamente independente (EIBH, 2010).

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, envolvendo parcialmente os municípios de Caiapônia e Baliza, estes no estado de Goiás, compreendendo, aproximadamente, uma área de 5 140 km<sup>2</sup> (Figura 5) (EIBG, 2010).

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).

Figura 5 - Localização da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



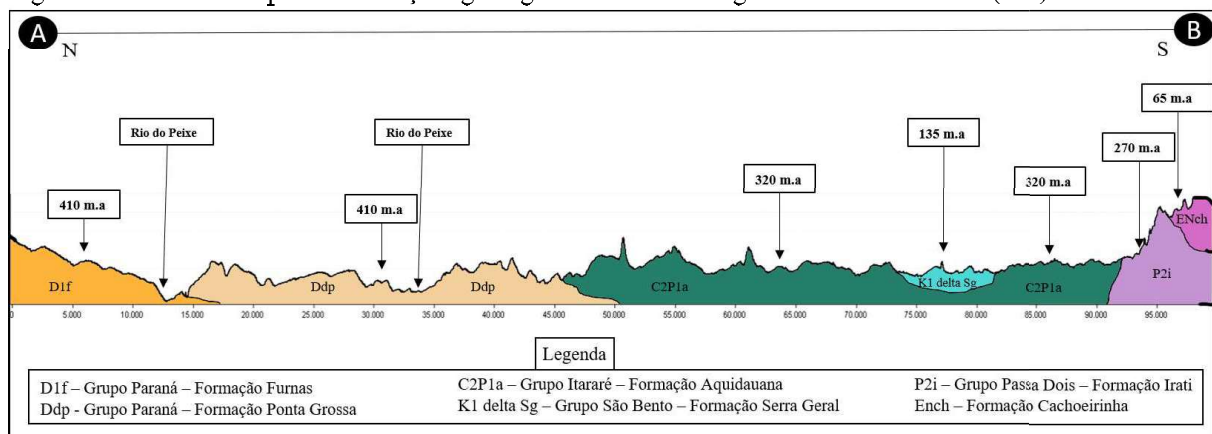
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.1.1 Geologia

De acordo com Faria (2006, 2011) e Carneiro (2012), a área da alta bacia hidrográfica do rio Araguaia, da qual faz parte a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, está inserida parte na bacia sedimentar do Paraná, parte na província do Tocantins e em parte nas coberturas inconsistentes e inconsolidadas de textura argilosa a média, sendo da idade geológica Cenozoica. A bacia do Paraná é alocada e desenvolvida sobre a crosta continental, tornando-a não muito afetada por efeitos tectono-térmicos mais agudos (CARNEIRO, 2012).

De acordo com os dados do serviço geológico do Brasil (CPRM) para o estado de Goiás, a bacia hidrográfica do Rio do Peixe apresenta um total de sete formações, que são elas: formações Vila Maria do grupo Rio Ivaí (435 m.a.); formações Furnas e Ponta Grossa do grupo Paraná (410 m.a.); formações Aquidauana do grupo Itararé (320 m.a.); formações Irati do grupo Passa Dois (270 m.a.); formações Serra Geral do grupo São Bento (135 m.a.); formação Cachoeirinha (65 m.a.) e depósitos aluvionares. A cronologia de idades dessas formações está evidenciada na figura 6.

Figura 6 – Linha do tempo das formações geológicas da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A bacia hidrográfica do Rio do Peixe está localizada em poucas regiões sobre substratos de folhelhos, referentes à Formação Irati do grupo Passa Dois e, em sua maioria, sobre substratos areníticos da bacia sedimentar do Paraná, por isso, pode ser considerada como mais vulnerável à dissecação erosiva, levando também em consideração a pedologia no local ser de solos arenosos (LACERDA FILHO et al., 1999) (figura 7).

A Formação Vila Maria do grupo Rio Ivaí, de maior idade geológica, é representada em menor quantidade na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, correspondendo a 0,01% da área

(tabela 1). Essa formação localiza-se em uma pequena parte no nordeste da bacia hidrográfica, sendo de sequência mais antiga com presença de argilitos siltitos e folhelhos, vistos no encontro com a Formação Furnas (LACERDA FILHO et al., 1999).

A Formação Furnas, referente ao grupo Paraná, representa 17% da área, ocorrendo em áreas isoladas e assentadas sobre embasamentos pré-cambrianos e bacias paleozoicas. Nesta formação são encontradas basicamente rochas sedimentares como os arenitos, conglomerados e siltitos formados por deposições arenosas (LACERDA FILHO et al., 1999).

A Formação Ponta Grossa, também pertencente ao grupo Paraná, encontra-se paralela a Formação Furnas, com quase 33% é a segunda maior em área na bacia hidrográfica. Em sua extensão é encontrado folhelhos em vasta quantidade e também arenitos, decorrentes da influência da Formação Furnas. Essa formação é afetada por intensa ação erosiva e acidentes estruturais (ALVARENGA; GUIMARÃES, 1994).

A Formação Aquidauana do grupo Itararé é predominante representada por 45% do território, recobrando sedimentos da Formação Furnas. Nessa formação é encontrada basicamente arenitos médios a grossos, feldspáticos, associados a siltitos, de origem fluvial e lacustre, encontram-se também conglomerados, diamictito e folhelho. Lacerda e filho et al. (1999) dizem que nessa formação existem erosões diferenciadas, devido a presença dos níveis silicificados, formando conjuntos de morros testemunhos.

A Formação Irati do grupo Passa Dois ocorrem em toda porção superior da Serra do Caiapó, inserida na região sul da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Essa formação ocorre em 0,6 % da área, representados por folhelhos e sedimentos de origem lacustre (LACERDA FILHO et al., 1999).

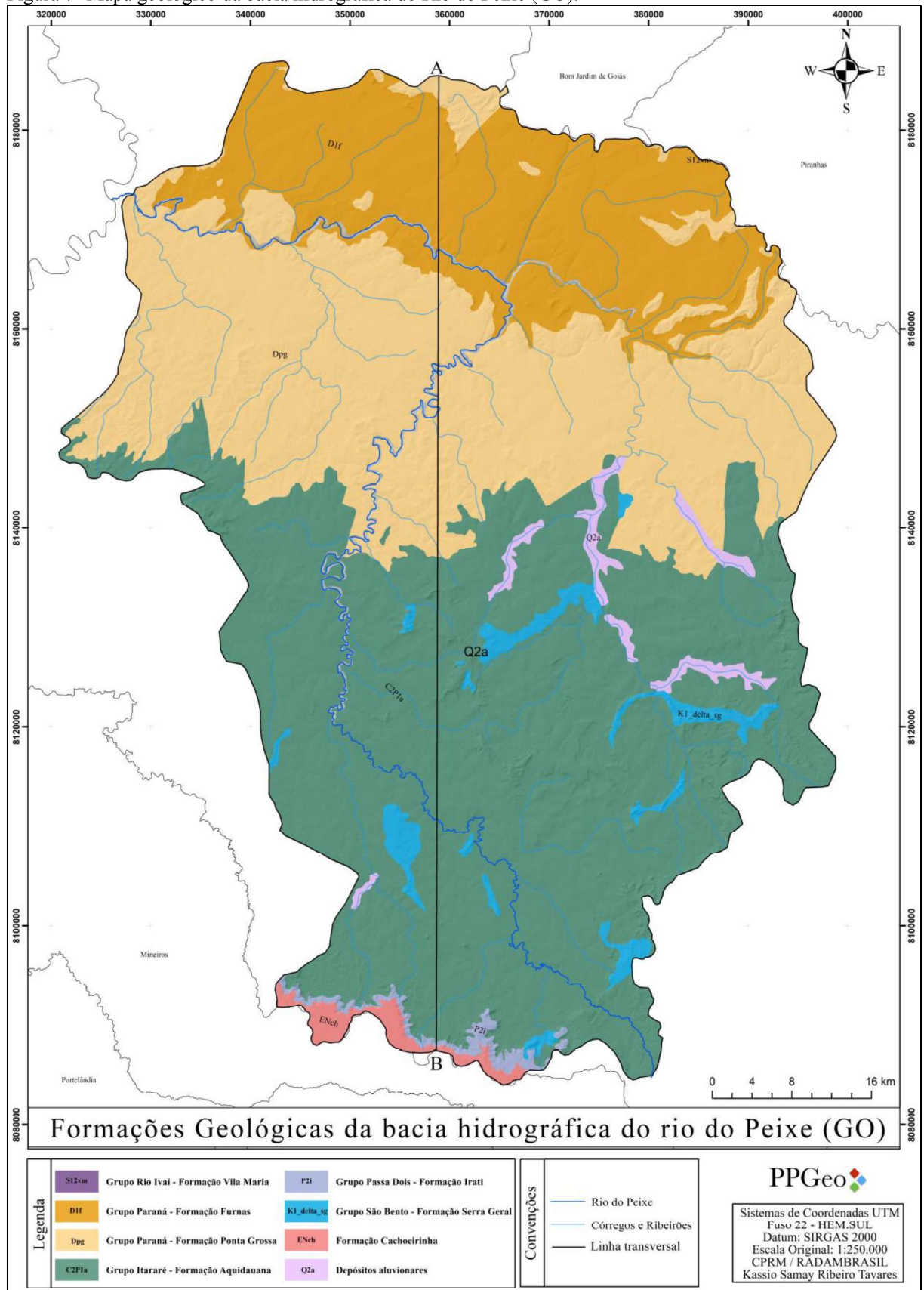
A Formação Serra Geral do grupo São Bento compreende 2% da área, representados por rochas ígneas e vulcânicas em ocorrência na Bacia do Paraná, sobrepondo a Formação Aquidauana, através de derrames basálticos (LACERDA FILHO et al., 1999).

Tabela 1 – Grupos e formações Geológicas e sua distribuição na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

<b>grupos geológicos</b>	<b>total em km<sup>2</sup></b>	<b>porcentagem (%)</b>
Grupo Rio Ivaí - Formação Vila Maria	0,065	0,01%
Grupo Paraná - Formação Furnas	879,37	17,24%
Grupo Paraná - Formação Ponta Grossa	1653,31	32,42%
Grupo Itararé - Formação Aquidauana	2322,32	45,54%
Grupo Passa Dois - Formação Irati	33,36	0,65%
Grupo São Bento - Formação Serra Geral	105,11	2,06%
Formação Cachoeirinha	40,33	0,79%
Depósitos aluvionares	65,57	1,28%
<b>total</b>	<b>5099,435</b>	

Fonte: Organizado pelo autor, 2020

Figura 7- Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A Formação Cachoeirinha é descrita por Gonçalves e Schneider (1970) como uma região definida por sedimentos inconsolidados que ocorrem na Bacia do Paraná. Na bacia hidrográfica do Rio do Peixe são encontrados sedimentos areno-argilosos e conglomerados, bem como arenitos, argilitos e depósitos de areia, alocados em regiões aplainadas como cobertura de planaltos da Bacia do Paraná.

### 3.1.2 Compartimentos geomorfológicos

A compartimentação geomorfológica da 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), esses compartimentos na área da bacia hidrográfica 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 (figura 8).

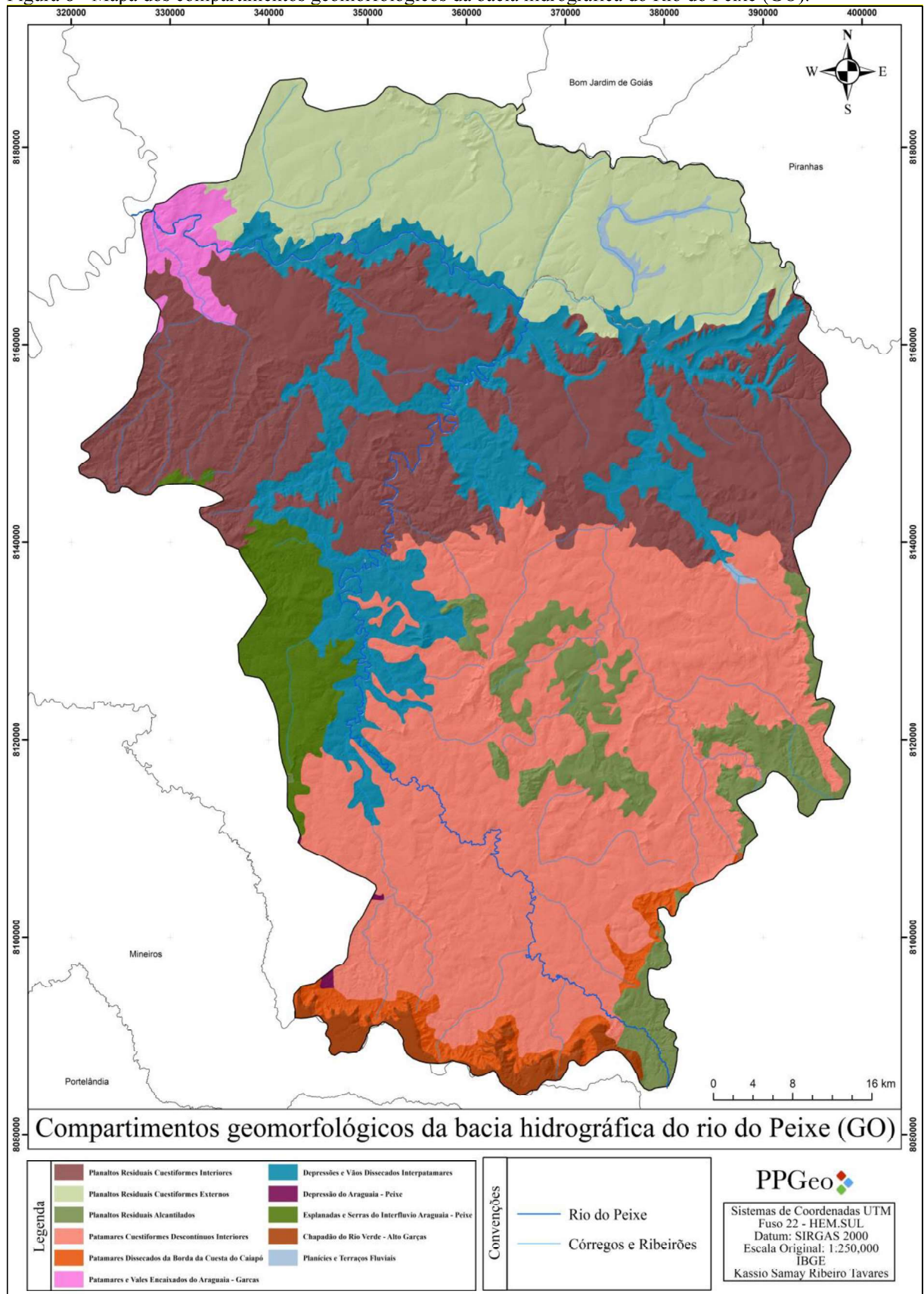
Na tabela 2, encontram-se representados as porcentagens de cada compartimento na área de estudo. Os Planaltos, em sua totalidade, ocupam 46% da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, seguido de Patamares com 40% da área; Depressões totalizam 13,2%; Esplanadas e Serras 4%; O Chapadão do Rio Verde com 1% e as Planícies que expressam 0,4% da área de estudo.

Tabela 2 - Compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

<b>compartimentos geomorfológicos</b>	<b>total em km<sup>2</sup></b>	<b>porcentagem (%)</b>
Planaltos Residuais Cuestiformes Interiores	1291,083814	25%
Planaltos Residuais Cuestiformes Externos	791,825824	15%
Planaltos Residuais Alcantilados	299,544261	6%
Patamares Cuestiformes Descontínuos Interiores	1642,606324	32%
Patamares Dissec. da Borda da Cuesta do Caiapó	90,044063	2%
Patamares e Vales Enc. do Araguaia - Garças	76,08915	1%
Depressões e Vãos Dissecados Interpatamares	659,679054	13%
Depressão do Araguaia - Peixe	2,591577	0,2%
Chapadão do Rio Verde - Alto Garças	64,845279	1%
Esplanadas e Serras do Interf. Araguaia - Peixe	180,671329	4%
Planícies e Terraços Fluviais	21,3792	0,4%
<b>Total</b>	<b>5120,350683</b>	

Fonte: Organizado pelo autor, 2020.

Figura 8 - Mapa dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os Planaltos Residuais Cuestiformes Interiores correspondem ao segundo planalto da borda setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná. Apresenta relevo plano e de dissecção esculpida predominantemente na Formação Ponta Grossa, com densidade de drenagem que varia de fraca a mediana. Planaltos Residuais Cuestiformes Externos se moldam em litologias da Formação Furnas, apresentando índices de dissecção baixos, com baixa densidade de drenagem e pouco aprofundamento. Localmente ocorrem vales mais profundos associados a alinhamentos estruturais. Os Planaltos Residuais Alcantilados são formados por relevos topograficamente mais rebaixados que o front da cuesta do Caiapó e mais elevados que os patamares que o circunda, sendo esculpidos em rochas da Formação Aquidauana (IBGE, 2018).

Os Patamares Cuestiformes Descontínuos Interiores abrangem extensas áreas com falhas e fraturas, moldadas em litologias da Formação Aquidauana, posicionadas entre os patamares esculpidos em litologias da Formação Ponta Grossa. As características litoestruturais da área influenciam para relevos em patamares, com trechos de aplainamento e áreas com índices de dissecção que variam de fraco a forte. Patamares Dissecados da Borda da Cuesta do Caiapó correspondem a patamares que acompanham o front da Cuesta do Caiapó, apresentando relevos com alta amplitude e índices de dissecção forte a muito forte. Já os Patamares e Vales Encaixados do Araguaia correspondem à área mais rebaixada da região dos patamares alcantilados, predominam topos planos e com baixa densidade de drenagem. Apresentam formações superficiais rasas, predominantemente arenosas, derivadas de processos de intemperismo com desagregação granular (IBGE, 2018).

As Depressões e Vãos Dissecados Interpatamares apresentam um segmento oriental e outro ocidental, drenados por rios que nascem junto à cuesta do Caiapó. O segmento ocidental é drenado pelo Rio do Peixe e seus afluentes. Apresentam depressões alojadas entre os relevos monoclinais dos patamares, com aprofundamento de drenagem muito fraco a fraco e declives baixos a medianos. Depressões do Araguaia – Peixe, refere-se a um compartimento rebaixado com formas de relevo dissecados e esculpidos em arenito da Formação Aquidauana (IBGE, 2018).

O Chapadão do Rio Verde é formado por planaltos em estruturas monoclinais, com compartimentos elevados, topos tabulares e homogêneos. O aprofundamento da drenagem é modesto e a densidade dos canais de drenagem é baixa (IBGE, 2018).

As Esplanadas e Serras do Interflúvio Araguaia são representadas por formas de relevo de topos tabulares e de baixa densidade de drenagem, esculpidas em rochas da Formação Aquidauana, predominam formações superficiais homogêneas e espessas. Por fim, as

Planícies e Terraços Fluviais, que são caracterizadas por depósitos sedimentares fluviais, ocorrendo principalmente ao longo de rios e ribeirões.

### 3.1.3 Solos

A bacia hidrográfica do Rio do Peixe apresenta em maior quantidade os Latossolos, com 2332,06 km<sup>2</sup> de área, os quais podem ser divididos em Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho distrófico férrico e Latossolo Háptico (figura 9 e tabela 3). Os solos do tipo Latossolo Vermelho apresentam textura argilosa, com o horizonte A moderado e álico, ocupando principalmente relevos de topografia plana, sendo usado na maioria das vezes para pastagens e culturas agrícolas por conta da facilitada mecanização.

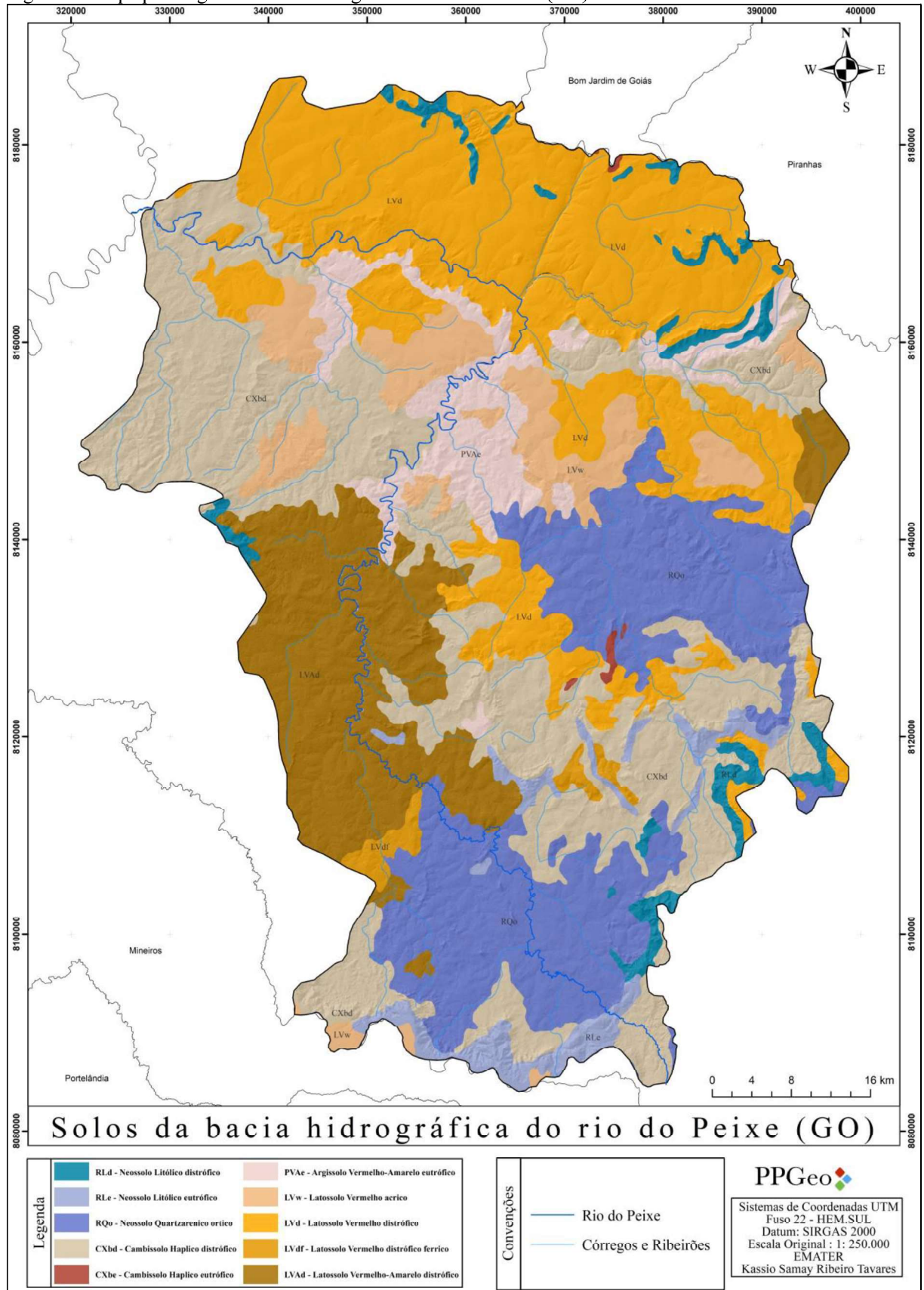
Tabela 3 – Solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

Solos	total em km <sup>2</sup>	porcentagem (%)
Neossolo Litólico eutrófico	133,47	2,60%
Neossolo Litólico distrófico	120,42	2,34%
Neossolo Quartzarênico Órtico	894,63	17,41%
Cambissolo Háptico distrófico	1341,09	26,10%
Cambissolo Háptico eutrófico	7,2	0,14%
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	291,72	5,68%
Latossolo Vermelho distrófico	1324,25	25,77%
Latossolo Vermelho distrófico férrico	46,48	0,90%
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	634,95	12,36%
Latossolo Vermelho Ácrico	326,37	6,35%
<b>Total</b>	<b>5138,8</b>	

Fonte: Organizado pelo autor, 2020

A região apresenta quatro tipos de solos predominantes: Cambissolo Háptico distrófico (26,1%), Latossolo Vermelho distrófico (25,8%), Neossolo Quartzarênico órtico (17,4%) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (12,4%). O Cambissolo Háptico distrófico é caracterizado 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. O Latossolo Vermelho distrófico e o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico 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 quartzarênico órtico 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.

Figura 9 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

### 3.1.4 Altimetria

No mapa de altimetria (figura 10), foi feita a compartimentação em sete unidades altimétricas, de modo que fosse evidenciado o modelo do relevo. A altitude da bacia hidrográfica do Rio do Peixe varia de 374 a 999 m, com predominância na área de altitudes acima de 681 m, bem delimitadas nas extremidades norte, sul e leste. A porção oeste é representada por um relevo suave e altitudes abaixo de 624 m. A tabela 4 mostra a distribuição dos valores altimétricos.

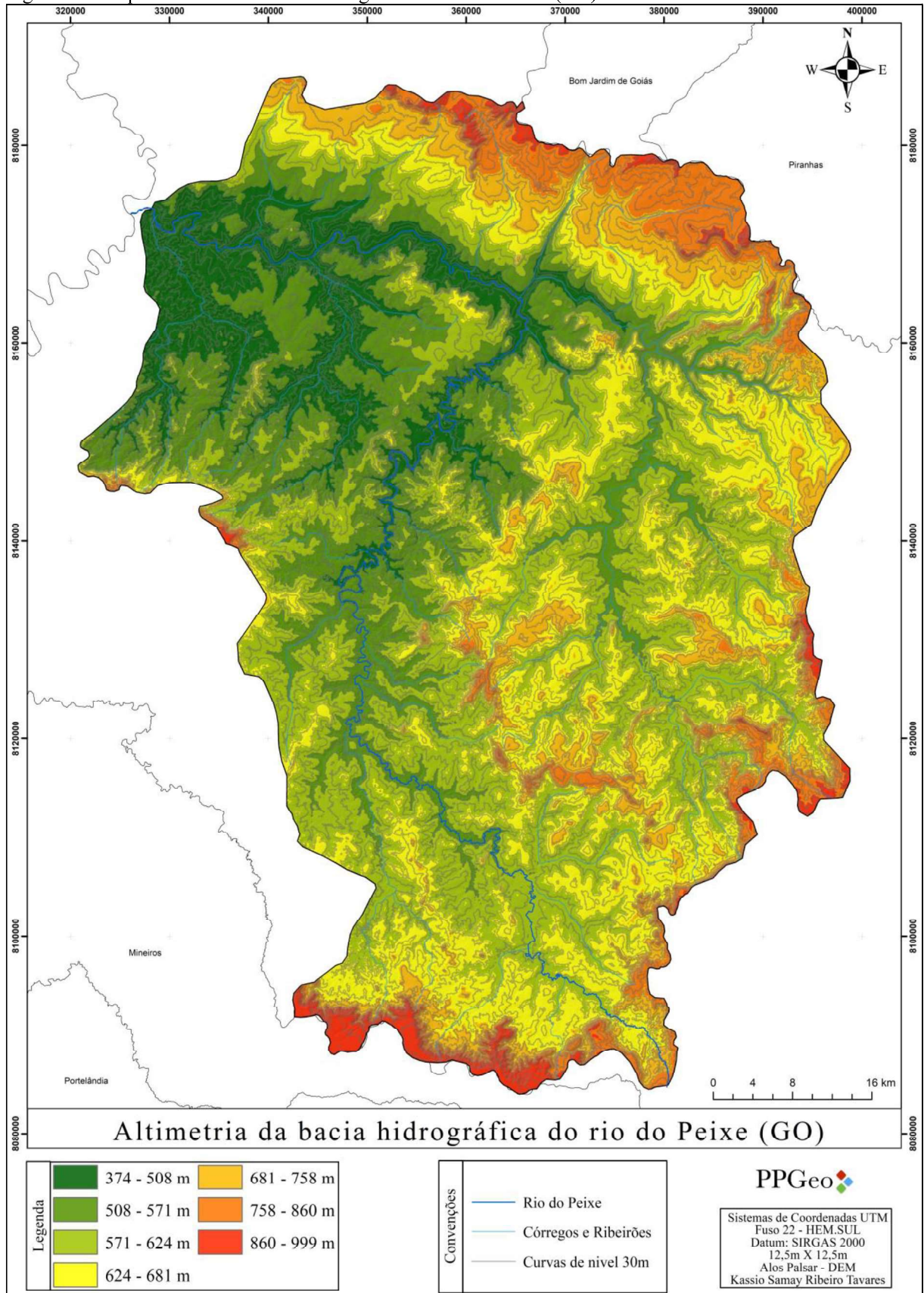
Tabela 4 – Altitudes da bacia hidrográfica do Rio do Peixe.

altitudes (m)	total em km <sup>2</sup>	porcentagem (%)
758 - 860	1935,081	34,09%
571 - 624	931,2478	16,41%
624 - 681	792,3123	13,96%
860 - 999	703,673	12,40%
508- 571	609,4119	10,74%
681 - 758	358,6913	6,32%
374 - 508	346,331	6,10%
<b>total</b>	<b>5676,7483</b>	

Fonte: Organizado pelo autor, 2020

As baixas altitudes estão, em sua maioria, próximas ao exutório da bacia hidrográfica, localizado a oeste e noroeste, marcado por relevo plano e suavemente ondulado. As maiores altitudes são observadas ao sul, nas encostas da serra do Caiapó, em área de zona de erosão recuante, caracterizada pelo alto declive. A leste observa-se uma heterogeneidade e desníveis abruptos, com grande variação altimétrica em curtos espaços horizontais, enquanto nas demais há uma variação sutil entre as altitudes.

Figura 10 - Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

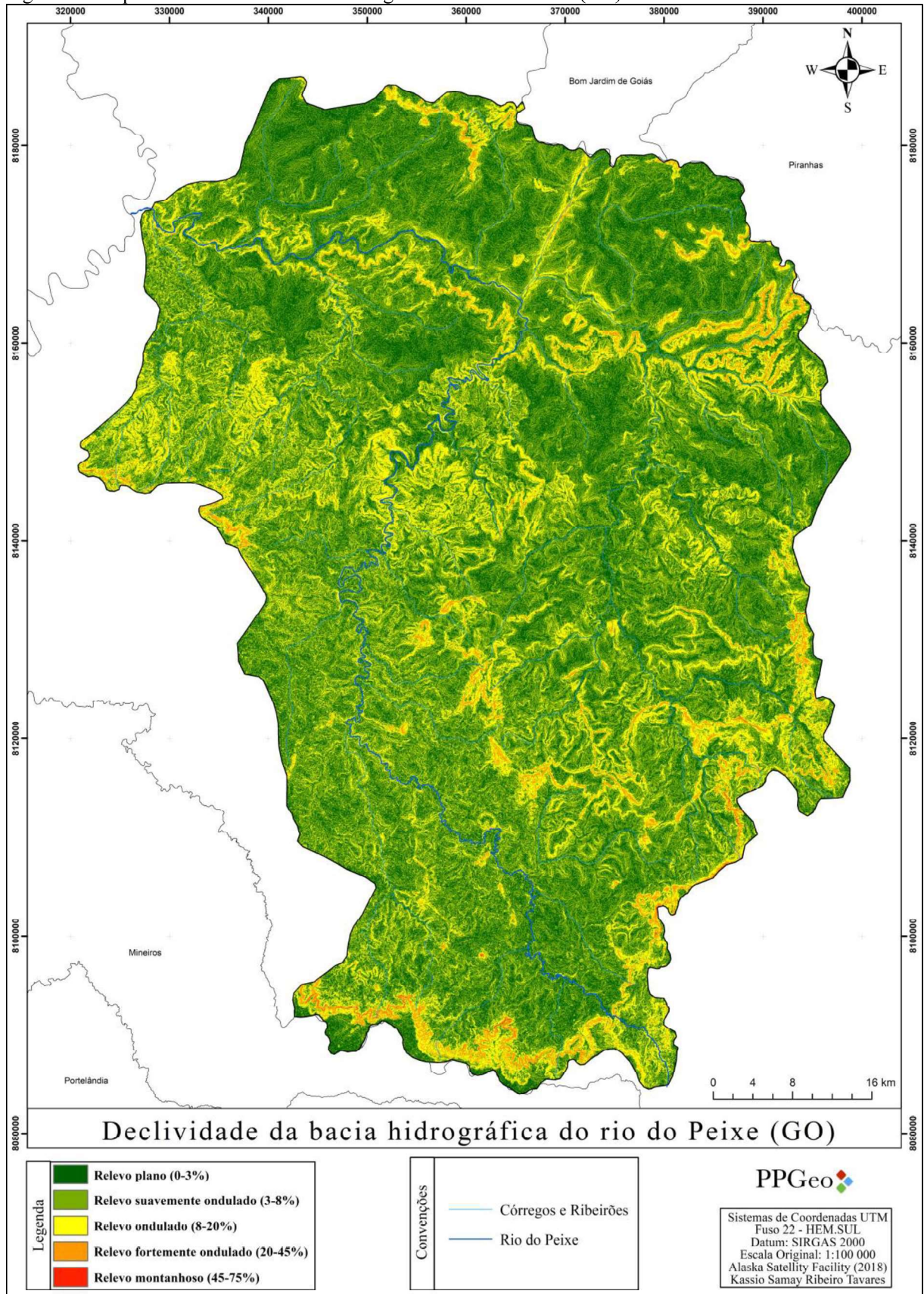
### 3.1.5 Declividade

A declividade máxima da região chega até 73,1%, sendo predominantemente de relevo plano e suavemente ondulado. O relevo ondulado, ou seja, mais movimentado apresenta uma pequena parte da área, sendo maior somente que a do relevo fortemente ondulado (figura 11).

A área é geomorfologicamente bastante dissecada e arrasada, com terrenos não favoráveis à erosão, a não ser pelos locais mais declivosos que são correspondentes às escarpas das superfícies regionais de aplainamento, encontradas nas cabeceiras dos tributários do Rio do Peixe (CARNEIRO, 2012).

As declividades de relevo fortemente ondulado e montanhoso são expressas, basicamente, nas regiões de maiores altitudes, observadas ao nordeste, leste e na cabeceira da Serra do Caiapó. Nesse mesmo local é vista grande quantidade de nascentes dos tributários da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, localizadas em superfícies regionais de aplainamento com dissecação forte.

Figura 11- Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

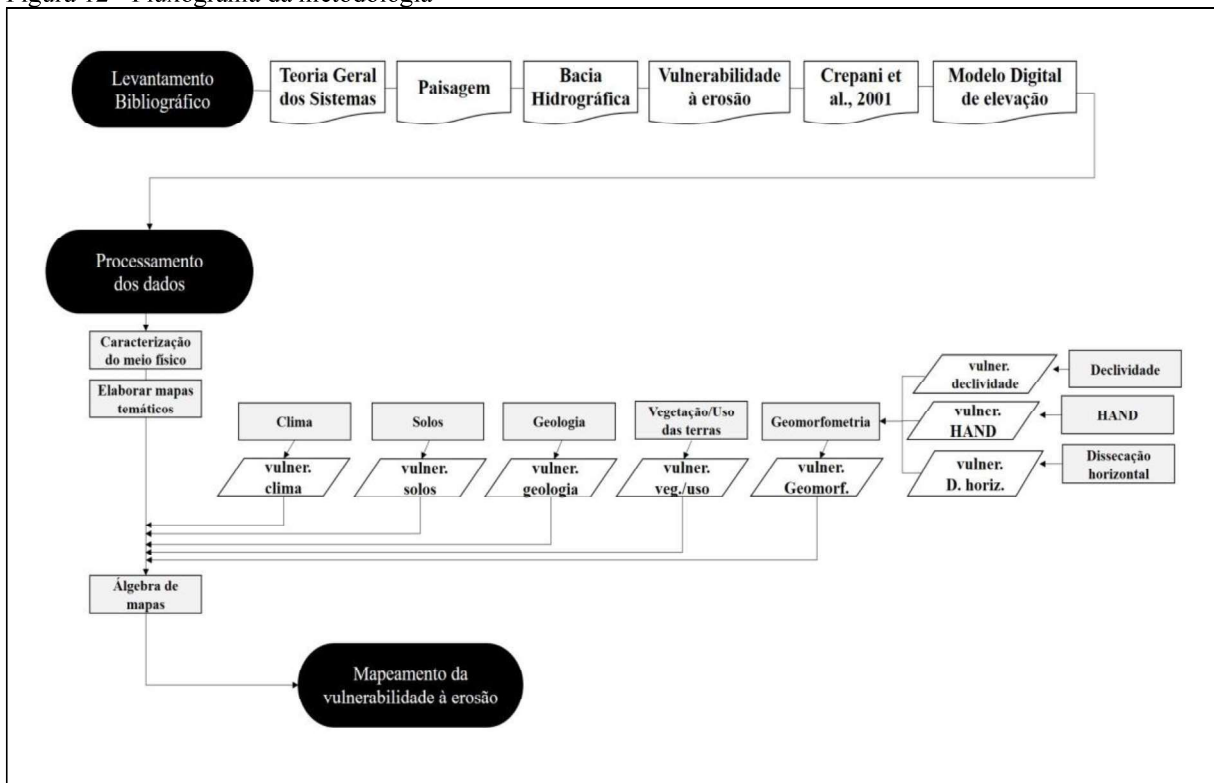


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Metodologia Escolhida

Para o desenvolvimento da pesquisa, dividiu-se a metodologia em duas etapas: levantamento bibliográfico, que foram apresentados na seção 2 e processamento dos dados (figura 12). 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 Sistemas 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 12 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para a geração do mapa de vulnerabilidade à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, foi utilizada a metodologia proposta por Crepani et al. (2001). A elaboração desse mapa, bem como todo o processamento anterior, foi viabilizada por meio da utilização, principalmente, dos programas computacionais, que consistem em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como, por exemplo o ArcGis, Terraview e Spring, dentre outros.

### 3.2.1 Processamento dos dados

Seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001), propõe-se a elaboração dos mapas de clima, geomorfologia, geologia, solos e tipos de vegetação/uso das terras. Posteriormente, a elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solos.

#### 3.2.1.1 Clima

Para o mapa referente ao fator clima, realizaram-se as seguintes etapas: a) Aquisição de dados de chuvas e precipitação por meio de séries históricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA); b) Tratamento dos dados referentes a no mínimo 30 anos (1987 a 2018), utilizando o programa de planilhas Excel; c) Utilização do programa ArcGis 10.3/ESRI para a interpolação e espacialização dos dados; d) Geração do mapa referente à intensidade pluviométrica.

Foram coletados dados de oito estações meteorológicas pluviométricas, instaladas dentro da respectiva bacia e também em seu entorno, abrangendo os municípios vizinhos, para que a interpolação dos pontos cobrisse toda a área de estudo.

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, aplicou-se 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 intensidade pluviométrica foram especializados com o auxílio do programa ArcGis 10.3/ESRI, no qual foram atribuídos os valores da respectiva vulnerabilidade (quadro 1), seguindo a proposta metodológica dos autores de referência, Crepani et al. (2001).

Quadro 1- Valores de vulnerabilidade para a intensidade pluviométrica.

<b>intensidade pluviométrica (mm/mês)</b>	<b>vulnerab.</b>	<b>intensidade pluviométrica (mm/mês)</b>	<b>vulnerab.</b>	<b>intensidade pluviométrica (mm/mês)</b>	<b>vulnerab.</b>
< 50	1	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

### 3.2.1.2 Geomorfometria

Como já evidenciado anteriormente, o mapa de geomorfométrico é dividido em três parâmetros que, depois de aplicada a equação (equação 2), resulta no mapa geomorfométrico. O primeiro parâmetro refere-se à declividade, o segundo ao de amplitude altimétrica, o qual foi adaptado para a distância acima da drenagem mais próxima (HAND), por fim o terceiro parâmetro dissecação do relevo, sendo aplicada a metodologia de automatização para a obtenção do mesmo. Para a elaboração destes mapas foi utilizado às imagens do banco de dados do *Alaska Satellite Facility's*, bem como o modelo digital de terreno Alos Palsar 12,5m.

$$R = \frac{D + H + DH}{3} \quad (2)$$

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 se obter o mapa de declividade e os seus respectivos valores foram executados os seguintes passos, a) Utilização do programa ArcGis 10.3/ESRI para geração do mapa de declividade; b) Tratamento e classificação dos dados; c) Geração do mapa final de declividade.

Para este tema utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), e com o auxílio do software ArcGis 10.3/ESRI foi aplicado a ferramenta *slope*, assim gerando os valores de declividade da área em porcentagem (%). Posteriormente, atribuído os valores de vulnerabilidade de cada valor do declive (quadro 2), conforme proposto por Crepani et al. (2001).

Quadro 2- Valores de vulnerabilidade para declividade

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
-------------	-----	-------------	-----	-----	-----

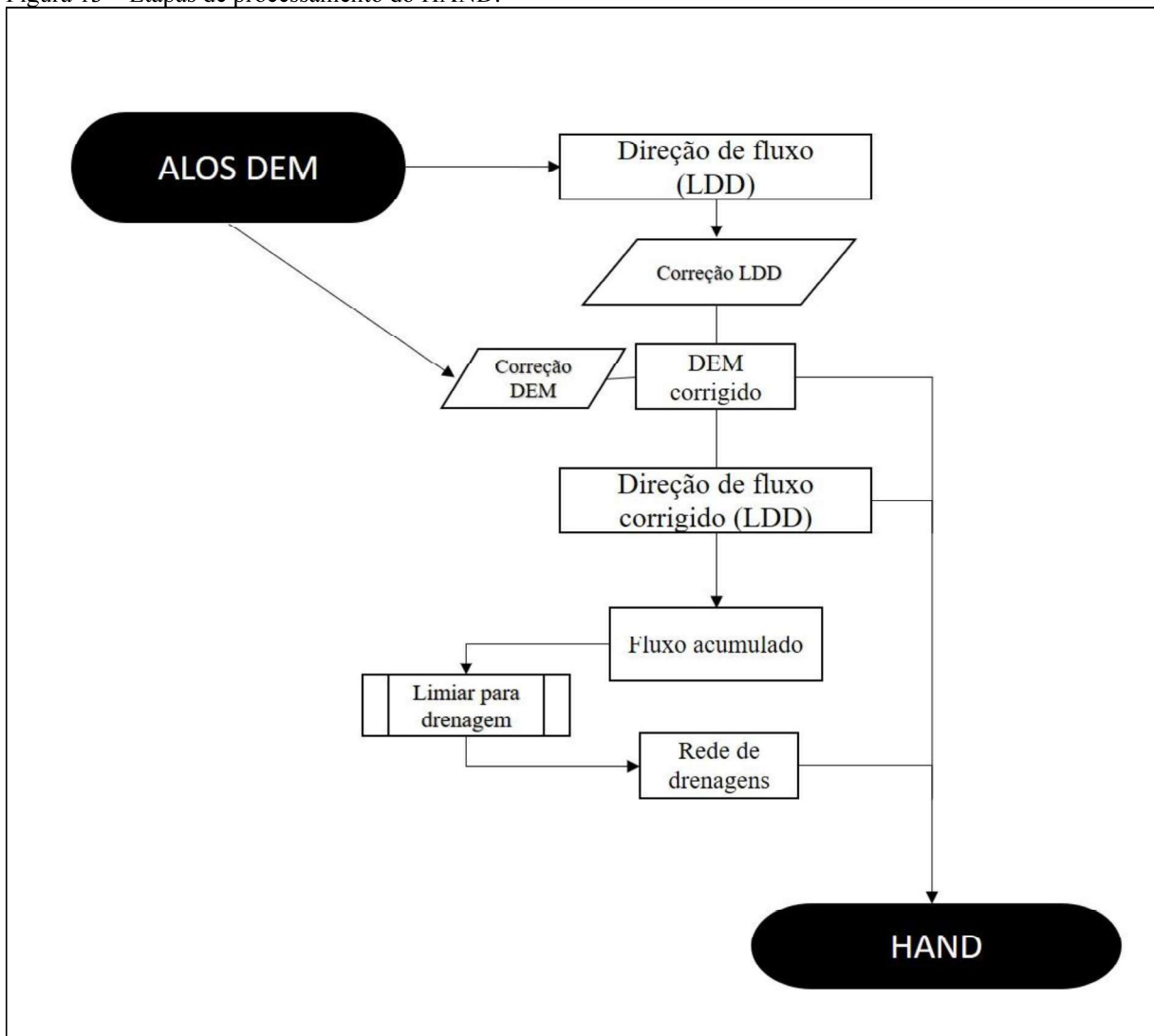
Fonte: Crepani et al. (2001).

## B) HAND

Elaborou-se o mapa de distância acima da drenagem mais próxima (HAND) a partir de Batista (2012); seguindo os seguintes passos, a) Utilização do *software* Terraview 0.4.2 para o tratamento dos dados; b) Classificação do arquivo em programa SIG; c) Geração e finalização do mapa HAND, para sugestão de adaptação desse fator.

Como já foi mencionado anteriormente, o mapa de amplitude altimétrica proposto para a equação de Crepani et al. (2001) foi adaptado fazendo uso do mapa de dados de distância sobre a altura ou distância vertical à drenagem mais próxima, chamado de HAND. As etapas utilizadas para esse tema estão descritas a seguir, bem como na figura 13.

Figura 13 – Etapas de processamento do HAND.



Fonte: Rennó et al. (2008).

Para o processo inicial foi utilizado o programa Terraview-TerraHidro 0.4.2 e 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 com o auxílio das ferramentas disponíveis no software, foram feitas as correções do MDE e com o auxílio da ferramenta *Hydrological Tools* foi gerado as grades de direção de fluxo (*Corrected LDD*). A partir dos dados de direção de fluxo, a direção de fluxo acumulado (*Accumulated area grid*) é obtida, sendo possível adquirir a rede de drenagem (*Drainage Network*), que através de testes para a área de estudo, foi aplicando limiar 50 objetivando um nível de detalhe de drenagens para a área de estudo. A rede de drenagem, as direções de fluxo e de fluxo acumulado e o modelo digital de elevação corrigido são utilizados para a geração das alturas de diferença relativa, que correspondem ao modelo HAND.

Através dessa junção foi possível obter os valores referentes ao HAND, tanto o limiar aplicado quanto a metodologia para esta obtenção foram baseados no trabalho de Rennó et al. (2008). Com os dados obtidos, foi feita a exportação dos dados em modelo TIFF, o qual foi importado para o ArcGis 10.3/ESRI, classificado e finalizado atribuindo os valores de vulnerabilidade (quadro 3), adaptada com base em Crepani et al. (2001).

Quadro 3- Valores de vulnerabilidade para o HAND

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

Fonte: Metodologia adaptada pelo autor com base em Crepani et al. (2001)

### C) Dissecação horizontal

Para se obter os valores do índice de dissecação horizontal do relevo se fez a utilização da metodologia de automatização para este parâmetro, tomando por base o artigo “Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo” (GUIMARÃES, et al., 2017), que baseado em Ross (1994) gera valores referentes ao entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média. A partir da junção desses, obtém-se o mapeamento do índice de dissecação do relevo. De acordo Crepani et al. (2001), dissecação horizontal do relevo está

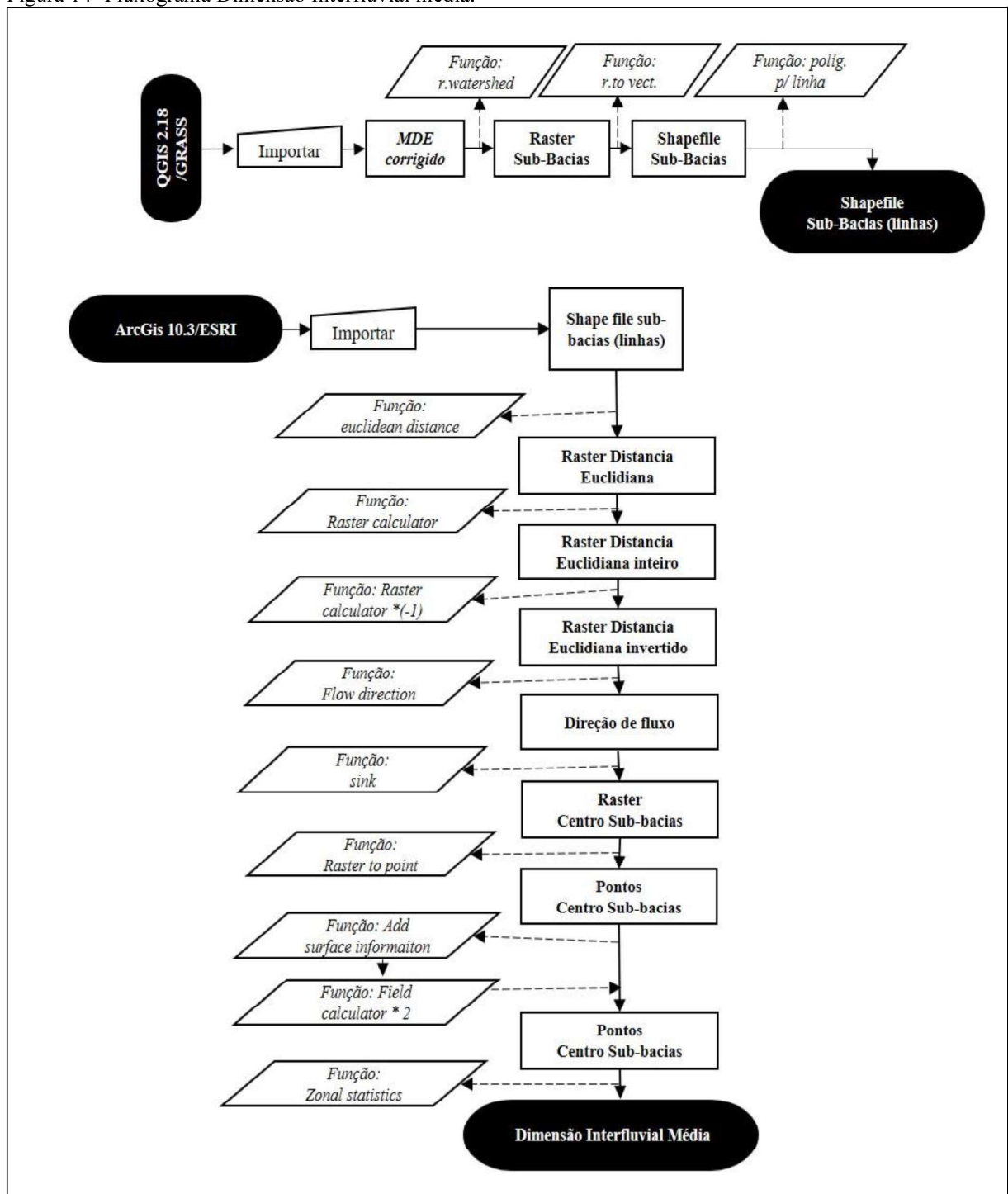
ligada a porosidade e permeabilidade do solo e da rocha. Constitui-se em um parâmetro morfométrico que utiliza como princípio o entendimento de que a proximidade entre os cursos d'água resulta em maior potencialidade para a movimentação de materiais constituintes do relevo, levando isso em consideração, o rio atua como um agente de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

O processo para a obtenção dos valores de dissecação horizontal é iniciado com a delimitação das bacias hidrográficas da área de estudo (figura 14). Para essa etapa, fez-se uso de dois *softwares* de geoprocessamento: ArcGis 10.3/ESRI e QGIS 2.18/GRASS.

Fez-se a delimitação das sub-bacias utilizando o software QGIS 2.18/GRASS. 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 parâmetro de elevação foi selecionado o MDE corrigido. Para o limiar da bacia foi atribuído o valor 300, e o tamanho das células de 30. 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*).

Figura 14- Fluxograma Dimensão Interfluvial média.



Fonte: Organizado pelo autor, 2020.

Com a função *add surface information* foram inseridos os valores das distâncias euclidianas aos pontos em relação às linhas interflúviais. 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, atribuiu-se aos valores de vulnerabilidade da dissecação horizontal para cada classe obtida, seguindo a proposta de Crepani et al. (2001), representadas no quadro 4.

Quadro 4- Valores de vulnerabilidade para dissecação horizontal.

dissecação horizontal (m)	valores de vuln.	dissecação horizontal (m)	valores de vuln.	dissecação horizontal (m)	valores de vuln.
>5.000	1,0	3.250 – 3.500	1,7	1.500 – 1.750	2,4
4.750 – 5.000	1,1	3.000 – 3.250	1,8	1.250 – 1.500	2,5
4.500 – 4.750	1,2	2.750 – 3.000	1,9	1.000 – 1.250	2,6
4.250 – 4.500	1,3	2.500 – 2.750	2,0	750 – 1.000	2,7
4.000 – 4.250	1,4	2.250 – 2.500	2,1	500 - 750	2,8
3.750 – 4.000	1,5	2.000 – 2.250	2,2	250 - 500	2,9
3.500 – 3.750	1,6	1.750 – 2.000	2,3	<250	3,0

Fonte: Metodologia adaptada pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

### 3.2.1.3 Geologia

Para a compilação e geração do mapa de geologia foram realizadas as seguintes atividades: a) Aquisição e alimentação a um banco de dados secundários, advindos da Superintendência de Geologia e Mineração e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); b) Tratamento dos dados utilizando o programa ArcGis 10.3/ESRI; c) Atribuição de valores de vulnerabilidade às respectivas classes de geologia.

Os dados referentes à litologia foram obtidos em formato *shapefile* em escala de 1:250.000. Em seguida, já no programa ArcGis 10.3/ESRI, o *shapefile* foi devidamente projetado para o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), recortado para a referida bacia e aplicado a simbologia para a visualização de cada classe litológica. Por fim, cada classe foi classificada de acordo com os valores de vulnerabilidade de cada tipo de geologia, estipulados por Crepani et al. (2001). As classes foram ponderadas e classificadas conforme o que está descrito no quadro 5.

Quadro 5- Valores de vulnerabilidade para geologia

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

Adaptado pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

#### 3.2.1.4 Solos

Para a compilação e geração dos mapas de solos, foram realizadas as seguintes atividades: a) Aquisição e alimentação a um banco de dados secundários, advindos de dados fornecidos pela Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER-GO), b) Tratamento dos dados utilizando programa ArcGis 10.3/ESRI; c) Atribuição de valores de vulnerabilidade às respectivas classes de solos.

O *shapefile* produzido pela EMATER (2017) em escala de 1:250.000 foi importado para o programa ArcGis 10.3/ESRI, projetado para o sistema de coordenadas UTM e posteriormente recortado para a área da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Após este processo, foram aplicadas a simbologia e a classificação dos valores de vulnerabilidade de cada tipo de solo (quadro 6), valores atribuídos tendo por base Crepani et al. (2001).

Quadro 6- Valores de vulnerabilidade para os solos.

tipo de solo	valores de vulnerabilidade
Neossolo Litólico distrófico	1,0
Neossolo Litólico eutrófico	1,0
Neossolo Quartzarênico Órtico	3,0
Cambissolos Háptico distrófico	2,5
Cambissolos Háptico eutrófico	2,5
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	2,0

Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	1,3
Latossolo Vermelho distrófico	1,0
Latossolo Vermelho férrico	1,0
Latossolo Vermelho Ácrico	1,0

Adaptado pelo autor com base em Crepani et al. (2001)

### 3.2.1.5 Vegetação e uso das terras

Para o mapa de uso e cobertura da terra foram realizadas as seguintes etapas: a) Aquisição e análise de imagens de satélite *Sentinel 2* (2019); b) Tratamento, segmentação e classificação das imagens usando o método supervisionado através do software Spring 5.0/INPE, aplicando a falsa cor RGB na imagem *Sentinel 2* (2018); c) Correção de pixel e possíveis erros da classificação, identificar polígonos com dados errôneos e reclassificá-los; d) Utilização de programa ArcGis 10.3/ESRI para a produção cartográfica temática; e) Utilização da base de dados do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) para identificação das fitofisionomias de vegetação.

A geração do mapa de uso das terras teve por início a definição das seguintes classes de mapeamento: solo exposto, cerrado, agropecuária, corpos d'água e floresta. Para tal mapeamento se obtiveram as imagens *Sentinel 2* por meio da plataforma do *Earthexplorer*, as quais foram manipuladas no programa ArcGis 10.3/ESRI, ajustadas as referências cartográficas e posteriormente recortadas para a área de estudo. Também, antes da classificação, foi feita a classificação RGB (654) no programa SPRING 5.0/INPE, no qual se fez a classificação prévia.

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 o contraste a imagem e também foi realizada a segmentação. Na segmentação ocorre um agrupamento de células adjacentes tendo por base a similaridade entre elas, para o projeto 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 (quadro 7), como sugerido por Crepani et al. (2001).

Quadro 7- Valores de vulnerabilidade para uso e cobertura do solo.

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

Fonte: Metodologia adaptada pelo autor com base em 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), selecionado o tema vegetação e posteriormente exportado em modelo *shapefile*. Já no programa ArcGis10.3/ESRI, aplicou-se a ferramenta de corte sob o dado para que a bacia hidrográfica do Rio do Peixe fosse evidenciada. Após esse processo a simbologia foi aplicada, assim tendo as tipologias de vegetação para a aplicação dos valores de vulnerabilidade, também proposto por Crepani et al. (2001) (quadro 8).

Quadro 8- Valores de vulnerabilidade para vegetação

tipologias	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

Fonte: Metodologia adaptada pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

#### 4. Resultados e discussões

Como resultados deste trabalho de pesquisa, são apresentados os mapas temáticos de 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). Apresenta-se também os resultados da adaptação feita para o fator de amplitude altimétrica, substituído pelo HAND, bem como o detalhamento dos resultados da análise oriunda da metodologia aplicada ao fator dissecação 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.

#### 4.1 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.

A distribuição das chuvas tem grande importância na análise de perda de solos, principalmente por permitir a quantificação do grau de vulnerabilidade a que está submetida determinada unidade de paisagem, ou seja, alta pluviosidade em períodos curtos de tempo significa situações de grande quantidade de água disponível, isto é, maior capacidade de erosão (CREPANI et al., 2001). 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 5.

Tabela 5 - Precipitação e intensidade pluviométrica média mensal do período de 1987 a 2018 da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

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

Organizado pelo autor, 2020.

Conforme a proposta de Crepani et al. (2001), foi elaborado o mapa de intensidade pluviométrica mensal referente aos anos de análise de precipitação. Através da razão entre a precipitação e duração do período chuvoso, sendo para a região Centro-Oeste o equivalente há sete meses, obtiveram-se os valores de intensidade pluviométrica de acordo com a equação 4.

$$IP = \text{PMM} / \text{DPC} \quad (4)$$

Onde:

IP = Intensidade Pluviométrica;

PMM = Precipitação Média mensal;

DPC = Duração do Período Chuvoso.

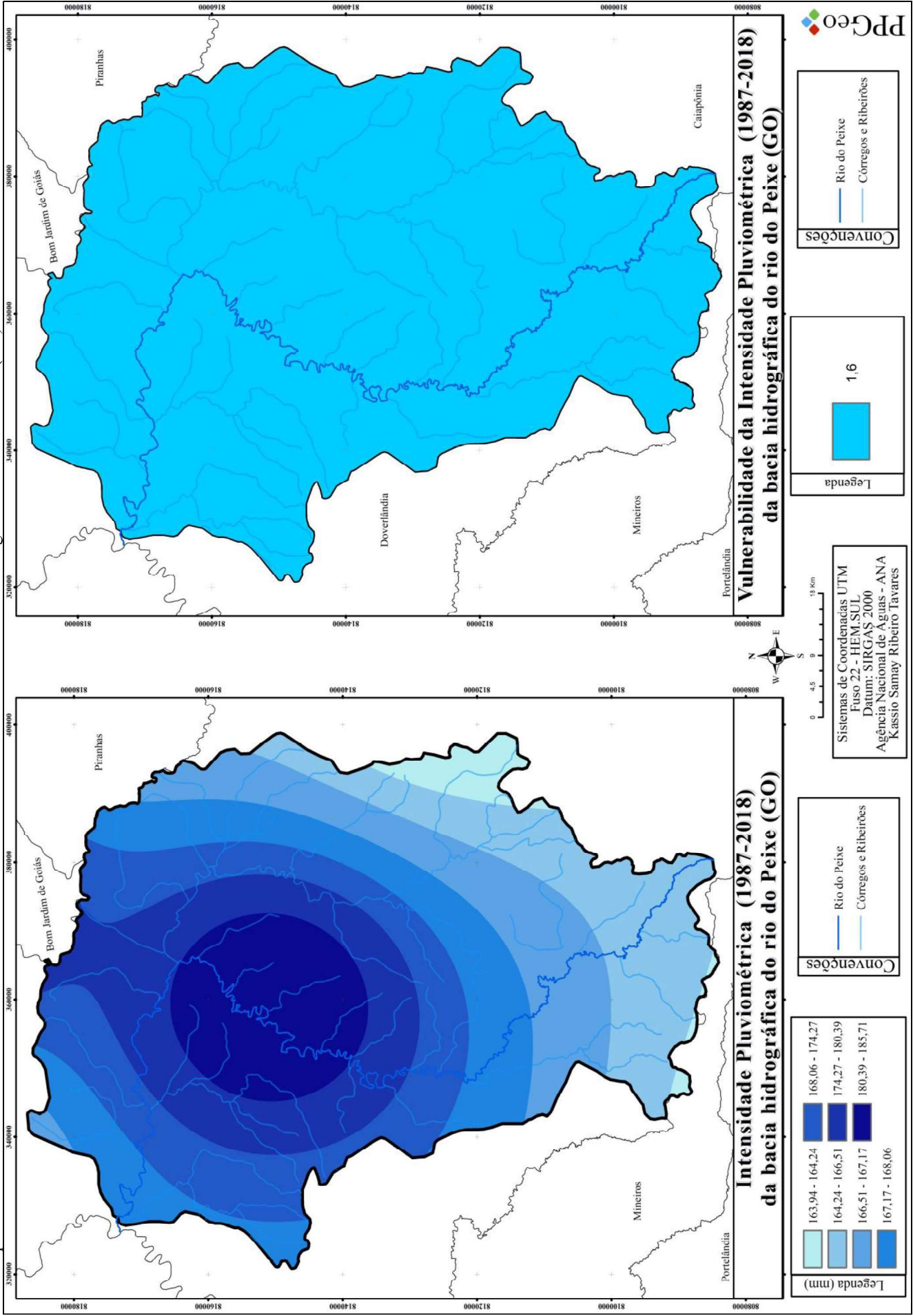
O fator climático, para considerar a vulnerabilidade natural, é representado pelo potencial da chuva em remover solo através da erosão hídrica, denominado intensidade pluviométrica. A intensidade média dos meses para a bacia hidrográfica do Rio do Peixe apresentou valores entre 163 mm e pouco mais de 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, considerando o curto espaço de tempo em que ocorrem tais eventos climáticos.

A comparação entre as oito estações climáticas apresentou diferenças nas variabilidades da precipitação, pois foi observado que as estações de Bom Jardim de Goiás e de Doverlândia têm a maior precipitação em relação a 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.

Esses valores de intensidade podem ser correlacionados às condições morfométricas do terreno, pois a energia cinética é responsável por intensificar os efeitos associados à erosividade da chuva. Considerando esse pressuposto, quanto maior o valor da intensidade pluviométrica, maior a erosividade.

Pelo mapa da região de estudo (figura 15), verifica-se que o índice de intensidade pluviométrica é considerado moderadamente estável, conseqüentemente, a erosividade, devido à chuva, também pode ser analisada como de valores baixos, levando-se em conta que o índice varia de 1 a 3. Com isso, a vulnerabilidade da região foi classificada com valores 1,5 e 1,6. Atenção deve ser dada ainda ao fato de ser importante a realização de análise dos dados diários, para verificar a intensidade de modo o mais pormenorizado possível, tendo em vista as vulnerabilidades associadas aos outros temas em análise nesta pesquisa.

Figura 15 – Mapas de Intensidade Pluviométrica e Vulnerabilidade da Intensidade Pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

## 4.2 Geologia

Os valores de vulnerabilidade empregados a cada classe seguiram as propostas de Crepani et al. (2001), considerando 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.

O valor 3,0 atribuído a 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, associados a litologias mais frágeis, classificadas como sendo de maior vulnerabilidade à erosão, essa classe é facilmente transportada em áreas de grande fluxo de água, como exemplo, as redes de drenagem.

Observa-se que as áreas de vulnerabilidade 2,4, consideradas como moderadamente vulnerável por Crepani et al. (2001) refere-se arenitos, fruto de sedimentos formados a partir de depósitos de areia na formação Furnas, do grupo Paraná. Essa litologia encontrada é de fácil desagregação, principalmente sob a ação de fatores intempéricos, como a água.

Encontrados em regiões com relevo plano a ondulado, os arenitos também são identificados em áreas próximas ao curso do Rio do Peixe, vistos em afloramentos que seguem sua foz, como pode ser visto na figura 16.

A vulnerabilidade atribuída ao diamictito e siltito, corresponde ao valor 2,5. Assim como o arenito essas duas litologias são consideradas moderadamente vulnerável por Crepani et al. (2001). O diamictito é uma rocha sedimentar formada a partir de fragmentos de rochas, possuindo uma matriz siltico argilosa intercalado com arenitos grossos, que quando ocorre a penetração de água produz a dissolução de ingredientes da rocha, ocorrendo a desagregação (CREPANI et al. (2001). Essa rocha está presente em toda a extensão da Formação Aquidauana, conforme observado na figura 17.

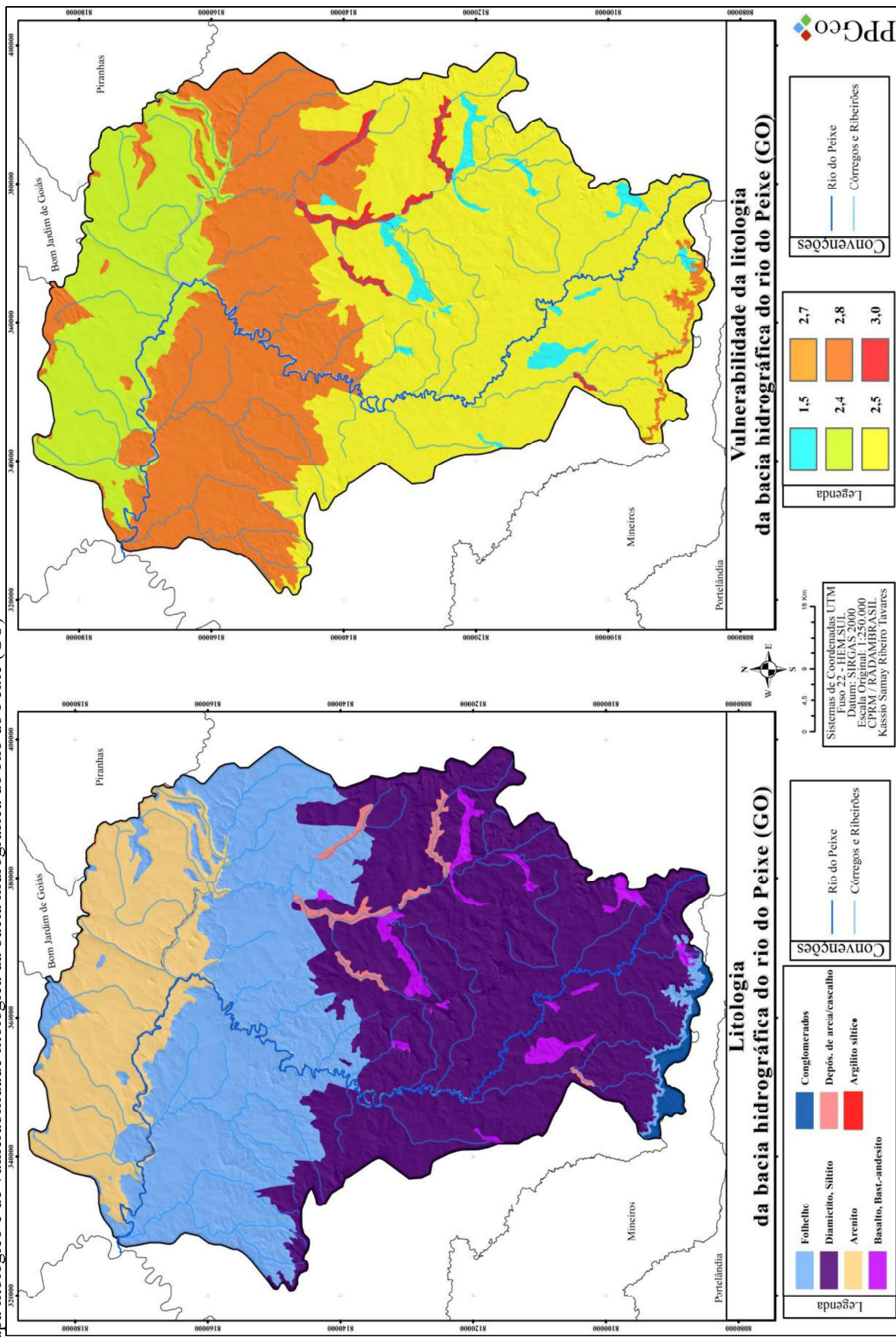
Figura 16– Afloramento de arenitos nas bordas do Rio do Peixe.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

A faixa da Formação Ponta Grossa é basicamente formada por folhelhos, aos quais foi atribuído o valor de 2,8 de vulnerabilidade. Os folhelhos são rochas sedimentares argilosas, resultado da consolidação de sedimentos desagregados, com origem principalmente de quartzo, feldspato e argilominerais que intercalam com arenitos, provenientes da Formação Furnas. Uma característica marcante dos folhelhos é a presença de fissilidade, definido por Bates e Jackson (1987) como a capacidade de se partir facilmente em placas paralelas e finamente espaçadas, sendo o que diferencia os folhelhos de outras rochas argilosas.

Figura 17 - Mapa litológico e de vulnerabilidade litológica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 4.3 Solos

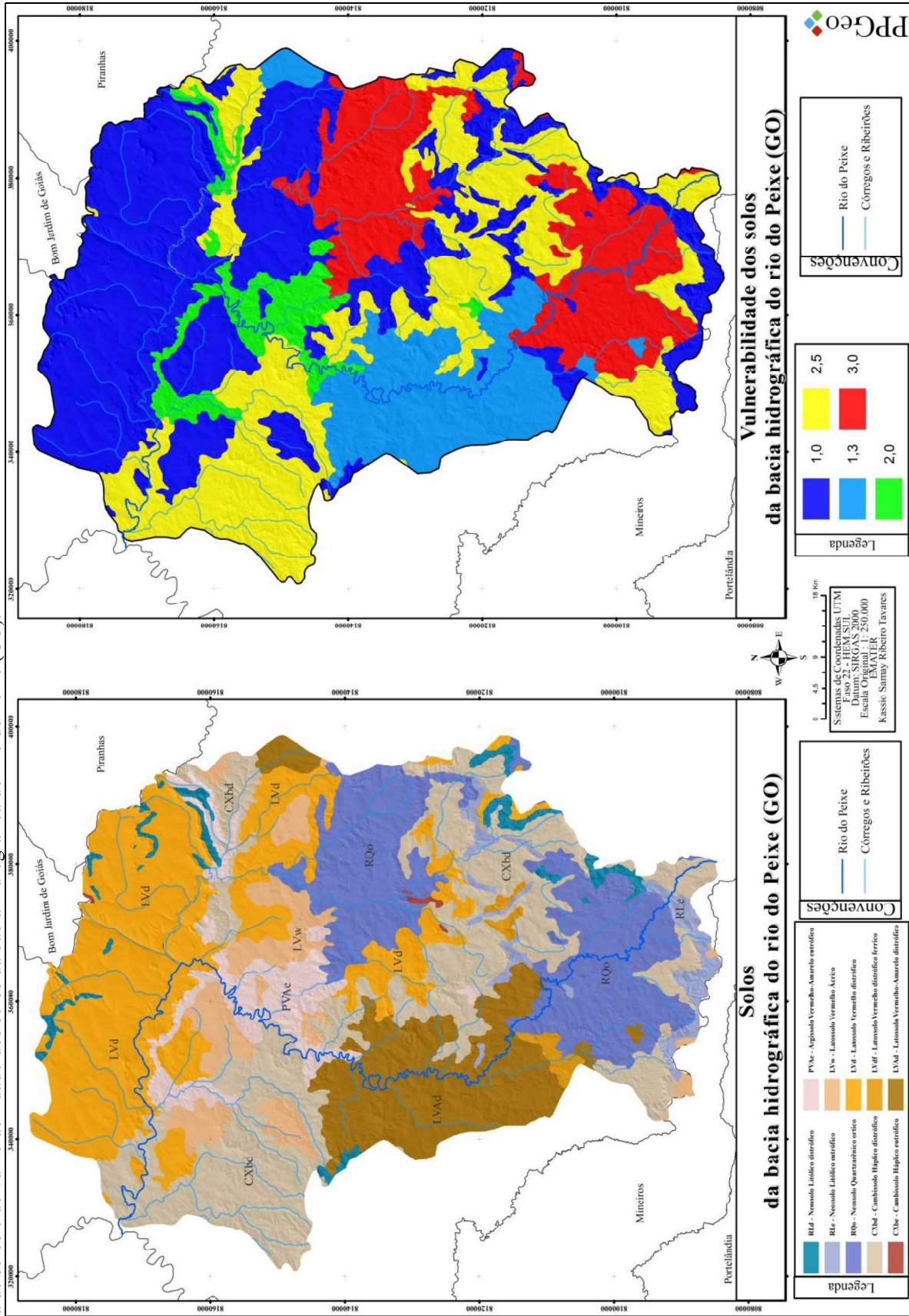
Os Latossolos Vermelho Ácrico, férrico e distrófico consistem em solos bem desenvolvidos, profundos, que apresentam textura argilosa com elevado teor de areia, oriundo do arenito da Formação Furnas, proporcionando uma boa permeabilidade, devido à sua porosidade, observado na figura 18. Essa tipologia de solos ocorre, predominantemente, nas áreas de relevo plano, proporcionando a mecanização agrícola e compactação, derivados da textura argilosa da área (EMBRAPA, 2018). Os Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico ocorrem na parte oeste da Formação Aquidauana e apresentam um alto teor de argila e silte, o que segundo Crepani et al. (2001), dificulta a infiltração de água, o que favorece os processos erosivos. Diante disso, o Latossolo Vermelho-Amarelo possui um valor de vulnerabilidade maior, comparado aos Latossolos Vermelhos. A distribuição dessas tipologias pode ser notada no mapa pedológico (figura 19), bem como a definição dos grupos de solo quanto à vulnerabilidade. Conforme é possível observar, as classes consideradas estáveis são correspondentes aos latossolos com valor de vulnerabilidade 1,0 e 1,3, representando aproximadamente 46% da área.

Figura 18 - Mapa pedológico e de vulnerabilidade pedológica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Figura 19 - Mapa de solos e de vulnerabilidade dos solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Elaborado pelo autor, 2020.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo eutrófico, com valor de vulnerabilidade 2,0, presentes ao centro e noroeste da área de estudo com 5,6% foram classificados como sendo bastante intemperizados e desenvolvidos, associados a relevos mais dissecados. Essa tipologia está associada aos folhelhos da Formação Ponta Grossa, apresentando alto teor de acúmulo de argila e textura média argilosa, com baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2018). Para Crepani et al. (2001) a ocorrência destes solos auxilia no escoamento superficial, dificultando a infiltração da água em seus horizontes, favorecendo processos erosivos.

Aos Cambissolos Háplico distrófico é identificado em áreas por toda a bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Tomando por base o que foi percorrido por Crepani et al. (2001) esse solo apresenta vulnerabilidade moderadamente estável, com atribuição de valor 2,5. Esses solos são encontrados em relevos mais ondulados e ou montanhosos, devido sua pouca profundidade é possível identificar a ocorrência de extratos rochosos na massa do solo. Na região os solos apresentam alto teor de argila e silte e baixa fertilidade, derivados de arenito das respectivas 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, região noroeste. Os Neossolos Litólicos são encontrados em áreas com o relevo mais declivoso, como por exemplo, no front da cuesta da serra do Caiapó. São solos rasos, com presença de rochas, evidenciando o material de origem, e com baixa fertilidade (EMBRAPA, 2018). Para esses solos são atribuídos o valor de vulnerabilidade 1,0.

Os Neossolos Quartzarênicos Órtico, são solos minerais derivados de sedimentos areníticos 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 altas declividades, nas quais a velocidade da erosão é maior (EMBRAPA, 2018). Atribui-se então o valor de vulnerabilidade 3,0, conforme sugerido por Crepani et al. (2001).

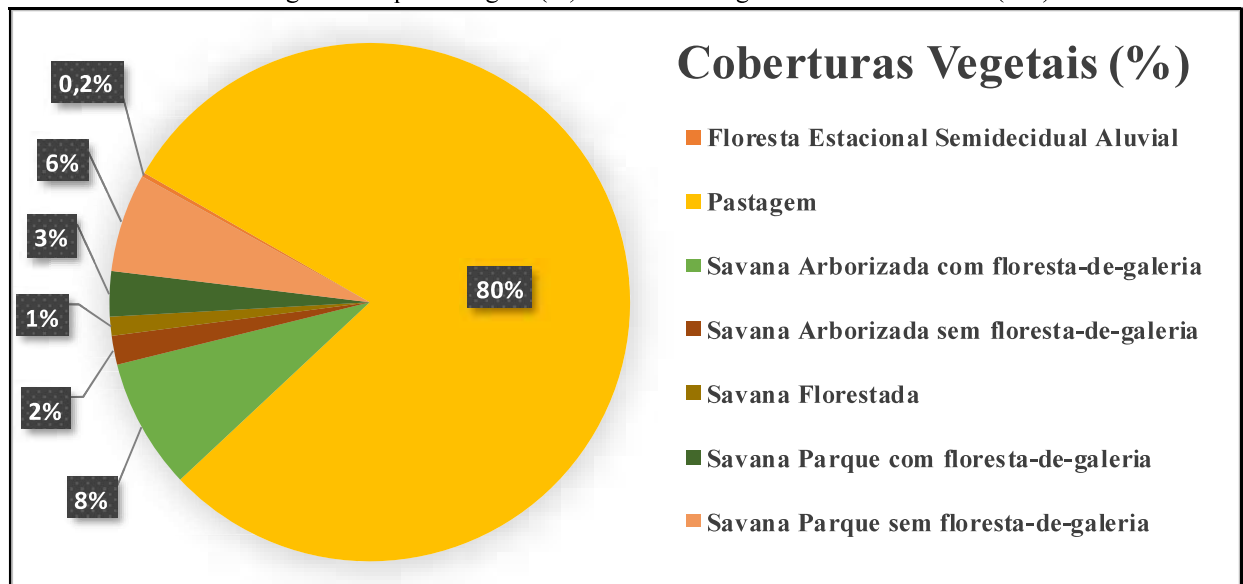
#### **4.4 Vegetação**

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 morfogenéticos que se apresentam em forma de erosão, devido a isso, segundo os

autores, para altas densidades de cobertura vegetal atribui-se o valor de 1,0 na escala de vulnerabilidade, 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 em 0,2% da área, savana arborizada com e sem floresta de galeria totalizando 10%, savana florestada em 1% da bacia hidrográfica e savana parque com e sem floresta de galeria, somando um total de 9% da área. Nos dados obtidos para esse tema pelo BDIA (2019), é incluído a classe de pastagem, abrangendo pastagens naturais, plantadas e lavouras, representando 80% da cobertura vegetal. As porcentagens podem ser vistas no gráfico 1.

Gráfico 1 – Coberturas vegetais em porcentagem (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Organizado pelo autor, 2020.

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.

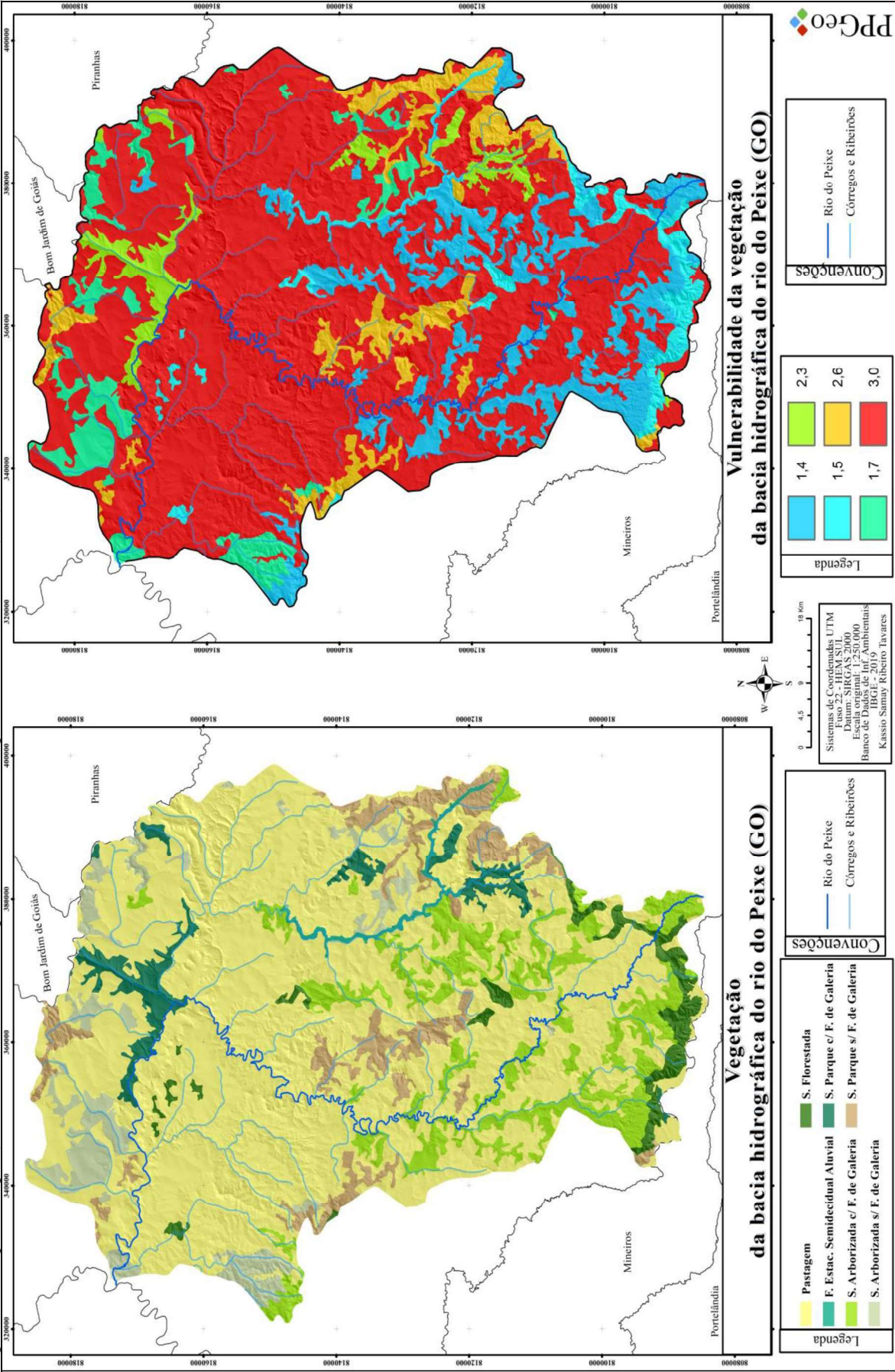
As formações de floresta estacional semidecidual aluvial são observadas na porção leste da bacia hidrográfica, representada por coberturas de Cerrado presentes ao logo do curso de ribeirões em relevos levemente ondulados. A savana florestada, popularmente chamada de cerradão, caracterizado por apresentar dossel arbóreo fechado e com alturas que variam de 7 até 15 metros, essa classe é identificada em maior quantidade ao sul da bacia, consequentemente onde ocorre elevação altimétrica da cuesta da serra do Caiapó. As savanas

arborizadas com e sem floresta de galeria, comumente chamadas de campo cerrado, apresentam arbustos e palmeiras adensadas, encontradas nas porções central e sul e com algumas manchas a norte da bacia hidrográfica. Quando há ocorrência de relevos mais dissecados e presença de drenagens é apresentado florestas de galeria ou mata ciliares. Já na ocorrência de interflúvios, relevos mais declivosos ou colinosos e pouca drenagem, conseqüentemente não apresentam florestas de galeria ou matas ciliares (BDIA, 2019).

Dentro da cobertura vegetal moderadamente vulnerável (2,3 a 2,6), foram atribuídos os valores para formações de savana parque com e sem floresta de galeria. A savana parque apresenta uma camada rasteira graminosa sobre a 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 20), 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 declivosos e na ocorrência de interflúvios, caracterizada pela baixa drenagem.

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 troca de mata e a conversão 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 21).

Figura 20 - Mapa de vegetação e vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO) – 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 21 – Área de pastagem na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

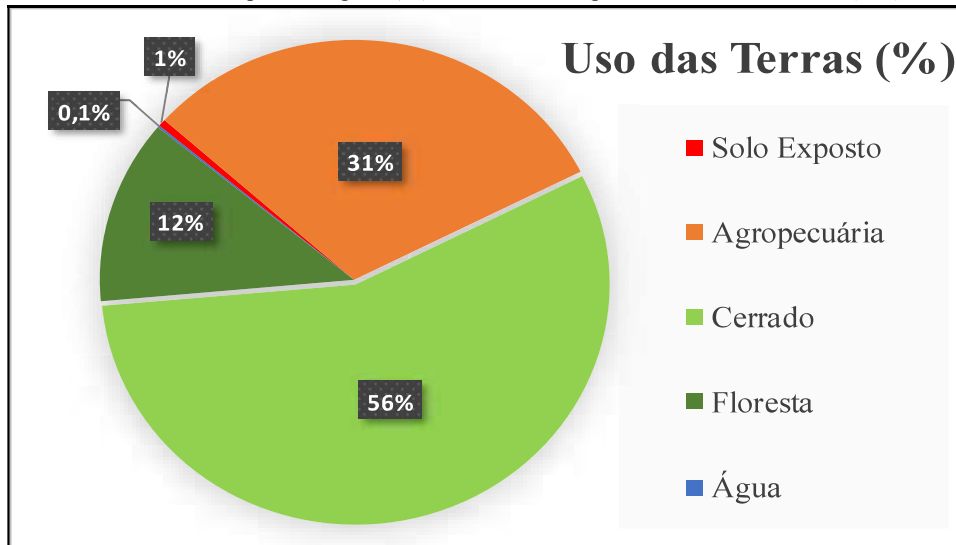
#### 4.5 Uso das terras

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 com uma porcentagem de maior área, Cerrado com 56%, abrangendo também as fitofisionomias campestres (campo limpo, campo sujo etc.), além das savânicas e agropecuária com 31%, referente à pastagem, às lavouras e à pecuária. Solo exposto, água e floresta englobando as matas de galeria e ciliar apresentaram porcentagens entre 0,1% e 12% (Gráfico 2).

De acordo com Miranda (2003), 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 Carneiro et al. (2012) a região foi alvo de grandes investimentos agrícolas, devido ao relevo plano que facilita a mecanização.

Observando a região central até o norte da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, é possível identificar que a maioria dessa área é utilizada para manejo, plantações e pastagens. Nessa mesma área é avistado, ao longo do leito do Rio do Peixe, vestígios de Cerrado e florestas, caracterizados principalmente pelas florestas e mata ciliar, conforme observado na figura 22.

Gráfico 2 – Uso das Terras em porcentagem (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO)



Organizado pelo autor, 2020.

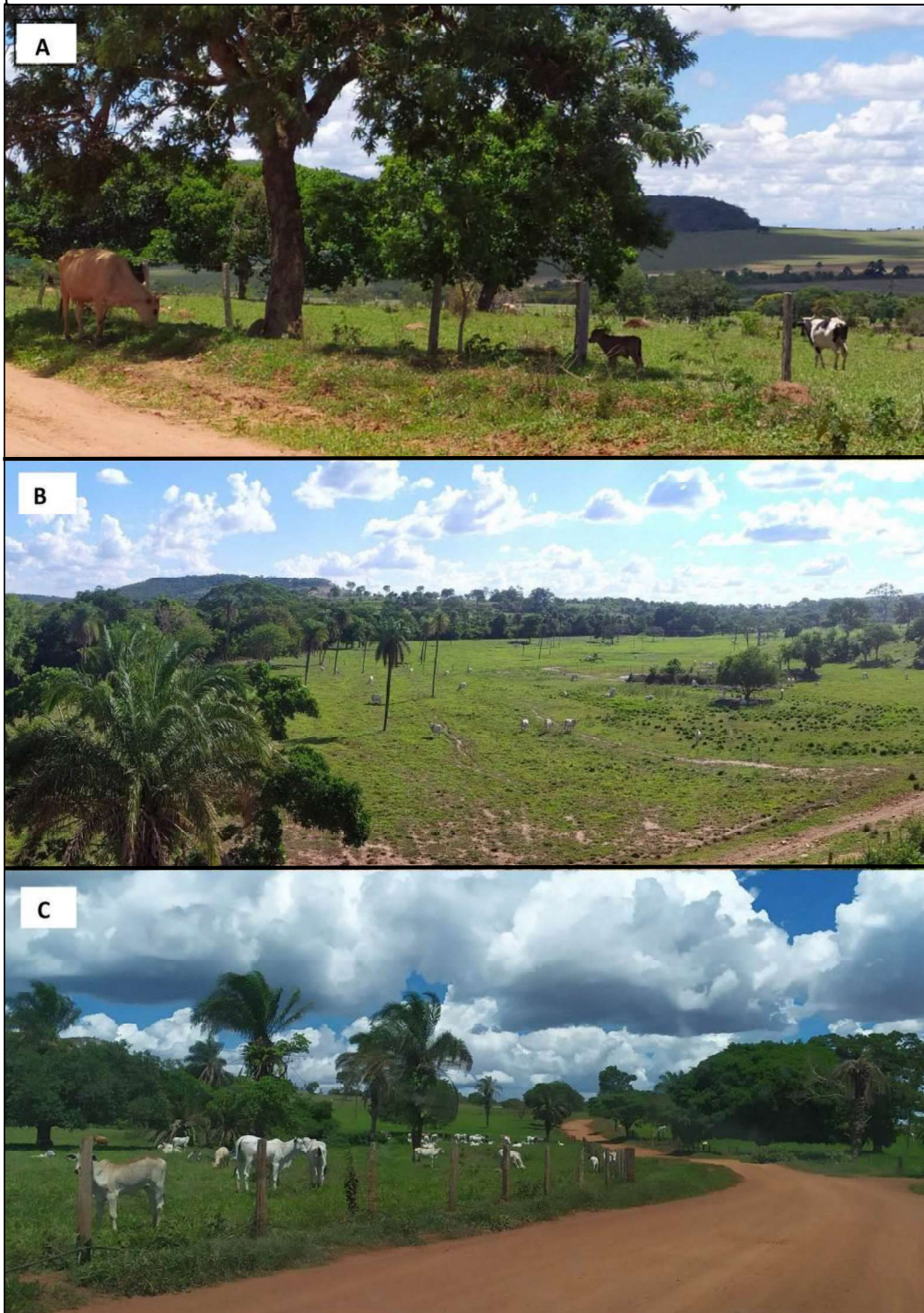
Figura 22– Mata ciliar ao longo do leito do Rio do Peixe.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Grandes áreas de relevo plano são caracterizadas pela ocorrência de solos mais pobres (distróficos) e de baixa aptidão agrícola, são comumente utilizados para a pastagem e pecuária bovina. O uso do solo para a pastagem é intenso na região, observada desde as redondezas de Doverlândia e avistado em praticamente toda borda da GO-188 (figura 23-a), GO-221 (figura 23-b) e GO-465 (figura 23-c).

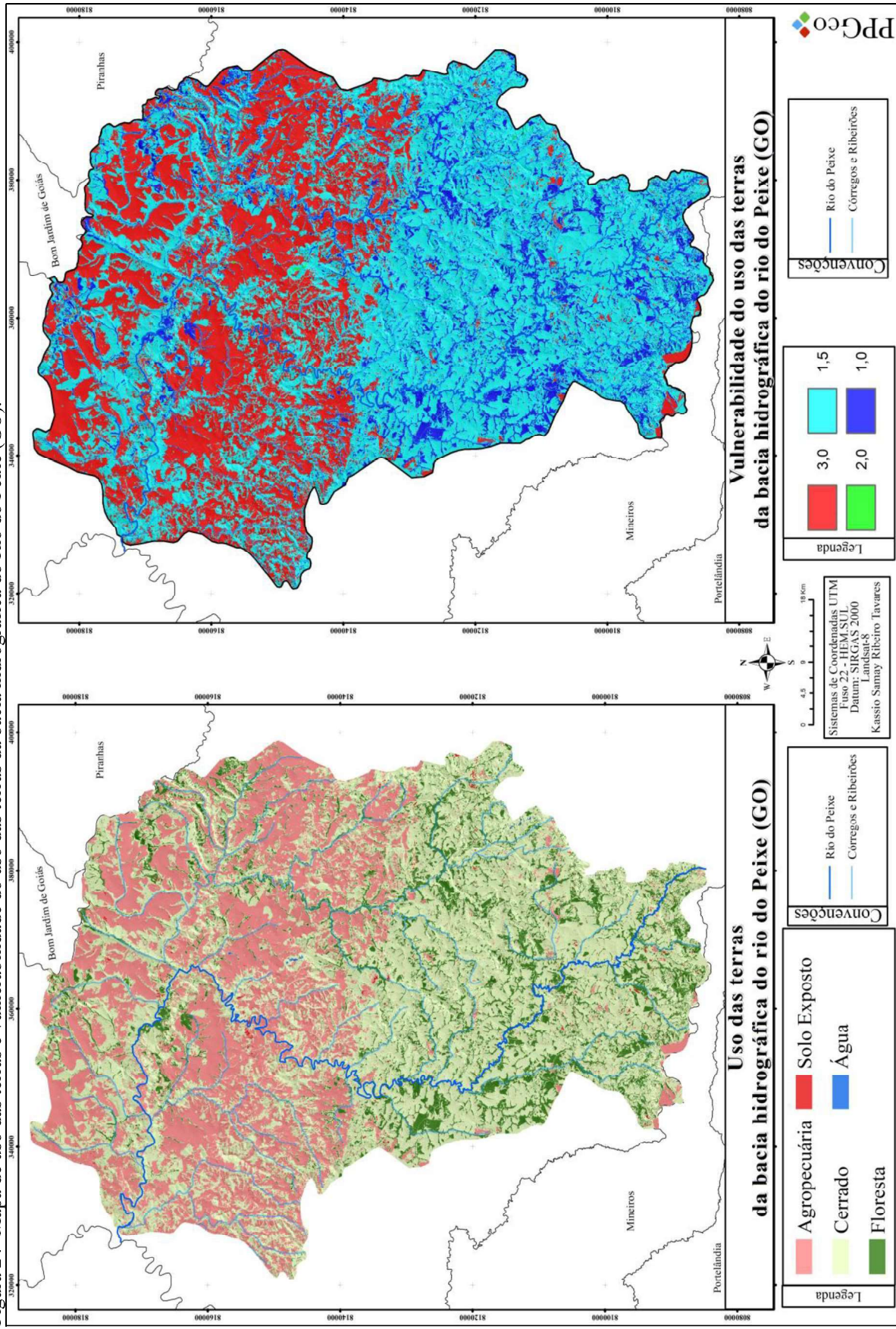
Figura 23— a) Ocorrência de pastagem GO-188; b) Ocorrência de pecuária bovina GO-221 e c) Ocorrência de pecuária bovina GO-465.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

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. A atribuição da água foi de 2,0, sendo considerada moderadamente vulnerável. As classes de Cerrado e floresta apresentam os menores graus de vulnerabilidade, expressos por 1,5 (Cerrado) e 1,0 (floresta) (figura 24).

Figura 24- Mapa de uso das terras e vulnerabilidade do rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

#### 4.6 Declividade

Por meio do mapa gerado das declividades na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, observa-se que as inclinações na área vão de 0% a 73,1% (Figura 25). A maior parte da área apresenta relevo plano a levemente ondulado, que são representados por aproximadamente 70% da área de estudo, sendo o restante distribuído entre os relevos ondulados, fortemente ondulados e uma pequena porção por relevo montanhoso, expressos pelos pontos com maior declive do relevo.

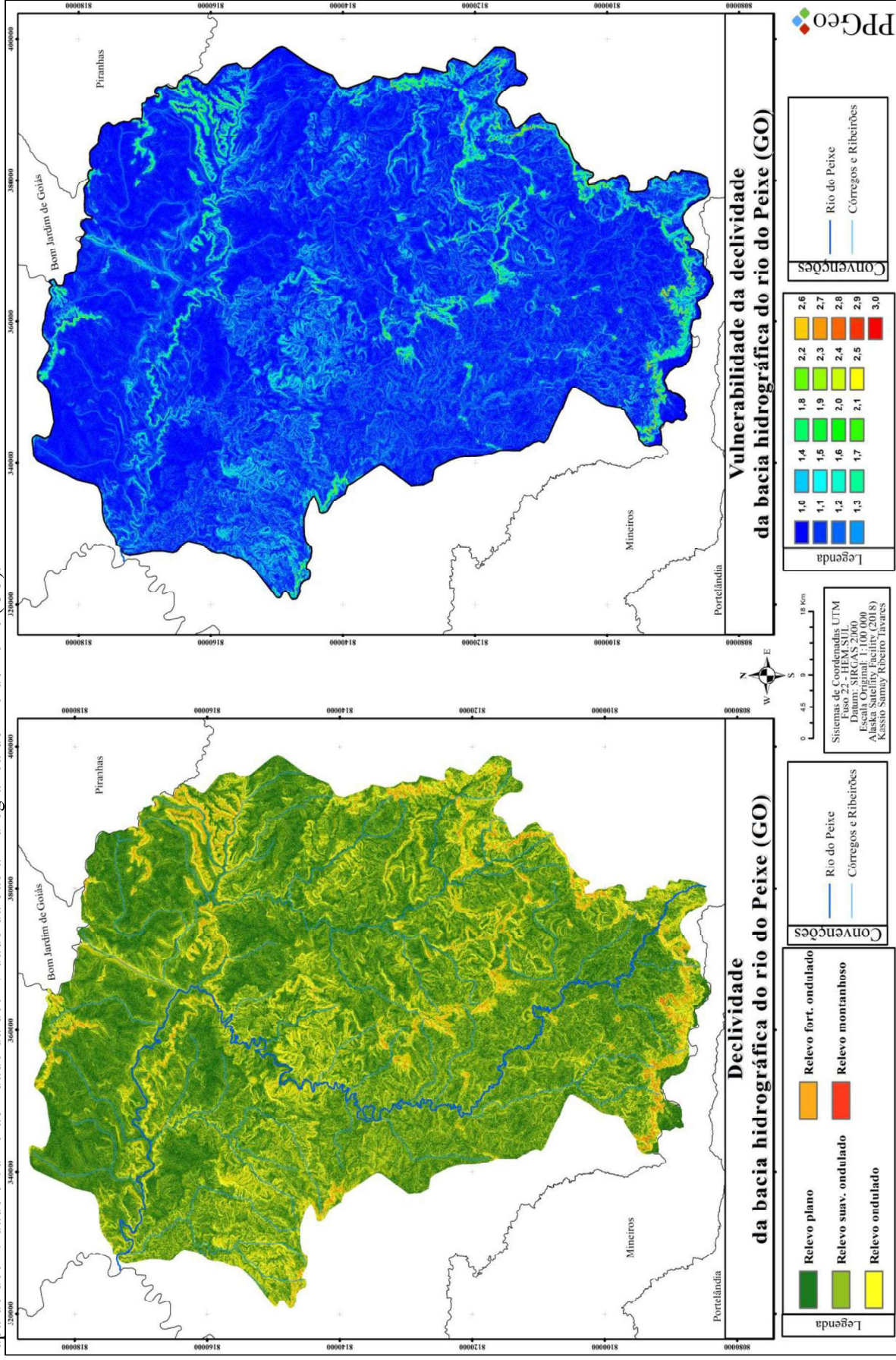
A declividade também pode ser analisada e verificada observando o mapa e os valores altimétricos da região, os quais apresentam altitudes que vão de 374 m, representados pelas áreas mais planas, até 999 m, que correspondem à borda da bacia hidrográfica do Rio do Peixe com as maiores altitudes.

Crepani et al. (2001) afirmam que quanto maior a declividade, maior é a velocidade do fluxo de água proveniente da precipitação das chuvas, está transformando a energia potencial em energia cinética. A força da gravidade está intimamente ligada à força de transporte, gerando forças de atrito entre a lâmina d'água e as partículas desagregadas do local, prevalecendo, nesse caso, a morfogênese.

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).

Com o mapa de vulnerabilidade da declividade, uma maior compreensão dos valores citados pode ser observada, expressos na figura 25. Grande parte da vulnerabilidade da declividade na bacia da hidrográfica do Rio do Peixe ficou entre 1,0 e 2,0, na qual prevalecem regiões planas e que a energia potencial é menor. Os valores de 2,0 a 3,0 são observados no mapa justamente nas regiões com uma altitude e declividade maior, a vulnerabilidade 3,0 está exemplificada diretamente na porção sul da bacia e em pequenas porções ao nordeste.

Figura 2.5- Mapa de declividade e vulnerabilidade da declividade da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Elaborado pelo autor, 2020

#### 4.7 HAND

Os valores obtidos e o mapa elaborado para o fator HAND expressam as distâncias verticais acima de cada drenagem em relação ao ponto mais próximo presente na área, o qual como já foi comentado anteriormente, foi elaborado para a substituição do fator proposto por Crepani et al. (2001), denominado de amplitude altimétrica.

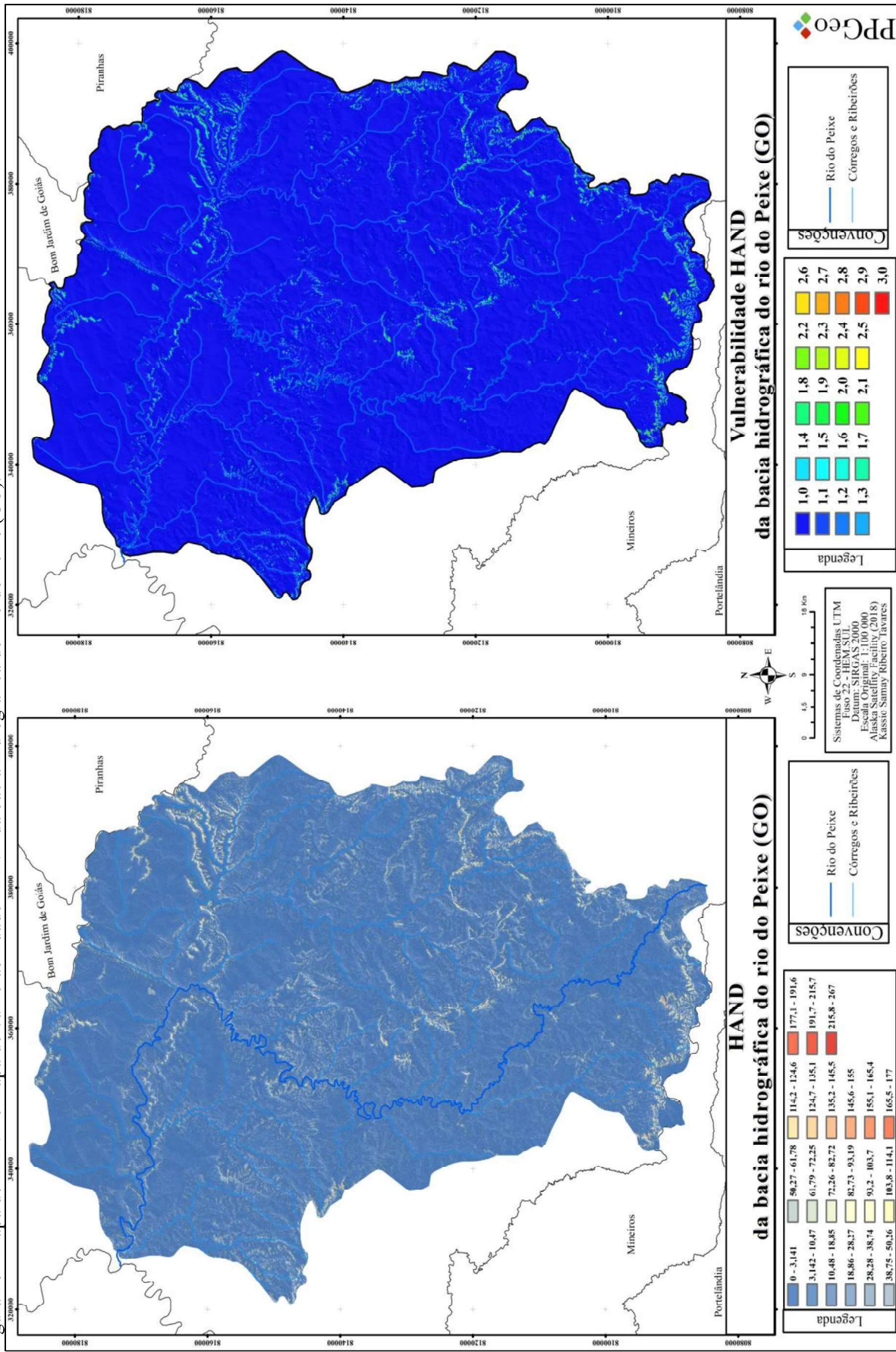
Fazendo a observação do mapa gerado, a área apresenta desníveis de 0 a 267m. Áreas com valores de distância vertical entre 0 e 67,5 m, expressam a maior parte da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, e os valores maiores de distância vertical (altura) expressam somente algumas frações em que o relevo é mais acentuado. De acordo com o INPE (2010), a distância vertical em metros da drenagem mais próxima está indiretamente representada pelo nível freático, conseqüentemente indicando locais com maior disponibilidade de água.

É possível observar na figura 26, que os valores mais altos de distância vertical estão representados na região nordeste da bacia hidrográfica do Rio do Peixe e também ao sul, localizadas no front da cuesta da serra do Caiapó, indicando áreas bem drenadas e solo pouco saturado, essas também representando porções com maiores quebras altimétricas que, segundo a altimetria da região (figura 10), iniciam-se em 624m, chegando a 999m de altitude. O relevo nesses pontos é descrito por relevos ondulados a montanhosos, prevalecendo formas acentuadas de desníveis. As áreas com menor valor associam-se a prováveis áreas onde a profundidade do nível d'água é menor, baixas altitudes e relevo planar.

A vulnerabilidade da distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada com o aprofundamento da dissecação, ou seja, é um indicador de energia potencial (CREPANI et al., 2001) do relevo para os processos morfogenéticos. Quanto maior essa distância, maior a energia potencial, resultando provavelmente na intensificação dos processos erosivos em áreas com maiores desníveis. Por exemplo, quando as águas da precipitação atingem as áreas mais altas, a energia potencial transforma-se em cinética, do ponto mais elevado até as partes mais baixas, ou seja, nos maiores desníveis.

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.

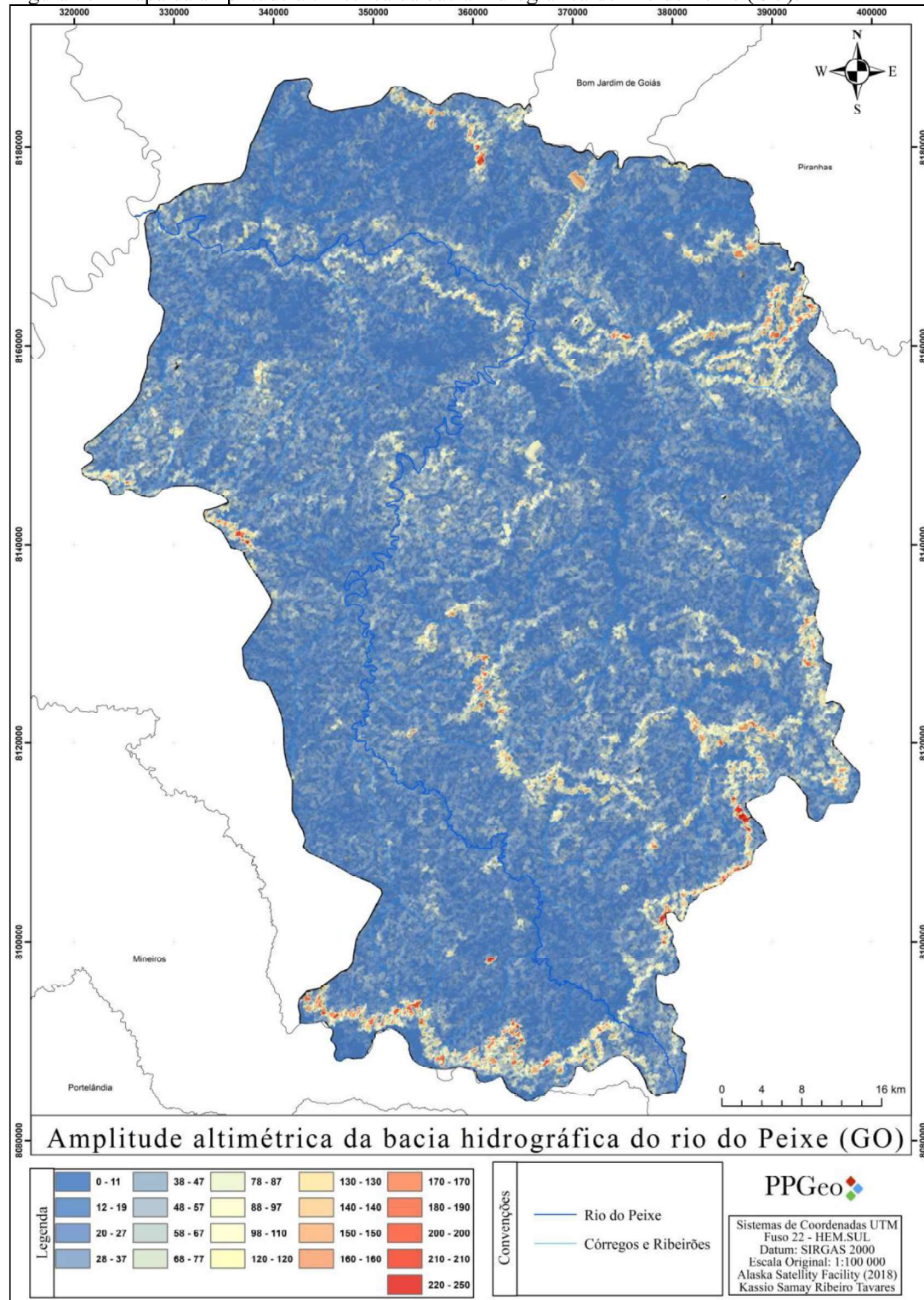
Figura 26 - Mapa de HAND e mapa de vulnerabilidade HAND da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

A fim de comparação de resultados obtidos para HAND, elaborou-se o mapa de amplitude altimétrica para a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, com seus respectivos valores expressos na figura 27.

Figura 27– Mapa da amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Os valores obtidos de amplitude altimétrica foram baseados na delimitação de pontos altimétricos e microbacias, que expressaram valores de 0 a 250m. Em comparação com o mapa HAND (figura 26) observa-se que os valores entre os dois levantamentos possuem proximidade de resultados, sendo os maiores valores encontrados ao nordeste e sul. Nessa comparação é notório que o HAND no processamento de dados gera resultados mais refinados, possivelmente oriundos do detalhamento das redes de drenagem.

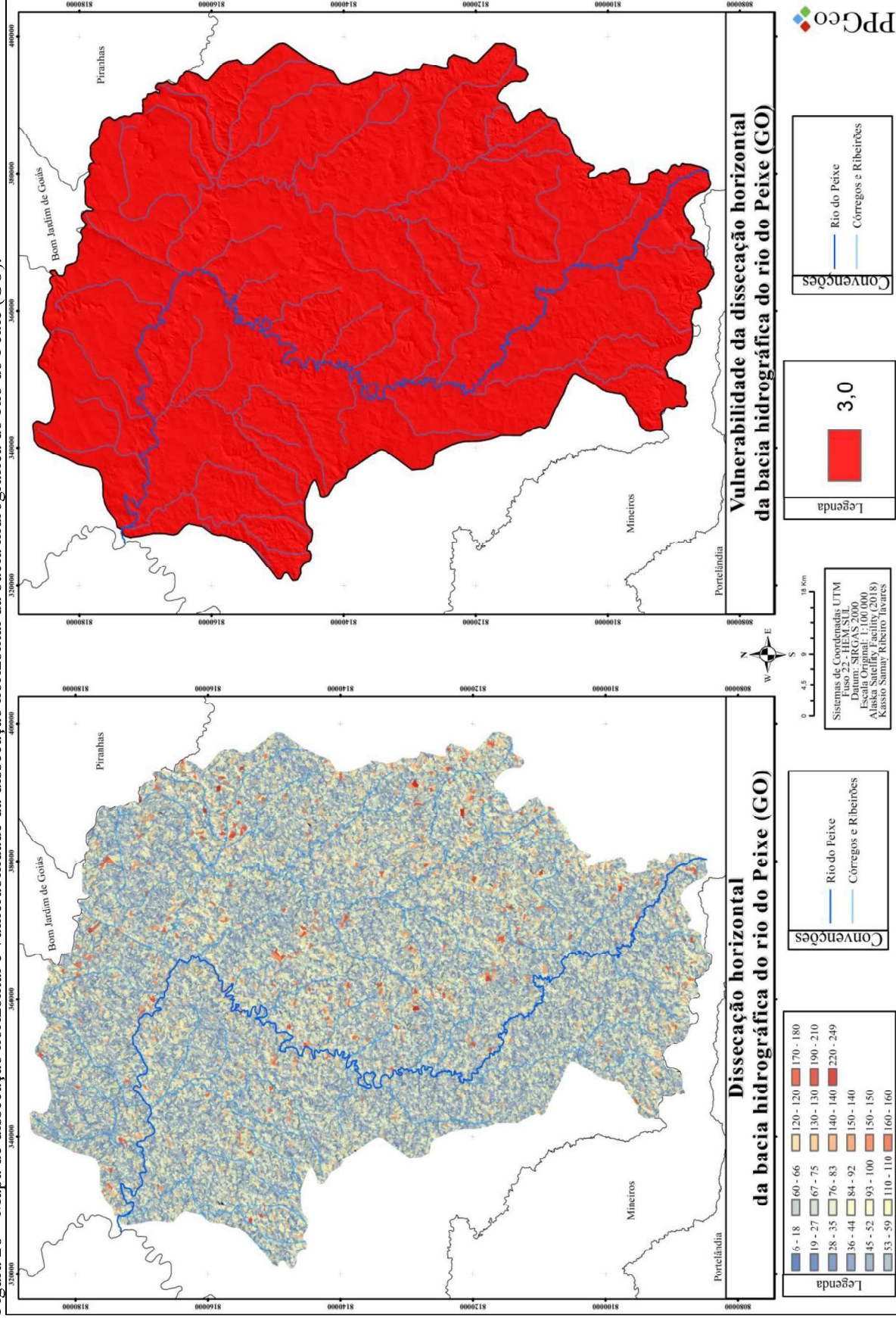
#### **4.8 Dissecação horizontal**

O mapa com valores de dissecação horizontal foi gerado utilizando-se a proposta de automatização de Guimarães et al. (2012) para a obtenção desse fator. Os valores obtidos estão expressos na figura 28, com intervalos que vão de 6m a 249m de dimensão interfluvial. Majoritariamente a bacia apresenta valores medianos que vão de 19m a 110m. Os maiores valores estão presentes em pequenas áreas nas porções central, nordeste e sudeste, apresentando locais que chegam a 249m de dissecação horizontal.

De acordo com Crepani et al. (2001), quanto maiores forem os interflúvios ou menor for a intensidade de dissecação, 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 com maiores intensidades de dissecação, recebem valores de escala de vulnerabilidade próximos a 3,0. Com esses valores é possível avaliar o trabalho da dissecação realizado pelas drenagens na bacia hidrográfica em relação à atuação dos processos morfométricos, indicando pontos onde a suscetibilidade à erosão é maior (LEITE; ROSA, 2012).

Os maiores valores de dissecação horizontal estão presentes onde o relevo é mais acidentado e ondulado, com drenagens retilíneas, evidenciando pontos de maior potencial erosivo e de maior capacidade de potência erosiva pela água. Em toda a bacia é encontrada uma dissecação amenizada, caracterizada pelas áreas planares do relevo, com menor potencial erosivo. 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 250m, representam dimensões interfluviais menores, dissecadas e com maior potencial de energia potencial da água.

Figura 28 – Mapa de dissecação horizontal e vulnerabilidade horizontal da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

#### 4.9 Equação geomorfométrica

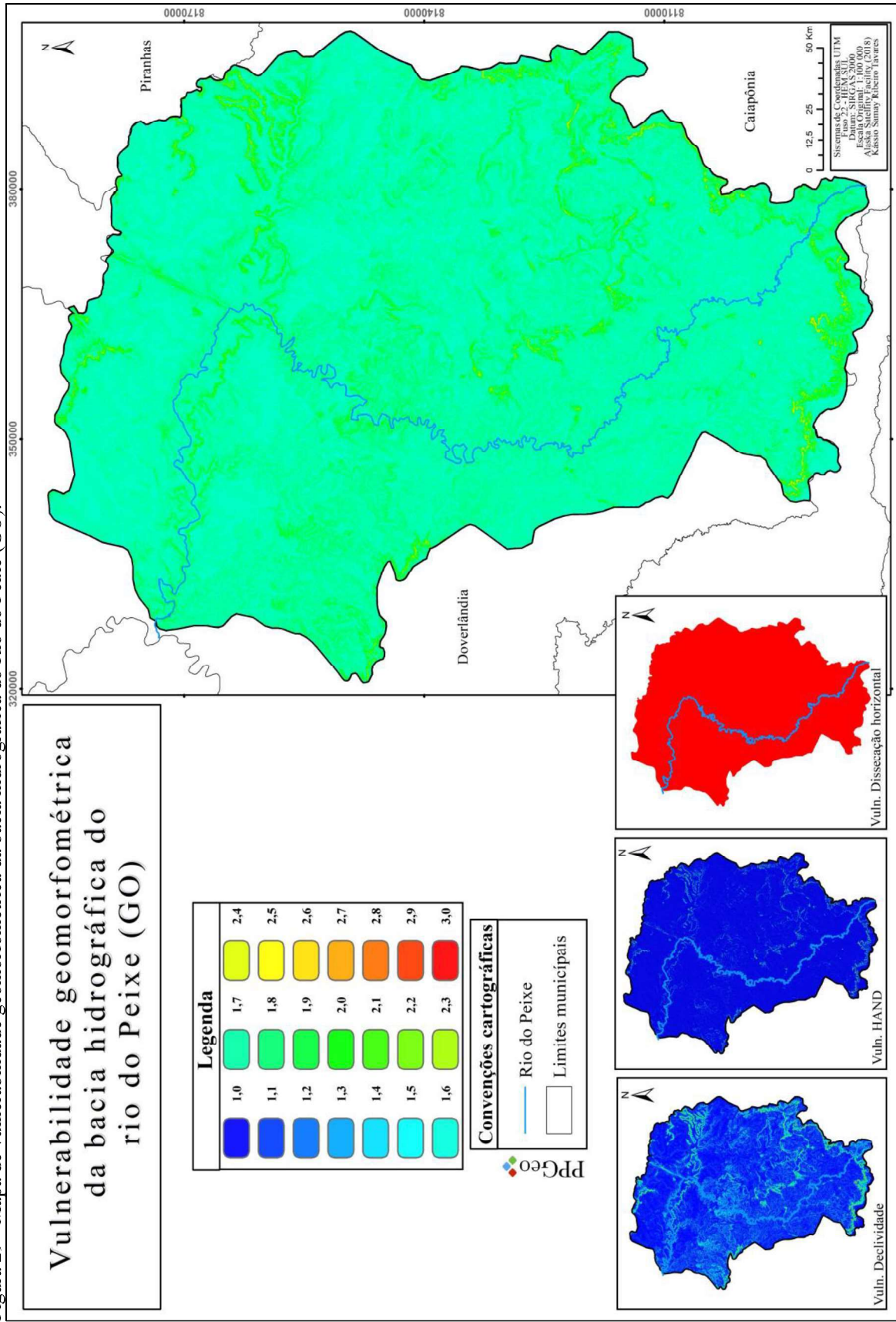
Como resultado da equação aplicada utilizando os mapas de declividade, HAND e dissecação horizontal, obteve-se o mapa geomorfométrico com valores de vulnerabilidade. Os dados resultantes da equação dos mapas determinaram áreas correspondentes a níveis de vulnerabilidade que iniciaram em 1,6 (moderadamente estável) e foram até 3,0 de vulnerabilidade, classificados como vulnerável.

Em síntese, áreas com maior vulnerabilidade à erosão são representativas pela ocorrência comum de maiores desníveis, grandes declives 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 e a dinâmica de origem denudacional caracterizada por relevos fortemente ondulados e montanhosos, assim com maior potencial à perda de solos.

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. 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, estes com um potencial maior de energia potencial da água.

Na figura 29 é possível identificar o resultado final do mapa geomorfométrico, bem como a visualização dos fatores utilizados na álgebra de mapas pela equação proposta por Crepani et al. (2001). Os fatores utilizados tiveram classificação de vulnerabilidade de 1,0 a 3,0 com exceção da dissecação horizontal com valor único para toda a área de 3,0. Os outros mapas em sua maioria representaram a área em vulnerabilidade estável (1,0 a 1,3), consequentemente pelo relevo mais plano que predomina na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, porém, fortemente influenciados pelo alto valor de vulnerabilidade horizontal.

Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

#### 4.10 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), utilizou-se classes de vegetação compreendendo o meio natural.

##### 4.10.1 Vulnerabilidade ambiental à perda de solos

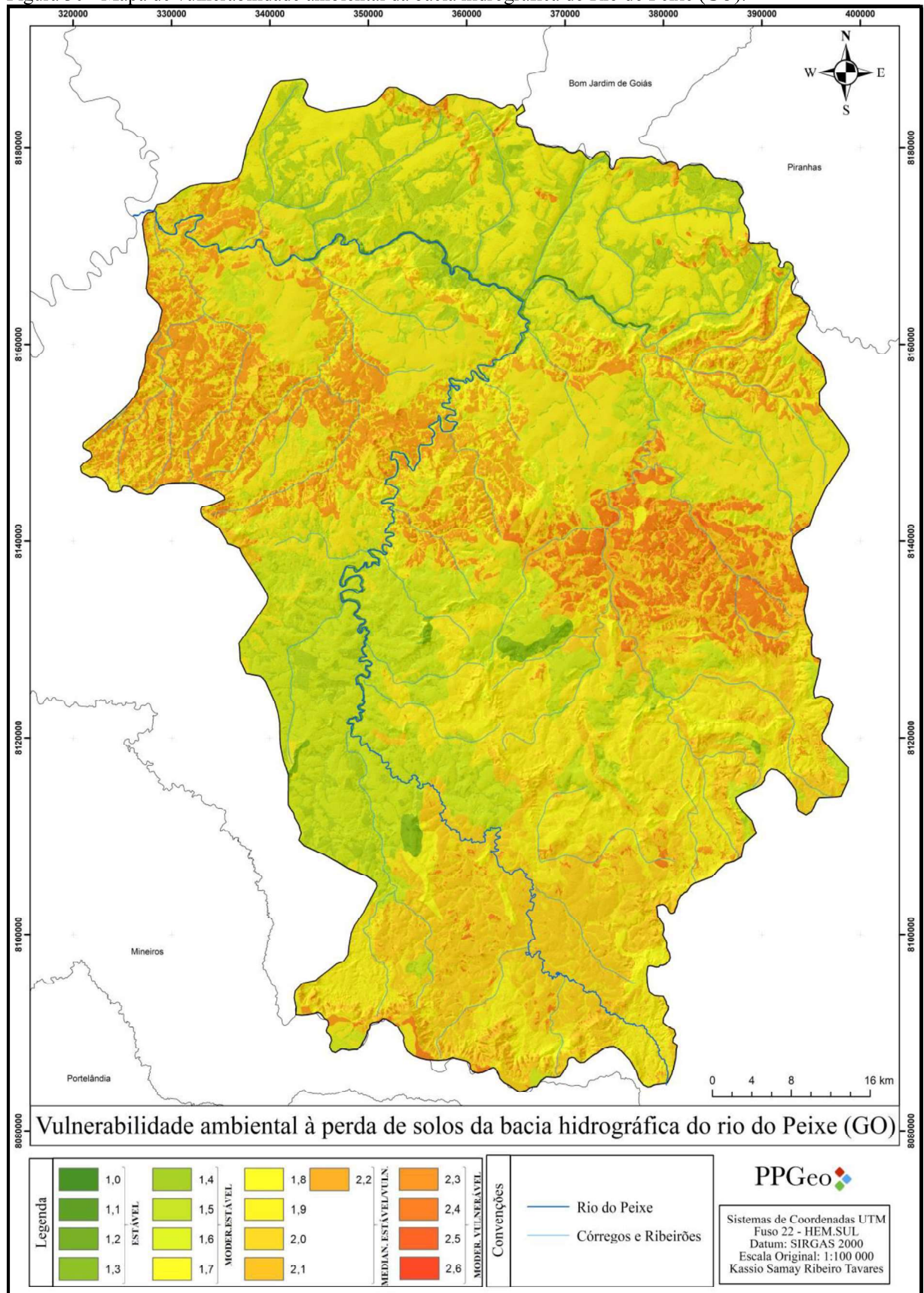
Através do mapeamento obtido da vulnerabilidade ambiental à perda de solos, observa-se que a bacia hidrográfica do Rio do Peixe apresenta valores que vão de 1,0 (estável) a 2,6 (moderadamente vulnerável), representando grande parte da área a classe medianamente estável/vulnerável, que compreende 66,82% da área representada pelos valores que vão de 1,8 a 2,2 de vulnerabilidade. O grau denominado moderadamente estável apresentou 27,97%, para esse grau correspondem os valores de 1,4 a 1,7, seguido em ordem decrescente pela classe de grau moderadamente vulnerável, representados pela vulnerabilidade 2,3 a 2,6 que em sua totalidade somam 4,56%. O grau de vulnerabilidade estável com 0,62% consistiu na menor área do mapeamento, que começam em 1,0 e vai até 1,3. Todos esses valores estão expressos na tabela 6 e figura 30.

Tabela 6– Vulnerabilidade ambiental (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

grau de vulnerabilidade	vulnerabilidade	área (km <sup>2</sup> )	%
<b>ESTÁVEL</b>	1,0	8,716031	0,17%
	1,1	5,115369	0,10%
	1,2	11,01604	0,21%
	1,3	7,251232	0,14%
<b>MODERADAMENTE ESTÁVEL</b>	1,4	52,84156	1,03%
	1,5	359,34087	6,99%
	1,6	932,2653	18,15%
	1,7	93,57831	1,82%
<b>MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL</b>	1,8	535,191358	10,42%
	1,9	1616,1131	31,46%
	2,0	770,650797	15,00%
	2,1	173,836277	3,38%
	2,2	337,273242	6,56%
<b>MODERADAMENTE VULNERÁVEL</b>	2,3	221,170627	4,30%
	2,4	13,322325	0,26%
	2,5	0,027401	0,001%
	2,6	0,000158	0,000003%

Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 30 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As áreas correspondentes as menores vulnerabilidades (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, classes que correspondentes as bordas dos principais rios e córregos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe. Nestas áreas também se localizam os solos mais profundos e intemperizados, como exemplo os latossolos vermelho e amarelo.

A classe medianamente estável/vulnerável expressa a maior parte da bacia, em grande maioria corresponde a áreas agrícolas e considerável atuação antrópica como as pastagens e solo exposto. Essa classe também expressa valores nas regiões de declividade fortemente onduladas e montanhosas, bem como zonas de erosão recuante, morros e colinas. Observa-se também que comparados ao mapa geomorfométrico (figura 29) grande parte dessas áreas foram caracterizadas como medianamente estável/vulnerável.

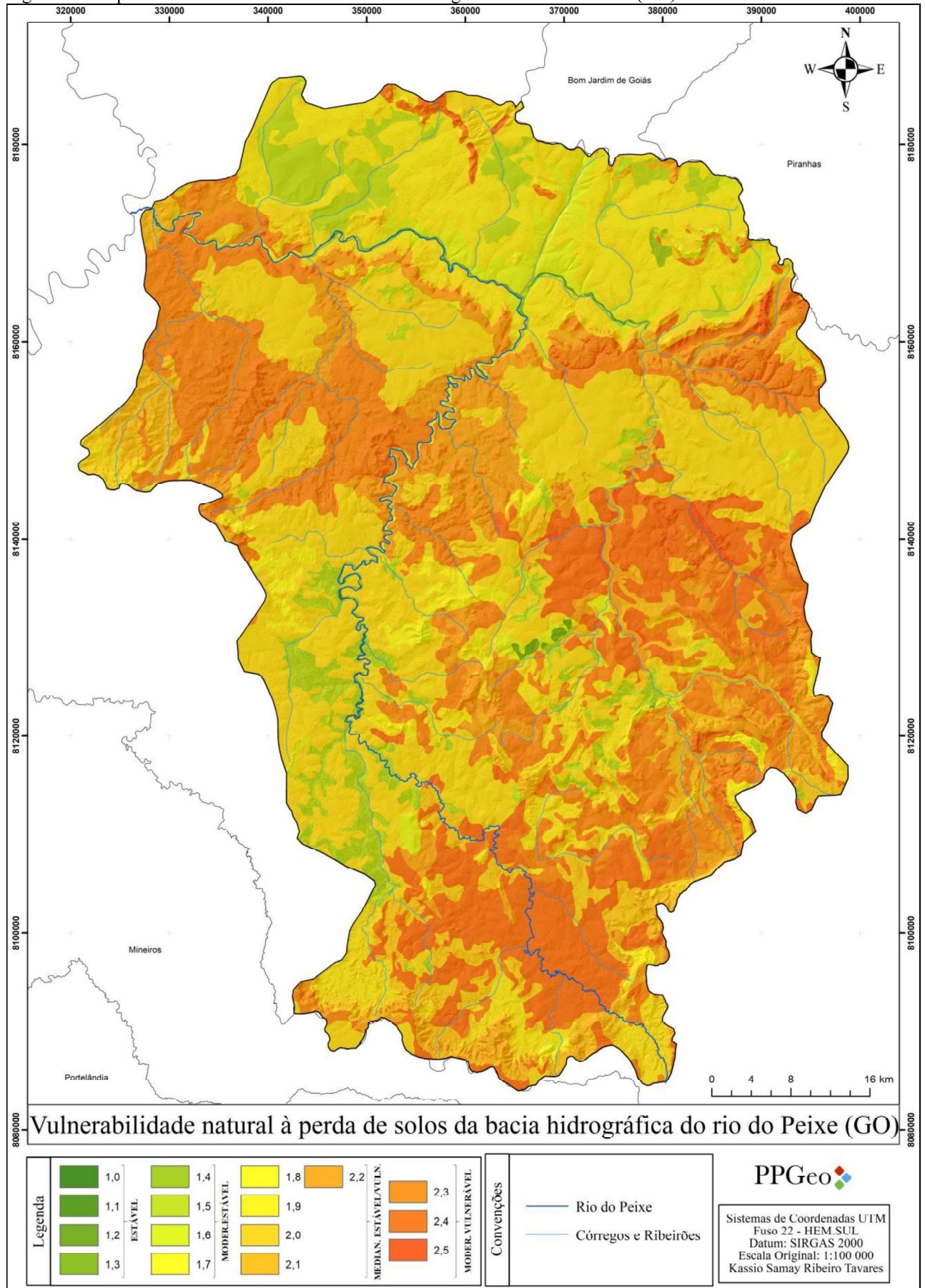
As áreas de maior vulnerabilidade estão majoritariamente localizadas nas regiões central, leste e oeste da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, podendo ser associadas à junção do relevo ondulado, presença de agradações, litologia composta basicamente arenitos e pedologia representada por neossolos quartzarênicos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

#### 4.10.2 Vulnerabilidade natural à perda de solos

Pelos valores obtidos a partir do mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos, é possível dizer que a bacia hidrográfica do Rio do Peixe apresenta valores de vulnerabilidade que se iniciam em 1,0 (estável) e vão até 2,5 (moderadamente vulnerável) (Figura 31). Observa-se pela tabela 7, que a área da bacia compreende cerca de 76% de classes no intervalo de 1,8 a 2,2, consideradas por Crepani et al. (2001) como grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável. Os valores de 2,3 a 2,5 apresentaram pouco mais de 14%, considerada moderadamente vulnerável, ou seja, os maiores valores de vulnerabilidade encontrados pelo mapeamento realizado.

A classe de vulnerabilidade com o grau correspondente a moderadamente estável representou um total de 9,78% da área, classificada pelos valores que se iniciam em 1,4 e chegam a 1,7, de acordo com Crepani et al. (2001). As áreas que apresentaram maior estabilidade de 1,0 a 1,3 tiveram cerca de 0,20% da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, consideradas como estável.

Figura 31- Mapa de vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Tabela 7– Vulnerabilidade natural (%) da bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

<b>grau de vulnerabilidade</b>	<b>vulnerabilidade</b>	<b>área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>ESTÁVEL</b>	1,0	0,967969	0,02%
	1,1	0,596857	0,01%
	1,2	3,739686	0,07%
	1,3	7,971902	0,16%
<b>MODERADAMENTE ESTÁVEL</b>	1,4	11,53131	0,22%
	1,5	59,13988	1,15%
	1,6	285,7715	5,56%
	1,7	146,3782	2,85%
<b>MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL</b>	1,8	473,6232	9,22%
	1,9	1666,393	32,44%
	2,0	398,511	7,76%
	2,1	432,3357	8,42%
	2,2	891,7568	17,36%
<b>MODERADAMENTE VULNERÁVEL</b>	2,3	727,0875	14,15%
	2,4	31,35836	0,61%
	2,5	0,292095	0,01%

Elaborado pelo autor, 2020.

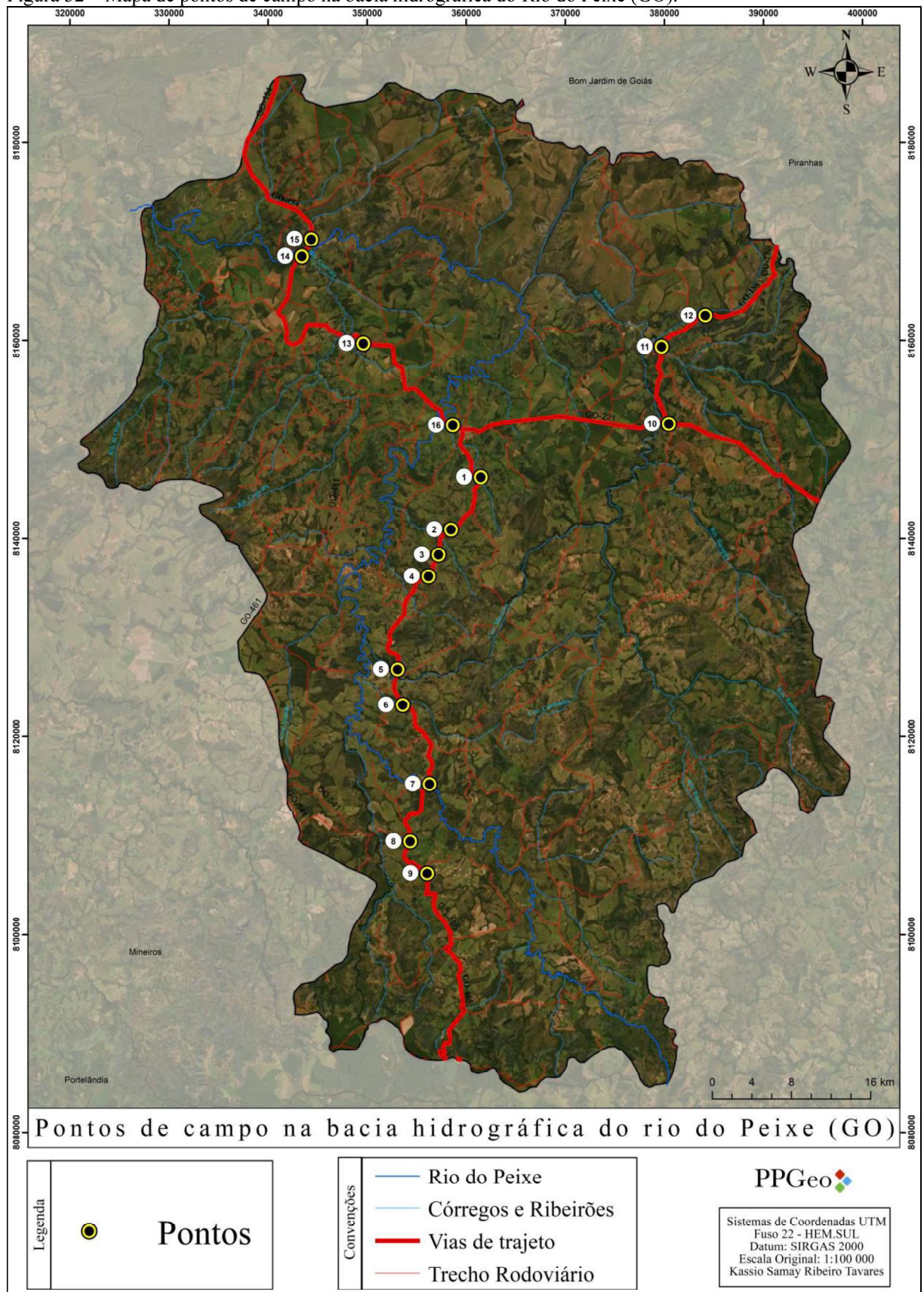
Áreas com classificação estável e moderadamente estável decorrem, principalmente, da presença de remanescentes de Cerrado nativo, bem como florestas de galeria presentes no decorrer de alguns rios e córregos. Estas áreas devido à boa cobertura vegetal e também pelo processo de desaceleração da água das chuvas tendem a perder menos solos, pois nesses pontos a força energética da água é menor. Outro fator observado diz respeito à geomorfologia, sendo estas regiões de aplainamento e com poucas ondulações.

A classe medianamente estável/vulnerável compreende as áreas onde não há presença de vegetação e/ou ausência de vegetações mais densas, são basicamente compostas por pastagens e solo exposto onde apresentam uma vulnerabilidade maior. São localidades também onde possuem um relevo mais ondulado e com valores moderados de vulnerabilidade geomorfológica.

#### 4.10.3 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 informações referentes aos resultados, bem como a elaboração de um mapa com os pontos georreferenciados (figura 32). O mapa apresenta 16 pontos de coleta, referentes a diferentes classes de vulnerabilidade, para esses pontos foram observados os fatores utilizados na metodologia e também realizado a captura de imagens referentes a cada ponto.

Figura 32 – Mapa de pontos de campo na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os pontos de 1 a 9 foram coletados no curso da GO-465, sentido norte-sul, iniciando na cidade de Doverlândia em sentido para o front da cuesta da Serra do Caiapó. No primeiro ponto, de acordo com os valores de mapeamento de vulnerabilidade ambiental e natural, 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 (figura 33). A junção desses fatores e a tipologia de solos e litologia arenítica resultam nesse alto valor de vulnerabilidade.

Figura 33 – Ponto 1 – uso agropecuário, relevo levemente ondulado e solo arenoso na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).

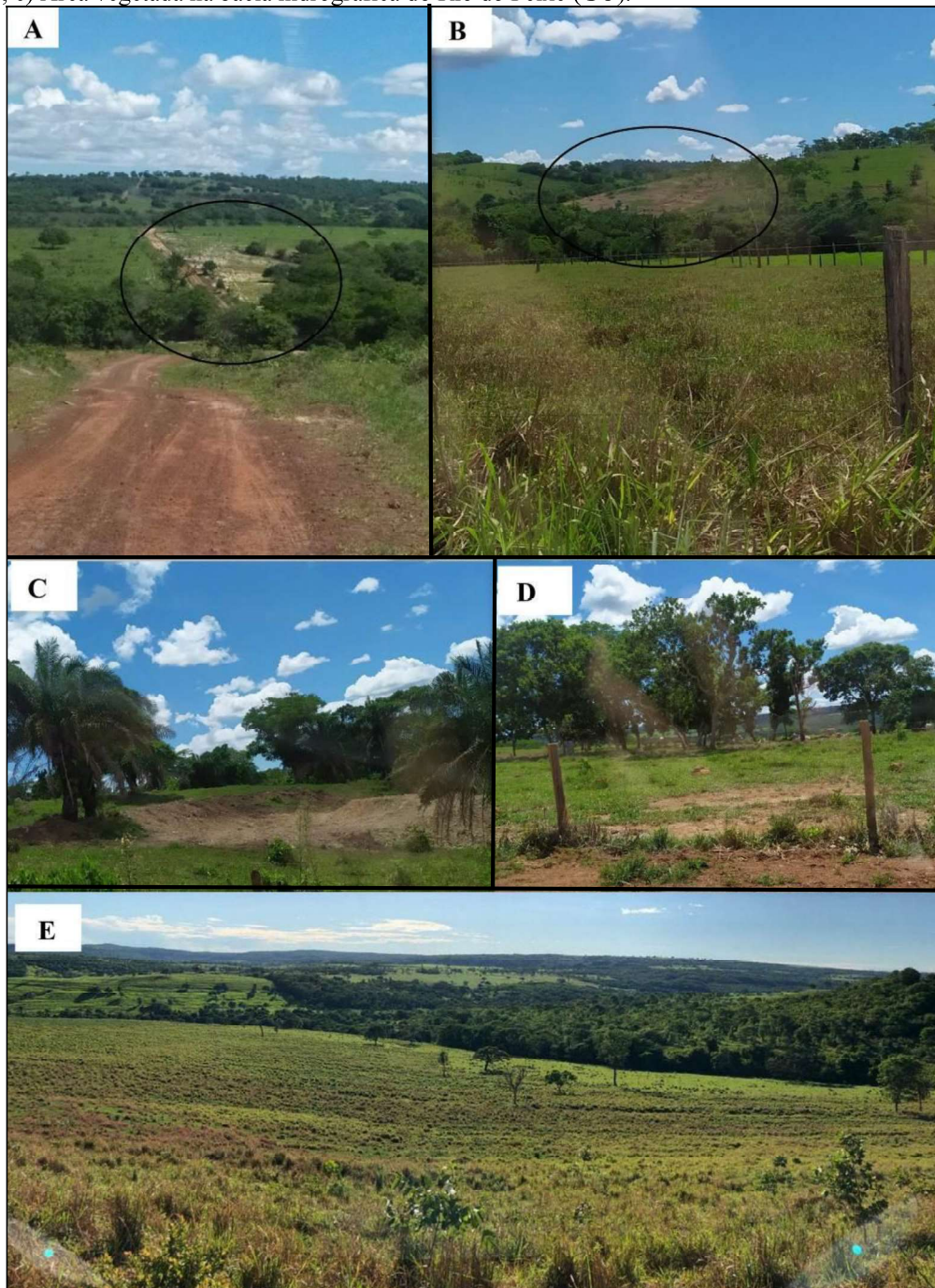


Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Em todo o trajeto dos pontos 2, 3 e 4 são avistados processos erosivos (figura 34-a e b), localizados principalmente em áreas de pastagem e próximo de fazendas. Esses pontos evidenciam vulnerabilidades que vão de 1,6 a 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 (figura 34-c). O manejo tem influência direta no desenvolvimento de erosões, quando se promove a retirada

exagerada da cobertura vegetal para o pasto, a camada 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 (figura 35-d). O ponto 4 apresenta o menor valor de vulnerabilidade desses três, com 1,6, evidenciando um relevo plano e levemente ondulado com presença de grandes áreas de vegetação nativa e cobertura vegetal graminosa (figura 34-e).

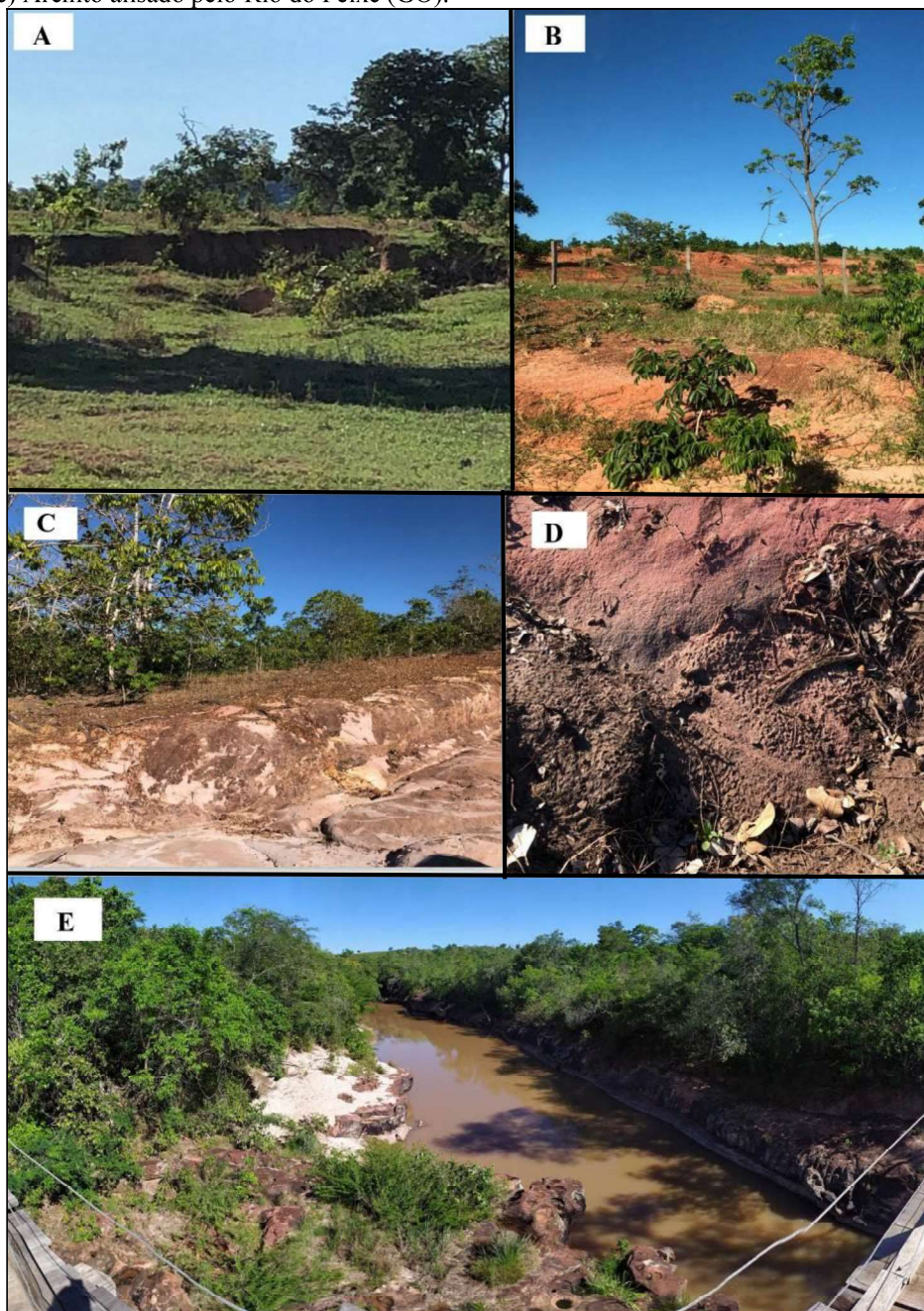
Figura 34 – a) e b) Processos erosivos; c) Bacia de contenção próximo a processo erosivo; d) Relevo levemente ondulado; e) Área vegetada na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Os pontos 5, 6 e 7 apresentam variações de vulnerabilidade que iniciam em 1,6 e chegam a 1,9. No trajeto são encontrados focos de processos erosivos (figura 35-a e b), 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 agrupamentos de rochas (figura 35-c e d). No ponto 7 é possível observar que o Rio do Peixe corre em rochas areníticas, conforme a figura 35-e, mostrando também o alisamento na rocha feito pela corrente do rio.

Figura 35 – a) e b) Processos erosivos na Formação Aquidauana; c) e d) Afloramentos arenitos esbranquiçados e vermelhos; e) Arenito alisado pelo Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

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 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 (figura 36-a). 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 (figura 36-b), bem como a litologia quartzarênica, resultando Neossolos Quartzarênicos.

Figura 36 – a) Cobertura vegetal ponto 8; b) Pastagem ponto 9.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

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. O ponto 10, no início da GO-188 já evidencia áreas de cultivo, com presença de sulcos erosivos acarretadas pelo manejo inadequado do solo (figura 37), sendo caracterizada pelo valor de vulnerabilidade 1,7.

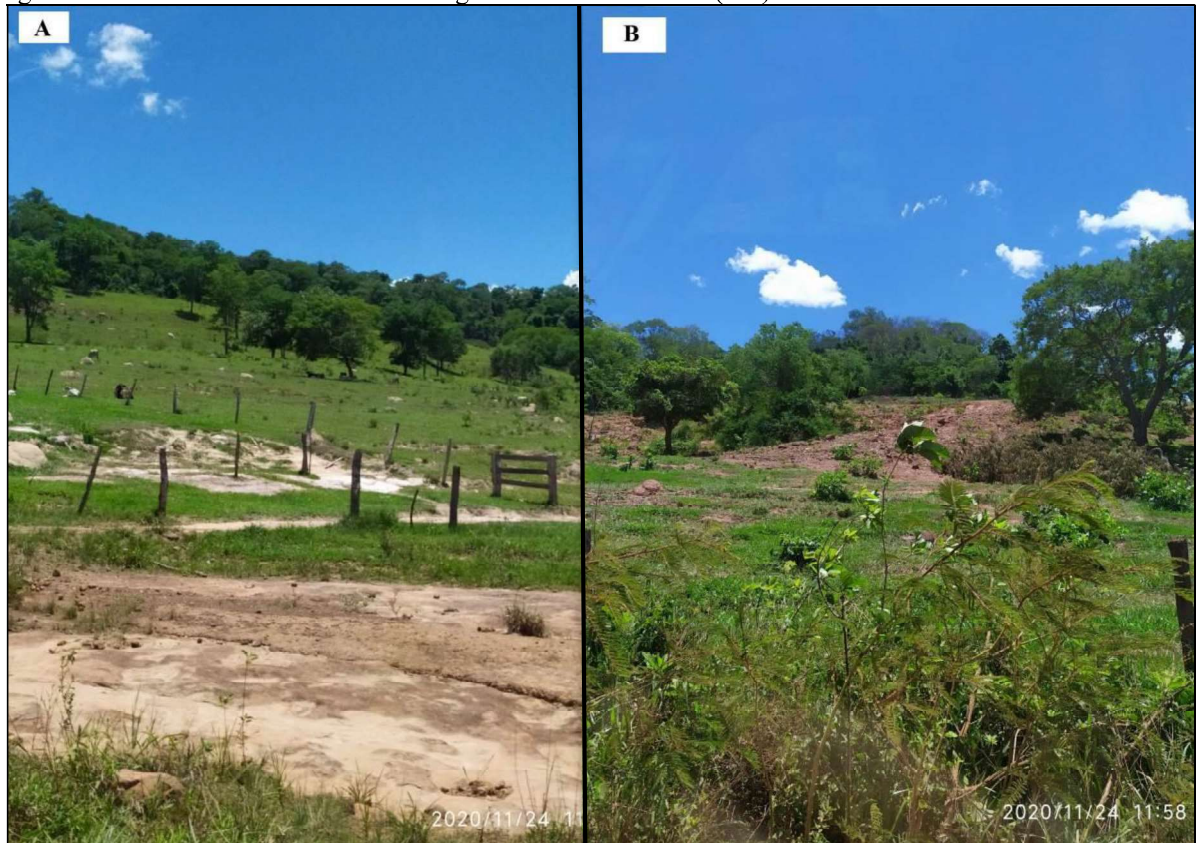
Figura 37 – Início da GO-188, agricultura e focos de processos erosivos.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

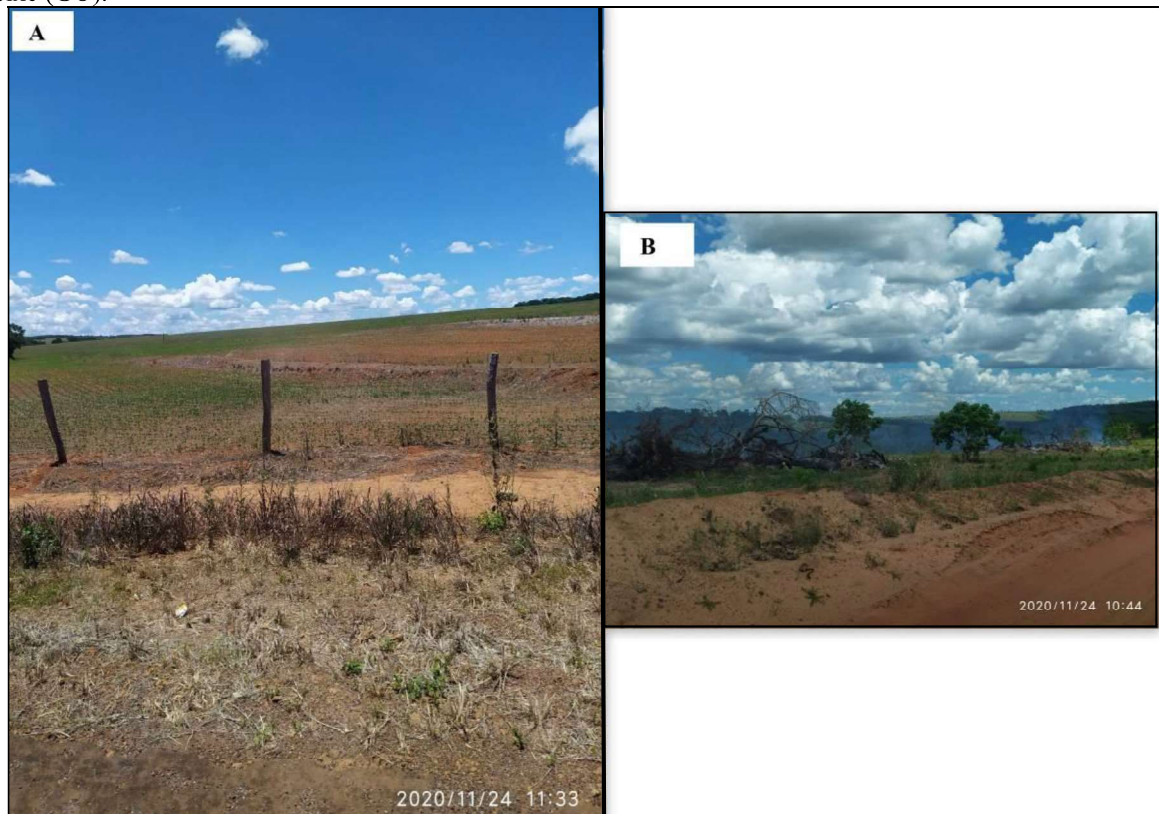
O ponto 11 apresenta relevo movimentado, e em grandes partes avistados processos erosivos (figura 38). Nessas áreas são encontradas curvas de níveis e bacias de contenção, técnicas utilizadas por agricultores e pecuaristas para evitar e conter as erosões (figura 39-a), ocasionadas também pela retirada de cobertura vegetal e inserção do gado, consequentemente, nessas áreas ocorrem várias queimadas oriundas do processo de transformação de vegetação nativa em pasto (figura 39-b). No ponto 11 foi mapeado vulnerabilidade de valor 2,0, considerada medianamente estável/vulnerável. Como avistado nos anteriores, o ponto 12 também apresenta vários focos de início de erosão.

Figura 38 – Focos de erosão na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Figura 39 – a) Curvas de nível em pasto, b) Queimada para inserção de gado na bacia hidrográfica do Rio do Peixe (GO).



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Os pontos 14 e 15 encontram-se nas proximidades do curso do Rio do Peixe, áreas areníticas, provenientes da Formação Furnas (figura 40-a). Nesse ponto, o Rio do Peixe corre sobre arenitos (figura 40-b) e apresenta extensa área florestada em seu entorno, o que consequentemente aliado ao relevo mais suave agrega valores baixos de vulnerabilidade, como o classificado para esses dois pontos, 1,5 (próximo da estabilidade).

Figura 40 – a) Rio do Peixe e área florestada, b) Rio do Peixe correndo sobre arenitos.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Os pontos 13 e 16 apresentaram vulnerabilidade 2,2, 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 (figura 41), esse tipo de uso é decorrente também da presença de fazendas no entorno da região urbana. O ponto 16, nas proximidades da cidade de Doverlândia, são avistadas áreas apresentando processos erosivos, decorrentes da falta ou manejo inadequado do solo.

Figura 41 – a) Pastagem nas proximidades do Rio do Peixe.



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

## 5 Considerações finais

Com base no conteúdo exposto, deve-se destacar que o referencial teórico da vulnerabilidade baseado nos princípios da análise da paisagem e da dinâmica ecológica fornece a base para o desenvolvimento da pesquisa. A pesquisa buscou explicar a inter-relação do ambiente natural, considerando as características do ambiente e a interação do homem nessas áreas.

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

Pontua-se também a importância do geoprocessamento e recursos de sensoriamento remoto, que tem contribuído, significativamente, para a realização dessa 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 de amplitude altimétrica pelo fator de distância vertical a drenagem mais próxima (HAND) dentro da metodologia de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et al.

(2001) mostrou-se efetiva na determinação de valores de altura local, a qual em comparação com os valores de amplitude altimétrica obteve-se resultados satisfatórios e próximos do que se pretende para o fator original da metodologia.

Análise da vulnerabilidade à perda de solo, com base na metodologia de Crepani et al. (2001), mostrou-se eficaz na identificação dos locais de maior vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Peixe, tendo em vista à adaptação do tema relacionado à amplitude altimétrica, neste estudo. Esta análise pode ser entendida como uma ferramenta de planejamento para identificar os locais mais vulneráveis, possibilitando atividades de planejamento e mitigação. 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, áreas de plantio e agropecuária, em que não se é analisado corretamente os atributos prévios e necessários para a implementação de um uso ou outro na localidade. O manejo inadequado ou a falta dele traz consequências evidenciadas em toda bacia hidrográfica, em especial nas áreas de uso agropecuário, que é o caso das erosões. As erosões foram observadas em várias magnitudes e situações, indo de sulcos erosivos a ravinamentos.

Portanto, o uso e cobertura do solo de acordo com suas características morfodinâmicas e sua vulnerabilidade à perda de solo levariam a usos mais adequados para mitigar e prevenir 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.

Este trabalho fornece subsídios para ser replicado em estudos de qualquer bacia hidrográfica, principalmente com declividades suaves e onduladas ou usos suscetíveis, de forma a contribuir no planejamento, prevenir desastres, possibilitando também avaliar quais são os fatores influenciados por uma grande entrada de energia.

Recomendam-se estudos de Potencialidade Social e econômicos da área de estudo, pois complementariam a pesquisa para o zoneamento ecológico econômico (ZEE) desta bacia hidrográfica. Vale destacar que a presença de uma base cartográfica mais detalhada para o estudo da bacia hidrográfica do Rio do Peixe em questão seria fundamental para melhorar os resultados obtidos no presente trabalho.

## Referências

- ADGER, W.N. **Vulnerability**. Global Environmental Change, v.16, n.3, p.268-281, 2006.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- Agência Nacional de Águas (ANA). Rede Hidrometeorologica Nacional. Portal HidroWeb. **Series históricas 1998-2018**. Disponível em <  
[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf) > Acesso em: 8 de Out. de 2018 às 18:45. 2018
- ALVARENGA, C. J. S.; GUIRAMÃES, E. M. **Siluro-Devoniano na margem noroeste da Bacia do Paraná, região entre Diorama e Amorinópolis, GO**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4, 1994, Brasília.
- ARAÚJO, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE: São José dos Campos, 2006.
- Banco de dados e informações ambientais – BDIA. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2019. Acesso em 14 de agosto de 2020. Disponível em :<  
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/23382-banco-de-informacoes-ambientais.html>>.
- BARBALHO, M. G. S. **Morfopedologia Aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio - Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.
- BATISTA, P. H. L. **Projeto de geoprocessamento: Aplicação do modelo de terreno HAND para a folha SD-23-Y-C**. Universidade de Brasília. Departamento de Pós Graduação em Geotecnia. Brasília, 2012.
- BERTALANFFY, L. V. **General System theory**. New York. Ed. George Braziller, 1968.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo: USP. 1972.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A. **Glossary of Geology**. 3rd Edition, American Geological Institute, Alexandria, 788 p. 1987.
- CABACINHA, C. D. **Caracterização estrutural e física de fragmentos de mata de galeria na alta bacia do rio Araguaia**. Tese de Doutorado (Ciências Ambientais) Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

CASTRO, S.S. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: Distribuição, Condicionantes, Origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia - USP** 17, 38-60. 2005.

CAREY, R. O.; MIGLIACCIO, K. W.; LI, Y.; SCHAFFER, B.; KIKER, G. A.; BROWN, M. T. Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 5, p. 1093-1104, 2011.

CARNEIRO, G. T. **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. 2012

CHEREM, L. F. S. **Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas – MG**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Belo Horizonte, 2008.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. São Paulo: Makron Books, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COLLIN, M. L.; MELLOUL, A. J. Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development. **Journal Cleaner Production**, v. 11, n. 7, p. 727–736, 2003.

COSTA, T. C. C.; SANTOS, P. R. A.; GUIMARÃES, S. P. **Extração de variáveis topográficas do modelo digital de elevação SRTM para o estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. p. 23. 2005.

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; FILHO, P. H; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRUZ, L. Beatriz Silva. **Diagnostico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG**. 182p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. 2003.

Doverlândia (GO). **Prefeitura de Doverlândia**. 2017. Disponível em: <https://doverlandia.go.gov.br/historia/>, acesso em: 12 de mar. de 2018. 2017.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5º ed. Brasília, DF. 2018

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleoecológicos. **Notícia Geomorfológica**, n. 11, p. 51-58, jun. 1966.

ESTEVES, C. J. O. Risco e vulnerabilidade socioambiental: aspectos conceituais. **Caderno IPARDES**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 62-79. 2011.

FABIÃO, A.; FABIÃO, A. M. D. **Os Ecossistemas Ribeirinhos**. In: Do Castanheiro ao Teixo: as Outras Espécies Florestais. Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007 p.91-111.

FARIA, K. M. S. DE; **Degradações e viabilidade de restauração da bacia do Rio Claro (GO)**. Tese de Doutorado - Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FARIA, K. M.S. **Caracterização dos remanescentes de cerrado e suas relações com o uso e ocupação das terras da alta bacia do rio Araguaia 2006**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; RODRIGUES, G. S.; CALDEIRA-PIRES, A.; FREITAS RO-SA, M.; ARAGÃO, F. A. S. de, VIEIRA, V. D. P. P. B.; MOTA, F. S. B. Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations – Part 2: methodological approach for performing vulnerability analysis of watersheds. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 14, p. 1376-1385, 2010.

GONÇALVES, A.; SCHNEIDER, A. C. **Geologia do Centro-Leste do Mato Grosso**. Ponta Grossa: PETROBRÁSDESUL, 43p. 1970.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 192p. 2006.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

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

GUIMARÃES, R. C. **Bacia Hidrográfica**. In: Shaidian, S., Guimarães, C. R. e Rodrigues, C. M. Hidrologia Agrícola. Universidade de Évora. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geomorfologia**. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **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). 2010, Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

JARVIS, A.; RUBIANO, J.; NELSON, A.; FARROW, A.; MULLIGAN, M. **Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), p. 33. 2004.

KLAIS, T. B. A. et al. **Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil**. **Revista Ambiental Água**., vol.7, n.2, p.277-290. 2012.

KUNDZEWICZ, Z.; MATA, L.; DOLL, P.; KABAT, P.; JIMÈNEZ, B.; MILLER, K.; OKI, T.; SEN, Z.; SHIKLOMANOV, I. **Fresh water resources and theirs management**. In: PARRY, M., CANZIANI, O., PALUTIKOF, J., VAN DER LINDEN, P., HANSON, C. (Eds.), *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 173-210. 2007.

LACERDA FILHO, J. V. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. 1:500.000**. Goiânia: CPRM, 1999.

LEITE, E. F., ROSA, R. Mapeamento geomorfológico: A carta de energia do relevo da bacia hidrográfica do rio Formiga-TO. **Revista Brasileira de Geografia Física**. n. 02. P. 269-284. 2012.

LOPES, M. S.; SALDANHA, D. L. Análise de vulnerabilidade natural a erosão como subsidio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã – RS. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº68/9. Edição especial Movimentos de massa e processos erosivos. Rio de Janeiro. 2016. p.1689-1708.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. ABRH, 2001.

MENEZES, P. M. L.; COELHO NETO, A. L. **Escala: estudo de conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: GEOCart-UFRJ, 6p, 2003. Disponível em: <[http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala\\_Conceitos\\_Aplic.pdf](http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf)>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

MERTEN, G.; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. **Revista Agroecologia e desenvolvimento Rural Sustentável**, Emater, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MORIN, E. **O Método 1: a natureza da natureza**. Publicações Europa-América Ltda. 1977.

NEOTROPICA TECNOLOGIA AMBIENTAL, EIBH, **Estudo integrado de bacia hidrográfica para avaliação do aproveitamento hidrelétrico no estado de Goiás**. EIBH – Bacia do Rio do Peixe, Goiânia, 2010.

Organização das Nações Unidas – ONU. **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015- 2030**. Genebra: UNISDR. Disponível em: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf). Acesso em: 15 de mar. de 2019. 2015.

PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos SRTM, cartas topográficas e GPS numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.58 v.1. Rio de Janeiro: ABC, p. 9, 2006.

PISSARRA, T. C. T. **Análise da bacia hidrográfica do córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e Fotografias aéreas verticais**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; SILVA, H. R.; Simetria de microbacias de primeira ordem de magnitude na região de Ilha Solteira, SP. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: UNESP, v.18, n.4, p.123-131, jun. 1999.

PNUD. **Relatório do desenvolvimento humano 2014**. Goiânia 2018

POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Relações entre característica morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2º ordem de magnitude. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: UNESP. v.23, n.1, p.179-186. 2003.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Revista Estudos Avançados**, 22(63):43-60. 2008.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTA, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. & WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 3469-3481. 2008.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do alto rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 11, n 6. Campina Grande, 2007. P.628-636.

ROBINSON, L. W., ERICKSEN, P. J., CHESTERMAN, S., WORDEN, J. S. What resilience and vulnerability can tell us. **Agricultural Systems**, v. 135, p. 133-140, 2015.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. In: RO-CHA, J. S. M, KURTZ, S. M. J. M. (Org.) Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, p.302. 2001.

ROSIM, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNO, C. D.; SOUZA, de R. C. M.; SOARES, J. V. **Terrahidro - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos**. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003. Anais. p. 2589-2596, 2003.

SANTOS, J. M. Na esteira da abordagem sistêmica. In: SANTOS, J. M.; FARIA, M. **Reflexões e construções geográficas contemporâneas**. Salvador: Grasb, 2004. p. 35-57.

SOUZA, M. L. **Os conceitos fundamentais da pesquisa socioespacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de Sistemas de Informação**. Ed.: Cengage Learning, 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Recursos Naturais e meio ambiente. Rio de Janeiro. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, n.1, 1977.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande: UFCG, v.7, n.3, p.529-546, 2003.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE, p. 56. 2002.

VALERIANO, M. M., CARVALHO JUNIOR, O. A., Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n.1, p.17-29. 2003.

VALERIANO, M. M.; GARCIA, G. J. **The estimate of topographical variables for soil erosion modelling through geoprocessing**. International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, 33. Amsterdam, 2000. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Amsterdam: ISPRS, v.33, part B, p.678-685, 2000.

VALLE J. R. F.; VARANDAS, S. G. P.; SANCHES F., L. F.; PACHECO, F.A.L. **Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation**. Land Use Policy, v. 41, p.172–185, 2014.

VISSMAN JR. W.; KNAPP J. W.; LEWIS G. L. and Harbaugh T. E. **Introduction to Hydrology**. 2 ed., Harper and Row, New York. 1977.

WALKER, B. **Global change extensive strategy agriculture options in the regions of the world**. **Climatic Change**, v. 27, p. 39-47, 1994.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. São Paulo: Editorada UNESP, 2010.

ZACHARIAS, A. A.; GUERRA, F.C. **A cartografia de paisagens em áreas com vulnerabilidade aos riscos ambientais: reflexões e estudo de caso**. In: Cartografia Biogeográfica e da paisagem: volume 2. 1 ed. Tupã, ANAP, p. 277. 2019.