UNIVERSIDADE FEDERAL DE JATAÍ (UFJ)
UNIDADE ACADÊMICA DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RAFAEL GOMES PEREIRA

ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO

JATAÍ
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS

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.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFJ

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Jataí (UFJ) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFJ), 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/UFJ 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

[X] Dissertação [ ] Tese

2. Nome completo do autor

Rafael Gomes Pereira

3. Título do trabalho

ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO

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

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

[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 **Alécio Perini Martins**, **Professor do Magistério Superior**, em 17/12/2021, às 11:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL GOMES PEREIRA**, **Discente**, em 19/12/2021, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

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, informando o código verificador **2583139** e o código CRC **F45D8A04**.

Referência: Processo nº 23070.044384/2021-87 SEI nº 2583139

RAFAEL GOMES PEREIRA

ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO

Dissertação apresentada ao Programa da Pós-Graduação em Geografia/PPGGeo- *Stricto Sensu*-Universidade Federal de Jataí – UFJ, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geografia.
Área de concentração: Organização do Espaço nos Domínios do Cerrado Brasileiro. Linha de Pesquisa: Análise Ambiental do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. Alécio Perini Martins

JATAÍ
2021

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

Pereira, Rafael Gomes
ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO / Rafael Gomes Pereira. - 2021.
CVIII, 108 f.

Orientador: Prof. Dr. Alécio Perini Martins.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Jataí, Unidade Acadêmica Especial de Estudos Geográficos, Jataí, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Jataí, 2021.
Bibliografia.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Fragilidade Ambiental. 2. Geotecnologias. 3. Gestão de bacias hidrográficas. 4. Uso e ocupação da Terra. I. Martins, Alécio Perini, orient. II. Título.

CDU 911

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO - REGIONAL JATAÍ

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **16** da sessão de Defesa de Dissertação de **Rafael Gomes Pereira**, que confere o título de Mestre em **Geografia**, na área de concentração em **Organização do Espaço nos Domínios do Cerrado Brasileiro.**

Aos **vinte quatro dias do mês de setembro de 2021**, a partir das **14h**, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **"ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO"**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Alécio Perini Martins (UAEEGEO /UFJ)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Laís Naiara Gonçalves dos Reis (UEG/Unidade de Itapuranga)**, membro titular externo; Professor Doutor **João Batista Pereira Cabral (UAEEGEO/UFJ)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho conforme explicitado abaixo. 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 **Alécio Perini Martins**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, **aos vinte quatro dias do mês de setembro de 2021.**

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO - GO

Documento assinado eletronicamente por **Alécio Perini Martins**, **Professor do Magistério Superior**, em 14/12/2021, às 09:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Joao Batista Pereira Cabral**, **Professor do Magistério Superior**, em 15/12/2021, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **LAIS NAIARA GONCALVES DOS REIS**, **Usuário Externo**, em 17/12/2021, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

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, informando o código verificador **2572205** e o código CRC **A6F538AF**.

Referência: Processo nº 23070.044384/2021-87 SEI nº 2572205

Os Programas de Pós-Graduação stricto sensu, ora em funcionamento na Universidade Federal de Jataí (UFJ), em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, continuam provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás (UFG), no entanto, todos os elementos pré-textuais do trabalho apresentado estão identificados como Universidade Federal de Jataí, em função da migração da BDTD ter ocorrido a partir de 16 de agosto de 2021, e pelo fato das pesquisas e produções estarem sendo realizadas na UFJ.

Dedico a toda minha família, agradeço pelo
apoio, confiança e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo.

Agradeço em especial o Professor Doutor Alécio Perini Martins, pelas orientações, conhecimento, aprendizagem e principalmente pela paciência durante toda essa caminhada.

Agradeço aos Professores Doutores: João Batista Pereira Cabral, William Ferreira da Silva e Márcia Cristina da Cunha.

De forma geral, agradeço a todos Professores e demais departamento do Programa de Pós-Graduação em Geografia -PPGGEO.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio financeiro.

RESUMO

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Bonito, que apresenta uma área de 2.017 km², localizada no Sudoeste do Estado de Goiás entre os municípios de Arenópolis, Caiapônia e Palestina de Goiás. Inicialmente foi realizada a análise fisiográfica da bacia com suporte em atividades de campo, analisando temas como geologia, o solo, relevo e precipitação, além da dinâmica temporal de uso e ocupação da terra. Partindo desta análise, o presente estudo teve como objetivo geral analisar a fragilidade ambiental da bacia do Bacia Hidrográfica do Rio Bonito, de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994) visando entender a dinâmica da bacia hidrográfica em relação aos seus aspectos físicos e de ocupação antrópica, além de demostrar a importância do emprego das geotecnologias em estudos de planejamento e gestão de uma bacia hidrográfica. Foram utilizadas bases cartográficas de órgãos como IBGE, CPRM, EMBRAPA, entre outros, obtidas junto ao Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG), imagens de satélite Landsat (5 e 8) dos anos de 1989 e 2019, imagens SRTM para mapeamento e análise do relevo, e dados coletados em campo para aplicar a metodologia de Análise Empírica da Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994) e validar o mapeamento. Os resultados demostraram que a bacia apresenta uma área de 1.231 km² (61%) com alta fragilidade potencial e 1.091 km² com alta fragilidade emergente (54%), indicando que a presença de relevos com forte dissecação associados a áreas de neossolos e práticas agropecuárias apontam para a necessidade do desenvolvimento de práticas conservacionistas na bacia. Ainda, foi identificada a perda de 344 Km² de vegetação nativa (17% da área da bacia) entre os anos de 1989 e 2019.

PALAVRAS-CHAVE: Fragilidade Ambiental**;** Geotecnologias; Gestão de bacias hidrográficas; Uso e ocupação da Terra.

ABSTRACT

The study was carried out in the Rio Bonito Hydrographic Basin, which covers an area of 2017 km², located in the southwest of the State of Goiás, between the municipalities of Arenópolis, Caiapônia and Palestina de Goiás. Initially, a physiographic analysis of the basin was carried out, supported by field activities, analyzing themes such as geology, soil, relief and precipitation, in addition to the temporal dynamics of land use and occupation. Based on this analysis, this study aimed to analyze the environmental fragility of the Bonito River Basin basin, according to the methodology proposed by Ross (1994) in order to understand the dynamics of the hydrographic basin in relation to its physical and physical aspects. anthropic occupation, in addition to demonstrating the importance of using geotechnologies in planning and management studies of a hydrographic basin. Cartographic databases from agencies such as IBGE, CPRM, EMBRAPA, among others, obtained from the State Geoinformation System of Goiás (SIEG), Landsat satellite images (5 and 8) from 1989 and 2019, SRTM images for mapping and relief analysis, and data collected in the field to apply the methodology of Empirical Analysis of Environmental Fragility (ROSS, 1994) and validate the mapping. The results showed that the basin has an area of 1,231 km² (61%) with high potential fragility and 1,091 km² with high emerging fragility (54%), indicating that the presence of reliefs with strong dissection associated with neosoil areas and agricultural practices indicate for the need to develop conservation practices in the basin. Furthermore, the loss of 344 km² of native vegetation (17% of the basin area) was identified between 1989 and 2019.

KEYWORDS: Environmental Fragility; Geotechnologies; Watershed management; Land use and occupation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapa 01 - Localização da Bacia hidrográfica do Rio Bonito..... 39

Mapa 02 -Validação, contendo informações sobre as áreas de verificação em campo e pontos de coleta de solo..... 54

Mapa 03 - Mapa da divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito em alto, médio e baixo curso..... 58

Mapa 04 - Formações geológicas da BHRB..... 63

Mapa 05 - Mapa das rochas encontrada na BHRB..... 65

Mapa 06 - Mapa dos tipos de solos encontrado na BHRB..... 69

Mapa 07 - Mapa hipsométrico da BHRB..... 71

Mapa 08 - Mapa de declividade em porcentagem para BHRB..... 73

Mapa 09 - Mapa de dissecação do relevo para BHRB..... 74

Mapa 10 - Mapa de localização das estações pluviométricas..... 78

Mapa 11 - Mapa de precipitação pluviométrica da BHRB..... 80

Mapa 12 - Mapa da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito..... 85

Mapa 13 - Mapa do uso e cobertura da terra de 1989 da BHRB..... 87

Mapa 14 - Mapa do uso e cobertura da terra de 2019 da BHRB..... 88

Mapa 15 - Áreas de conversão de vegetação para agropecuária entre 1989-2019..... 91

Mapa 16 - Mapa da Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito..... 94

Figura 01 - Fluxograma para delimitação da BHRB, pelo TauDEM dentro do programa QGIS 2.18.....
..... 42

Figura 02 - Fluxograma de delimitação de uso e cobertura do solo, utilizando o ArcQGIs 10.6.1.....
..... 51

Foto 01 - Barramento da PCH Rio Bonito, no período de estiagem..... 60

Foto 02 - Barramento da PCH Tamboril, no período chuvoso..... 61

Foto 03 - Barramento da PCH Rênic, no período chuvoso..... 61

Foto 04 - Formação de Arenito, localizado no Morro do Gigante no alto curso da BHRB, dentro da formação geológica Aquidauana.....
..... 64

Foto 05 - (A)Rio Bonito período chuvoso, localizado no alto curso da bacia, na ponte da estrada que liga Caiapônia-GO a Montividiu-GO, ano 2020. (B)Rio Bonito período chuvoso, médio curso, na ponte da estrada que liga a GO-221 a BR-158, ano 2020. (C)Rio Bonito período de estiagem (seco), médio curso, na ponte da GO-221 próxima a Caiapônia-GO, ano 2021..... 68

Foto 06 - (A) Áreas com declividade e dissecação muito alta, localizada na serra do Caiapó alto curso da BHRB. (B) Declividade e dissecação muito alta, localizada no morro do Gigante alto curso da bacia. (C) Dissecação e declividade muito alta, localizada nas proximidades da PHC Tamboril, baixo curso..... 75

Foto 07 - (A) Área de desmatamento no sopé da Serra do Caiapó. (B) Área de desmatamento, localizada no córrego das Galinhas..... 92

Foto 08 - Agricultura em Neossolos quartzarênicos órticos, (A) localizada próxima a cidade de Caiapônia-GO e (B) próximo ao morro do Gigante..... 96

Foto 09 - Pastagens degradadas, (A) localizada próxima divisa do município de Piranhas-GO e (B) próximo em uma estrada vicinal que liga a BR-158, sentido Piranhas-GO..... 97

Foto 10 - Assoreamento no Rio Bonito, (A) e (B) localizada próxima ao morro do gigante, na ponte da estrada que liga Caiapônia-GO a Montividiu-GO..... 98

Foto 11 - Voçoroca em área de Neossolo, localizada em uma das vertentes do Córrego das Galinhas..... 99

Gráfico 01 - Médias mensais de precipitação entre os anos de 1989 e 2019 (mm)..... 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Análise das amostras de solo colhida no campo, textura em porcentagem (%)..... 66
Tabela 02 - Tipos de solos encontrados na BHRB..... 67
Tabela 03 - Dados mensais e anuais de precipitação das estações pluviométrica próxima da BHRB..... 76
Tabela 04 - Erosividade calculada através da precipitação das estações pluviométricas da BHRB..... 81
Tabela 05 - Classes de fragilidade dos tipos de solos, utilizando a metodologia de Ross (1994)..... 82
Tabela 06 - Classes de fragilidade da dissecação do relevo, empregando a metodologia de Ross (1994)..... 82
Tabela 07 - Classes de Erosividade das chuvas, segundo a metodologia de Carvalho (1994)..... 83
Tabela 08 - Fragilidade Ambiental Potencial..... 83
Tabela 09 - Classes de uso e cobertura da terra de 1989 e 2019 em km² e porcentagem..... 86
Tabela 10 - Fragilidade ambiental do uso e cobertura da terra de 2019, de acordo com a metodologia de Ross (1994)..... 93
Tabela 11 - Fragilidade Ambiental Emergente..... 93

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Classificação da declividade de acordo com seu potencial de fragilidade..... 43
Quadro 02 - Matriz dos índices de dissecação do relevo..... 45
Quadro 03 - Classificação da fragilidade em relação aos tipos de solos..... 47
Quadro..04 - Classes de Erosividade das chuvas expressas em (t/ha.mm/h)..... 48
Quadro 05 - Descrição dos satélites landsat-5 TM e landsat-8 OLI..... 49
Quadro 06 - Característica das bandas espectrais do satélite landsat-5 e landsat-8..... 50
Quadro 07 - Datas das imagens de satélite baixadas e utilizadas para delimitação do uso e cobertura da terra..... 50
Quadro 08 - Graus de proteção do uso da terra e cobertura vegetal..... 52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Calculadora Raster (SupPic – MDEori) 44

Equação 2 - Índice médio de erosividade por um período anual (t/ha.mm/h) 48

Equação 3 - Fragilidade Ambiental Potencial 55

Equação 4 - Fragilidade Ambiental Emergente 55

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

AMC	Análise Multicritério
ANA	Agência Nacional de Água
BHRB	Bacia Hidrográfica do Rio Bonito
CPRM	Segundo o Serviço Geológico do Brasil
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology
EMATER	Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMB	Instituto Mauro Borges
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
OSGEO	Open Source Geospatial Foundation
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SIC	Secretaria de Estado de Indústria e Comércio
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TAUDEM	Terrain Analysis Using Digital Elevation Models
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UFJ	Universidade Federal de Jataí
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 19
2 REFERENCIAL TEÓRICO 24
2.1. Geossistemas e os estudos da paisagem na Geografia 24
2.2. Análise da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. 28
2.3. Bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão de recursos naturais 31
2.4 Geotecnologias aplicadas em estudos de fragilidade ambiental 34
3 MATERIAL E MÉTODOS 38
3.1 Área de estudo 38
3.2 Procedimentos 40
3.2.1 – Delimitação da área de estudo, construção de bases cartográficas e mapeamento do relevo da bacia 41
3.2.2 Bases e Dados Vetoriais 46
3.2.2 – Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise de campo 49
3.2.3 – Mapeamento de Fragilidade de Ambientes Naturais e Antropizados. 55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 57
4.1 Análise fisiográfica da Bacia do Rio Bonito. 57
4.1.1 Geologia 62
4.1.2 Solos 66
4.1.3 Relevo 70
4.1.4 Precipitação 76
4.1.5 Erosividade 81
4.2 Fragilidade ambiental Potencial 81
4.3 Dinâmica de uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Bonito no período de 1989 a 2019. 86
4.4 Fragilidade Ambiental Emergente 93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 100
6 **REFERÊNCIAS** 102

1. INTRODUÇÃO

Após a grande exploração das regiões litorâneas e a escassez da matéria prima e solos cultiváveis, surge a necessidade de explorar novas áreas, dando então início a ocupação do Brasil Central em específico na região Centro-Oeste do país. Os primeiros movimentos para a ocupação do Cerrado Goiano aconteceram no século XVII a partir de incursões a procura de pedras preciosas, levando ao "desbravamento" do Cerrado, principalmente no estado de Goiás. De acordo com Souza (1985) bandeirantes e aventureiros partiram para o território de Goiás em busca de ouro e mão de obra indígena por volta dos séculos XVI, XVII e XVIII.

O processo de ocupação do Cerrado Goiano ganhou ênfase a partir da década de 1930 com o projeto do governo de Getúlio Vagas chamado de "macha para o oeste", onde o objetivo era ocupar novas áreas buscando novas fontes de renda e moradia. Nesta época foi construída Goiânia, que tinha como objetivo ligar Goiás aos outros Estados, e sua criação foi marcada pela construção de novas estradas tornado o centro de ligação com as demais regiões. Em 1960 após a criação de Goiânia junto com a implantação da macha para oeste, outro marco foi a edificação de Brasília e a criação da rodovia Belém-Brasília (SANTOS e SILVA, 2016).

Junto com a ocupação antrópica no Cerrado vieram os programas de crédito integrados e incorporados ao Cerrado, que tinham como objetivo principal desburocratizar as verbas para os empresários rurais nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Pesquisas foram desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para correção da fertilidade dos solos do Cerrado (GANEM, DRUMMOND e FRANCO, 2008).

Outro fator que contribuiu para o avanço da agropecuária foi a revolução verde, que tinha como objetivo o melhoramento genético vegetal, correção do solo, controle de pragas e o melhoramento do manejo das culturas. A revolução verde é um modelo que incentiva a utilização dos agrotóxicos e de fertilizantes sintéticos, com objetivo de alcançar o maior nível de produção através do desenvolvimento tecnológico (MATOS, 2016; SERRA *et al*, 2016).

O avanço da agropecuária, influenciado por diversos programas e projetos, gerou impactos no Cerrado, entre eles o desmatamento, a degradação das pastagens na pecuária e a deterioração da agricultura, que segundo Dias Filho (2014) aumenta a invasão das plantas daninhas, diminuindo a produção

Segundo dados do TerraClass (2015), o estado de Goiás em 2013 apresentava uma taxa de cobertura vegetação nativa de 41,8% do território. De acordo com Martins e Galvani (2020) utilizado dados do MapBiomas de 2019 demostra que aproximadamente o bioma Cerrado já perdeu cerca de 21% de sua área natural entre os anos de 1985 e 2018. A escala utilizada para realizar esse tipo de estudos são escalas pequenas, que não demostram os níveis de detalhe com precisão. Portanto, levando em consideração a escala de análise, essas perdas de vegetação podem ser maiores quando analisadas em maiores níveis de detalhes, em uma escala maior. Essa perda de área está diretamente relacionada com o avanço da agropecuária no Estado.

A alteração da paisagem provocada pelo processo de ocupação do Cerrado afetou a biodiversidade, causando extinção de espécies, modificação nas propriedades do solo e nos recursos hídricos (LOBO E FIORAVANTI, 2013). As consequências geradas com essa ocupação antrópica demostram que o Cerrado precisa ser conservado. Com isso, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudos para conservação dos recursos naturais do bioma. Diversos elementos estão sofrendo alterações com a forma de ocupação do solo, entre esses temos os recursos hídricos que são extremamente importantes não só para o Cerrado, como para as demais regiões do país.

A fragilidade dos recursos hídricos está diretamente relacionada com a forma do uso e ocupação das bacias hidrográficas. Nos dias atuais, o uso dos recursos hídricos tem ocorrido de forma desordenada, sem os devidos cuidados com o meio ambiente. De Assis *et al* (2014) definem que a ação antrópica nas bacias hidrográficas tem provocado impactos no meio ambiente em diferentes escalas.

Diante da importância que as bacias hidrográficas exercem na conservação de um bioma, os estudos das dinâmicas de uso e cobertura da terra e da sua fragilidade ambiental, demostram ser extremamente necessários. As alterações dos ambientes naturais do Cerrado, ocasionadas principalmente pelo desmatamento e uso inadequado do solo, contribuíram para o agravamento da fragilidade desse ambiente.

A fragilidade ambiental pode ser entendida como a capacidade do ambiente a sofrer mudanças, seja de forma natural ou pela ação antrópica (TAMANINI, 2008). O termo fragilidade ainda pode ser classificado como fragilidade potencial, representando a fragilidade natural do ambiente por relações físico-químicas, ou ainda como fragilidade emergente, relacionando-se à ação do homem nas formas de uso e cobertura da terra (ROSS, 1994; BRAGA *et al*, 2017). Para possibilitar a análise da fragilidade potencial são necessários estudos em relação à geomorfologia, à pedologia e ao clima, e para a fragilidade emergente é preciso

estudar as formas de uso e cobertura da terra, representando as ações antrópicas sobre o ambiente, em conjunto com os elementos que definem a fragilidade potencial (ROSS, 1994).

Os estudos sobre fragilidade ambiental emergente podem ser utilizados para a construção de planos de desenvolvimento territorial e para o planejamento de uso sustentável dos recursos naturais. Para Fornazieiro e Pancher (2017), os estudos desenvolvidos na fragilidade ambiental envolvem analisar, mapear, mitigar e corrigir impactos no meio ambiente.

Diante do exposto, o estudo desenvolvido é relevante devido ao papel que as bacias hidrográficas desempenham para o Cerrado, domínio morfoclimático onde se localizam as nascentes das principais bacias hidrográficas do Brasil. A Bacia Hidrográfica do Rio Bonito é afluente da Bacia do Rio Caiapó que, por sua vez, é afluente do alto curso do Rio Araguaia. O sistema hidrográfico Araguaia/Tocantins tem sofrido com diversos impactos ambientais, com destaque para o assoreamento, tornando-se uma área prioritária de recuperação através de projetos em nível federal e estadual.

O estudo da bacia se justifica pela contribuição na conservação dos ecossistemas e dos recursos naturais, elementos essenciais para a vida. O ganho ambiental desta bacia não contribuirá apenas a ela, também beneficiará as bacias hidrográficas subsequentes e, ainda, poderá subsidiar outros estudos realizados na região, tornado um ganho acadêmico importante. A análise desta bacia pode colaborar para que se tenha um desenvolvimento sustentável e um manejo adequado do uso da terra em uma região em plena expansão de atividades agropecuárias.

As mudanças do uso e ocupação da terra de forma geral são responsáveis pela alteração nas características da Bacia do Rio Bonito. O estudo desta bacia se fez necessário devido aos usos múltiplos identificados como o abastecimento de reservatórios de produção de energia, comportando três Pequenas Centras Hidrelétricas (PCH) - Rio Bonito I, Tamboril e Rênic - e contribuindo com o reservatório da PCH Mosquitão, essa já pertencente a bacia do Rio Caiapó. Ainda, identifica-se o avanço da agricultura capitalista com os cultivos de grãos em áreas antes ocupadas por pastagens, o uso dos recursos hídricos para o abastecimento público das cidades de Caiapônia e Palestina de Goiás, a criação extensiva de rebanho bovino, entre outras finalidades.

O emprego de geotecnologias na análise sistêmica da bacia pode identificar elementos como a fragilidade ambiental, sendo capaz de detectar quais são os pontos de fragilidade dentro da bacia. Além de auxiliar em estudos de áreas mais extensas, aplicação de planos de gestão,

recuperação e instrumentos político-administrativos. Com isso, o uso das geotecnologias demostra ser importante para analisar as mudanças do uso e ocupação da terra e a fragilidade ambiental, principalmente devido à dimensão em área que a bacia comporta, 2.017 km².

O município de Caiapônia, por estar situado no alto curso da Bacia do Rio Bonito e abrigar as principais nascentes, desempenha um papel importante na dinâmica da paisagem. As ações antrópicas que vem sendo desenvolvidas nesta área tem ocasionado alterações nos elementos que determinam a fragilidade do ambiente. Podemos destacar o uso e cobertura da terra entre esses elementos que vem sofrendo modificações desde sua ocupação.

A ocupação do município de Caiapônia teve início no século XIX, de acordo com Souza (1985). As principais atividades desenvolvidas naquela época eram a pecuária extensiva e pequenas culturas típicas como milho, feijão, arroz, mandioca e menos frequente cana-de-açúcar e algodão. Com o passar dos tempos, a produção ganhou novas proporções tanto na pecuária quanto na agricultura.

As atividades desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Rio Bonito (BHRB) no município de Caiapônia, atualmente ainda estão ligadas à agropecuária. No entanto, as áreas de pastagem são encontradas parcialmente degradadas, isso vem acontecendo devido a forma como os solos são manejados e a falta de aplicação das práticas conservacionistas. Já a agricultura vem ganhando força ano após ano, ocupando as áreas de pastagens e florestas nativas. Este avanço não está acontecendo de forma diversificada, mas sim através das monoculturas de soja e milho.

Os municípios de Palestina de Goiás e Arenópolis também apresentam uso da terra com predominância para a pecuária extensiva e agricultura, desde sua criação. Nos dias atuais, as principais atividades ainda são baseadas na pecuária extensiva e na agricultura, que vem ganhando território a cada ano principalmente devido às características do solo da região com alto teor de argila em áreas mais planas e suavemente onduladas.

No estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito, buscou-se compreender qual a influência do uso e ocupação da terra sobre a fragilidade apresentada pelo ambiente e, ainda, comprovar o quanto a Geografia e as Geotecnologias podem contribuir em atividades de gestão e conservação das áreas vulneráveis.

Partindo desta análise, o presente estudo teve como objetivo geral analisar a fragilidade ambiental da bacia do Bacia Hidrográfica do Rio Bonito, localizada no estado de Goiás entre os municípios de Arenópolis, Caiapônia e Palestina de Goiás, de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994).

Entre os objetivos específicos, destacam-se: a) analisar sob a perspectiva da análise sistêmica os elementos socioambientais que atuam na dinâmica da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito; b) avaliar a aplicabilidade das geotecnologias, em especial o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento, para análise, gestão e conservação dos recursos ambientais em bacias hidrográficas e; c) Mapear a paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Geossistemas e os estudos da paisagem na Geografia

O pensamento sistêmico teve origem na década 30 com Ludwig Von Bertalanfy e Alexander Bogdanov, estando a teoria sistêmica relacionada à conexão do meio ambiente e seus elementos (TROPPMAIR e GALINA, 2006). Os autores ainda relatam que o pensamento sistêmico foi um grande marco para a Geografia, expõem que os estudos desenvolvidos devem ser realizados de forma dinâmica e não de forma isolada, única, conforme herança do positivismo.

Segundo Rosolém e Archela (2010), a conjectura sistêmica está relacionada com os elementos da paisagem, tendo uma relação com os elementos físicos (rocha, solo, relevo, ...), biológicos (ecossistemas, fauna, flora, ...) e antrópicos (ações do homem). Os estudos sistêmicos analisam as informações e relações entre o homem e natureza, analisando-os de forma dinâmica e interligada. De acordo com Tricart (1977, p.19), "o conceito de sistema é, atualmente, o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente". Neves et al. (2014) complementaram ao argumentar que:

> Sob a perspectiva da TGS [Teoria Geral dos Sistemas], um conjunto sistêmico se organiza com base nas inter-relações entre unidades, onde o todo é mais complexo que a soma das partes. Portanto, os sistemas possuem atributos, elementos ou unidades, entradas e saídas de matéria e energia, fluxo e informação. Assim, ao conhecer e compreender as leis que fundamentam o sistema, conhece-se também seu comportamento, tanto das suas subunidades quanto do seu todo (NEVES et al. 2014, p.272).

Com o passar dos anos, a teoria sistêmica ganhou novo fundamento e integração, surgindo o termo geossistema fundamentado pelo russo Viktor Sotchava em 1963. O pensamento de Sotchava, contado por Troppmair e Galina (2006) relata que a fundamentação do termo foi construída com relação a vivência e interpretação do espaço geográfico. Os autores ainda definem a abrangência e dimensão do termo geossistema:

> [...] Portanto o Geossistema para este geógrafo (e para os alemães da antiga Alemanha Oriental DDR) abrange sempre áreas com centenas e mesmo milhares de quilômetros quadrados. A literatura geográfica das escolas russa e alemã deixa claro que o Geossistema funciona em escala regional [...]. Dentro desses, as superfícies aplainadas, mais o conjunto de encostas com vales, com centenas de quilômetros quadrados, formam geofácies, e estes novamente subdivididos, como o fundo de um vale ou uma encosta, formam os geotopos. Mesmo esta última divisão (geotopo) abrange áreas de muitos, até dezenas de quilômetros quadrados [...]. Assim queremos deixar claro que uma área restrita como um pequeno vale, uma vertente ou outro elemento geomorfológico isolado NÃO forma um Geossistema. Quando Sotchava fala em Ecossistema ou geobiocenose como um Geossistema Básico ou unidade elementar, entendo que ele se refere à tundra, à taiga e às estepes, portanto extensas áreas [...] (TROPPMAIR e GALINA, 2006, p. 80).

A partir dessa delimitação conceitual inicial, surgem outros conceitos sobre os geossistemas, em sua maioria derivados dos estudos de Sotchava, com destaque para a escola francesa representada por Georges Bertrand, que em 1968 demostrou uma nova percepção sobre o entendimento dos geossistemas. Se na visão de Sotchava os geossistemas englobavam uma grande extensão de área, para Bertrand as escalas espaço-temporais dos geossistemas são menores. Dentro deste viés de Bertrand, Cavalcanti e Corrêa (2016) relatam que:

> No artigo de 1968, Bertrand utiliza a palavra geossistema para se referir a uma das escalas espaço-temporais da paisagem, abrangendo a 4ª e 5ª ordem de grandeza na classificação de Cailleux e Tricart, abrangendo escalas espaciais da ordem de 10 a 10^2 km² e temporais da ordem de 106 a 107 anos. Neste momento, a concepção de geossistema em Bertrand tem dimensões espaciais e temporais bem definidas (CAVALCANTI e CORRÊA, 2016, p.05).

Em 1991, Bertrand realinha o seu pensamento sobre o termo geossistema e passa a entendê-lo como uma entidade natural com interações antrópicas. De acordo com Oliveira e Marques Neto (2020), a nova definição do conceito Bertrand busca o entendimento do meio ambiente por meio dos conceitos de paisagem, geossistemas e território, atribuindo sociedade e natureza. Diante disso, entendemos que a definição de Bertrand apresenta uma aproximação com a definição de Sotchava, mas não podemos entendê-las como um único conceito.

A teoria do geossistema adotado para o desenvolvimento desta pesquisa foi a de Bertrand, isso ocorreu considerando a escala local, sendo determinada para uma bacia hidrográfica em especifico. Abordando inicialmente uma fragilidade natural, acrescentando posteriormente o fator antrópico.

Cavalcanti e Corrêa (2013, p. 158a) concluem que “em grande parte dos modelos de representação da hierarquia, a representação da dinâmica da paisagem vem sendo apontada como fundamental para a compreensão da hierarquia dos geossistemas”. Os estudos

relacionados aos geossistemas atualmente tem englobado a paisagem como forma de análise, através de um recorte espacial, isso ocorre devido a capacidade de sintetizar e de consolidar as modificações naturais ou transformações provocadas pela ação antrópica (SOUZA, LIMA e SANTOS, 2020).

A definição de paisagem apresenta uma gama de significados e percepções, desde os primórdios da sua criação o julgamento da palavra apresenta uma complexa conceituação. De forma empírica, quando se define o sentido da palavra paisagem se obtêm muitas vezes uma resposta holística, podendo ser representada como: rios, vegetações, construções, montanhas, animais, ou seja, por tudo aquilo que está em seu campo de visão. A Geografia, portanto, busca analisar e conceituar a paisagem como um elemento cientifico desde sua origem até os dias atuais (MEZZONO e NÓBREGA, 2008).

De acordo com Maximiano (2004) a conceituação da paisagem ganhou força a partir do século XVIII com Alexander Von Humboldt, a partir daí vários outros pesquisadores contribuíram para formulação de uma conceituação como: os alemães Ratzel e Carl Troll (fim do século XIX), os russos Dokoutchaev e Sotchava (entre os séculos XIX e XX) e os franceses Bertrand, Tricart, Guérin e Paul Vidal de La Blache (entre os séculos XIX e XX), entre outros. O autor ainda cita Ab'Saber e Ross, como principais pesquisadores brasileiros. A busca por um melhor entendimento geográfico do significado da palavra paisagem, despertou uma série de estudos desenvolvidos por pesquisadores, dentre essa procura epistemológica três escolas se destacaram: Alemã, Francesa e Russo-Soviética.

A escola Russo-Soviética aborda o conceito de paisagem como um sistema físico vindo da teoria dinâmica dos geossistemas, trazida por Viktor Sotchava e também o Complexo Natural Territorial (CNT) desenvolvida por Dokoutchaev. De acordo com Maximiano (2004, p. 86) "Na ótica soviética, a análise da paisagem prendeu-se mais ao sistema físico do que à vegetação, e reuniu os conceitos da *landschaft* alemã e do CNT de Dokoutchaev". Sotchava (1978) aborda a teoria do geossistema como uma forma conceitual para classificar, interpretar e identificar a paisagem.

Segundo Dantas et al (2015, p. 07) "a vertente alemã, herdeira direta da Escola Naturalista de Humboldt, apóia-se no conceito de paisagem natural (*landschaft)* acoplados aos Estudos de Ecologia e no conceito de Ecossistema". Nesse sentido, a escola alemã aborda uma análise sistêmica da paisagem, com atividades antrópicas e fluxos de matéria e energia. Dantas et al (2015, p.07) ainda definem que:

> Neste contexto, a paisagem natural era entendida como um produto integrado [das] as variáveis ambientais (geologia; geomorfologia; pedologia; climatologia; biogeografia) e a resultante espacial e mapeável dessa análise integrada seria o Ecótono ou a Unidade de Paisagem (Land Unit).

A escola Francesa também adota uma metodologia em relação ao geossistema, porém um pouco diferente da usada na escola Russo-Soviética. A vertente de estudo dos franceses tem como base os pesquisadores Georges Bertrand que trabalha com o conceito do geossistema e Jean Tricart que tinha como estudo a Ecodinâmica e Ecogeografia. Bertrand (1971, p. 2) define que a paisagem

> não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. 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, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpetua evolução [...].

O passar dos tempos modificou o conceito de paisagem, acrescentando novos elementos em sua formulação. Os estudos desenvolvidos pelos pesquisadores proporcionaram uma visão geral de determinados elementos que compõem a paisagem. Mezzomo e Nóbrega (2008, p. 158) apontam que:

> Um ponto importante nos estudos de autores como Bertrand, Tricart e Monteiro, é a busca por uma abordagem global, em que a paisagem não é vista somente como um conjunto de elementos naturais, mas como uma forma concreta de expressar as relações dos elementos bióticos, abióticos e antrópicos (MEZZOMO e NÓBREGA 2008, p. 158).

O conceito geográfico da paisagem na atualidade tem possibilitado o desenvolvimento de estudos ambientais. O uso de tecnologias vem auxiliando nos estudos ambientais nos diversos elementos que compõem a paisagem e os geossistemas (BONFIM e LIMA, 2020 e BELEM e NUCCI, 2020). Ferreira (2010, p. 203) define que:

> As novas tecnologias de representação da paisagem abrem possibilidades de adoção de diferentes alternativas gráficas, além da rápida atualização de informações. Possibilitam analisar e comparar dados de mapas temáticos, incluindo análises geoestatísticas e geração rápida de novos mapas a partir da combinação de mapas já armazenados [...] (FERREIRA, 2010, p. 203).

Freire e Lucena (2014) concluem que a análise integrada da paisagem gera produtos como mapas, que são muito importantes para orientar futuros estudos, além de poder ser instrumentos da gestão ambiental. Neste contexto Veronezzi e Fajardo (2015) argumentam que as paisagens apresentam características especificas e demostra as várias relações econômicas, cultural e social consolidadas pelos estudos desenvolvidos.

2.2. Análise da Fragilidade dos Ambientes Antropizados.

A análise ambiental está relacionada à investigação das variáveis ambientais. A modificação dos geossistemas e da paisagem pode proporcionar impactos ambientais e, frente a essa abordagem, a aplicação da análise ambiental demostra grande importância. Para Matias et al. (2020, p. 324) "A modificação da estrutura da paisagem pode ocasionar vários problemas ambientais". Conforme Stipp e Stipp (2004, p 24) a análise ambiental é:

> um instrumento fundamental na investigação interdisciplinar, pois fornece uma gama variada de percepções que irão auxiliar no aprofundamento do conhecimento científico. É um campo de investigação dos mais profícuos e hoje se torna imprescindível face à degradação ambiental imposta a Terra pela ação antrópica (STIPP e STIPP, 2004, P.24).

"A análise das paisagens está relacionada às questões ambientais, sendo uma temática voltada às avaliações de impactos ambientais, proposições de zoneamentos e subsídios ao planejamento e à gestão ambiental do território" (ROSA e FERREIRA, 2018, P. 408). Os estudos desenvolvidos pelas ciências ambientais, tem proporcionado uma melhor análise ambiental na evolução da paisagem e suas transformações.

Teixeira, Silva e Farias (2017) argumentaram que a análise ambiental se destaca dentro da Geografia pela sua ligação entre sociedade e natureza, com destaque na geoecologia das paisagens, extraindo informações, entendendo as condições socioambientais, dinâmica da paisagem e podendo formar um planejamento ambiental. São notórias as mudanças que ocorrem nas paisagens, assim como também são visíveis as consequênciais que elas proporcionam quando provocadas e intensificadas pela ação antrópica.

A fragilidade ambiental está relacionada com a classificação ou organização dos elementos que formam a paisagem, levando em consideração o meio natural e antrópico (CRUZ, PINESE JÚNIOR e RODRIGUES, 2010). De acordo com Braga et al (2017, p.82).

> Fragilidade ambiental consiste em organizar em diferentes níveis hierárquicos o zoneamento de um determinado território, com o objetivo de representar os graus de fragilidade do ambiente. Essa organização permite definir quais as áreas são mais susceptíveis e que apresentam maior potencial para degradação ambiental. Então, por fragilidade ambiental entende-se a potencialidade da desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente

Os estudos para identificar a fragilidade ambiental foram propostos por Ross (1994), posteriormente ocorreu a adaptação com base na análise dinâmica da paisagem e a teoria sistêmica. A construção desse método contou com vários estudos relacionados ao tema de

diferentes autores. Um dos principais conceitos utilizados na estruturação foi a da Ecodinâmica de Tricart (1977). Ross (1994, p.65) argumenta que:

> As fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas quando pretende-se aplica-lá ao planejamento territorial ambiental, baseada no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977). Dentro dessa concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nas diversas componentes da natureza, gerando estados de desequilíbrios temporais ou até permanentes.

De acordo com Ross (1994, p. 63) "a fragilidade dos ambientes naturais face as interações humanas são maiores ou menores em função de suas características genéticas". Em alguns ambientes a fragilidade ambiental encontra-se estável, porém essa estabilidade pode ser alterada com a ação do homem. Spörl e Ross (2004, p 40) definem que:

> Qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico. Estas variáveis tratadas de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

O conceito da ecodinâmica proposta por Tricart (1977) foi adaptado por Ross (1994), que ampliou o conceito ecodinâmico e classificou a fragilidade ambiental em potencial e emergente, além de atribuir cinco classes de fragilidade conforme sua hierarquia (SANTOS, 2015). A classificação da fragilidade como emergente e potencial podem ser tanto instáveis quanto estáveis, a fragilidade emergente está relacionada a unidades ecodinâmicas instáveis, isso ocorre devido ela levar em consideração as ações antrópicas. A fragilidade potencial está ligada a unidades ecodinâmicas estáveis, podendo serem encontradas em níveis de estabilidade, sem alteração nas suas propriedades (ROSS, 1994; MASSA e ROSS, 2012).

Para Schiavo et al (2016), fragilidade potencial apresenta relação com a fragilidade do meio natural em função das suas propriedades físicas, e emergente também engloba o meio natural, porém acrescenta a ação antrópica, conforme sua ocupação e uso da terra. Massa e Ross (2012, p 77-78) definem que:

> As unidades de fragilidade potencial estão associadas aos ambientes estáveis que se encontram em condições de equilíbrio dinâmico, portanto, que foram menos afetados, em sua estrutura e funcionamento, pelas atividades humanas. Embora apresentem condições de ambientes estáveis, possuem instabilidade potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e ao desenvolvimento das atividades humanas.
>
> Já as unidades de fragilidade emergente estão associadas aos ambientes fortemente instáveis, onde não se configuram as condições de equilíbrio dinâmico. Ainda que possam ser naturalmente frágeis, independentemente da ação humana, as unidades de fragilidade emergente mais comumente identificadas são aquelas cujas intervenções antropogênicas modificaram intensamente o ambiente natural.

De acordo com Periçato e Souza (2019), a fragilidade ambiental potencial é composta pelo relevo e o tipo de solo. Já para Braga et al. (2017) fragilidade potencial são consideradas como áreas meio abiótico (solo, geomorfologia, clima, etc.), onde as ações humanas não causam interferências significativas, o único agente de fragilidade é o intemperismo físico-químico.

O estudo da fragilidade ambiental desde sua fundamentação original proposta por Ross (1994), vem ganhando adaptações de acordo com o ambiente de estudo. A aplicação da fragilidade pode ser vista em estudos de reservatórios (Fornazieiro e Pancher 2017), bacia hidrográfica (Massa e Ross 2012, Grisa et al 2015 e Schiavo et al 2016), área urbana (Santos e Ross 2012) entre outras. A aplicação da fragilidade ambiental tem ocorrido em diferentes áreas, tanto em estudos científicos quanto em órgãos públicos. Gouveia e Ross (2019, p 124) discorrem que:

> Ao longo de mais de um quarto de século, essa metodologia já consagrada foi amplamente utilizada em estudos ambientais voltados à análise e ordenamento físico-territorial, tanto no meio acadêmico quanto por órgãos públicos, estando inclusive presente nos conteúdos básicos para a elaboração de Zoneamentos Ecológicos-Econômicos (ZEE), instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente regulamentado pelo decreto nº 4.297/2002, com projetos realizados em diversas escalas de trabalho e em diversas partes do território nacional, como o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, (BRASIL, 1997), ZEE do estado Paraná (PARANÁ, 2018) e Planos de Manejo de Unidades de Conservação, como Parque Estadual Intervales (SÃO PAULO, 2009), Parque Estadual Jurupará (SÃO PAULO, 2010) e APA Várzea do Tietê (SÃO PAULO, 2013).

Os estudos da fragilidade ambiental têm possibilitado identificar a fragilidade no Cerrado de forma indireta, através de estudos desenvolvidos dentro do bioma, em específico nas bacias hidrográficas. Vários estudos em bacias hidrográficas já foram desenvolvidos por autores como: Silva, Cabral e Scopel, (2008); Alves (2012); Martins e Rodrigues (2012); Queiroz Junior *et al* (2015); Braga *et al* (2017); Alves, Scopel e Martins (2017); Alves et al (2017); Alves, Martins e Scopel (2018) entre outros.

As pesquisas de fragilidade ambiental têm grande subsidio no emprego das geotecnologias e suas ferramentas. Para Fornazieiro e Pancher (2017) o uso dos Sistema de Informação Geográfica (SIG) auxilia na tomada de decisões para uma gestão do território. Já Gouveia e Ross (2019) abordam que o uso de sensoriamento remoto e geotecnologias junto com os bancos de dados, facilitou a construção de mapas de fragilidade ambiental. A eficácia do uso das geotecnologias na análise da fragilidade dos ambientes demostra ser de extrema necessidade.

2.3. Bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão de recursos naturais

O termo bacia pode ser compreendido de acordo com Nascimento e Fernandes (2016) como um conjunto de terras cercadas por divisores de águas apresentando uma rede de drenagem direcionada para um único local denominado de exutório. Conforme Tucci e Mendes (2006, p. 19), "Para cada seção de um rio existirá uma bacia hidrográfica. Considerando esta seção, a bacia é toda a área que contribui por gravidade para os rios até chegar à seção que define a bacia". Costa e Ferreira (2020) ressaltam que bacia hidrográfica é uma área receptora de água que parte do local com maior altitude para o mais baixo, que são responsáveis pela recarga hídrica das nascentes, córregos ou rios, lençóis freáticos e aquíferos.

As bacias hidrográficas podem ser divididas como sub-bacias e microbacias, porém ainda não está bem definida a dimensão em área dessas subclasses. A definição de sub-bacia pode ser compreendida em relação ao seu tamanho em área, são consideradas sub-bacias as que possuem áreas maiores que 100 km² e inferior a 700 km², já microbacia pode ser definida como qualquer área inferior a 100 km² (FAUSTINO, 1996 *apud* TEODORO et al, 2007). Já Cecílio e Reis (2006, p.5) definem, que:

> A [micro-bacia] microbacia hidrográfica é definida como a "área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área". Em termos gerais, a [micro-bacia] microbacia é uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo varia entre 10 a 20.000 ha).

Além de apresentar uma divisão hierárquica, as bacias hidrográficas também podem ser compreendidas de acordo com a união dos seus canais de drenagem, sendo possível dimensionar sua ordem. A classificação quanto a ordem hierárquica fluvial foi adaptada por Strahler em 1954, ele classificou a ordem das bacias hidrográficas de acordo com as

ramificações da rede de drenagem. Laszlo Manoel e Rocha (2014, p. 229) argumentam que a classificação de Strahler foi estruturada da seguinte forma:

> A hierarquia fluvial proposta por Strahler (1954) denomina os menores canais, sem tributários como os de primeira ordem, desde sua nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Quando há o encontro entre dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem, que pode receber tanto tributários de primeira como de segunda ordem. Ao encontrar-se com outro canal de terceira ordem, surge um canal de quarta ordem que poderá receber canais de ordem inferior, e assim sucessivamente [...].

De acordo com Braga et al (2017) as bacias hidrográficas apresentam as melhores áreas para se desenvolver estudo de fragilidade ambiental. Uma bacia hidrográfica é muito utilizada para desenvolver estudos de fragilidades, isso ocorre devido ela ser composta por todos os elementos estudados pela fragilidade ambiental que vai desde áreas naturais até áreas antropizadas. Oliveira et al (2012) corroboram que os estudos de fragilidade ambiental têm sido aplicados em bacias hidrográficas como instrumento de gestão ambiental e planejamento.

A gestão dos recursos hídricos está relacionada com a forma de gerenciamento das questões ambientais, socioculturais e econômicas dos corpos hídricos, tendo como área de implantação as bacias hidrográficas. A gestão dos recursos hídricos ganhou destaque a partir dos anos 1990, nas reuniões realizadas para conferencia da RIO-92 (PORTO e PORTO, 2008).

A criação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, proporcionou um melhor gerenciamento na gestão. Essa lei estabelece em seu artigo primeiro os seus fundamentos (BRASIL, 1997):

> I - a água é um bem de domínio público;
> II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
> III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
> IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
> V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
> VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Castro (2005) salienta que os sistemas de gestão dos recursos hídricos no Brasil são modelos e fundamentos, que foram criados e modificados de acordo com o tempo e a necessidade. O autor ainda define que a gestão dos recursos hídricos tem como objetivo

conhecer o espaço de forma ampla, nos atributos físico, econômico e social, procurando ligar todos os elementos, para que possa avaliar e propor uma solução da oferta e procura pela água.

A Agencia Nacional de Água (ANA) controla o uso múltiplo das águas no Brasil. De acordo com a ANA (2020) o Brasil apresentou em 2015 um consumo de água de 745 mil l/s do total retirado de 969 mil l/s, a área irrigada era de 6,95 milhões hectares. A projeção para 2030 é de um aumento de 42% no consumo, 38% retirada e 45% na irrigação. "A irrigação é o maior uso da água no Brasil, responsável por 46% das retiradas nos corpos hídricos e por 67% do consumo" (ANA, 2020).

Frente a essa demanda por água no país, a necessidade de uma maior abrangência da gestão dos recursos hídricos torna-se imprescindível. O monitoramento e estudos da fragilidade em bacias hidrografias é a chave para uma gestão equilibrada, visando identificar e mitigar possíveis desequilíbrios na dinâmica dos elementos que compõem a paisagem

Para Tucci e Mendes (2006) a implantação da gestão integrada dos recursos hídricos depende de certos elementos básicos como: legislação relacionada aos recursos hídricos, bacia hidrográfica como unidade de planejamento, participação pública e a gestão dos comitês de bacias. Todos os elementos que compõem a gestão integrada devem promover uma interação e harmonia, podendo assim promover um desenvolvimento sustentável. Conforme Porto e Porto (2008, p.50):

> Uma gestão sustentável dos recursos hídricos necessita de um conjunto mínimo de instrumentos principais: uma base de dados e informações socialmente acessível, a definição clara dos direitos de uso, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão.

Lima et al (2019, p.69) argumentaram que "A gestão com o uso de bacia tem como benefício a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de planejamento e gerenciamento, característica frequente e necessária aos estudos de caráter ambiental para garantia da visão sistêmica". Os estudos das bacias hidrográficas são necessários, para que todos os elementos que compõem a paisagem sejam analisados de forma dinâmica, e assim aconteça uma gestão sistêmica dos recursos hídricos (CARVALHO, 2020; OLIVEIRA, ACORSI e SMANIOTTO, 2018; ROCHA e SANTOS, 2018; LIMA e NERY, 2017).

Diante dos estudos ambientais que devem ser desenvolvidos nas bacias hidrográficas, o de fragilidade se destaca por oferecer subsídios para uma análise integrada do ambiente. Principalmente devido as bacias hidrográficas serem a unidade escolhida para implementação do sistema nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos previsto na lei 9.433 de 1997.

A introdução da gestão dos recursos hídricos deve ser implantada em todas as bacias hidrográfica do país, com a participação dos órgãos federais, estaduais, municipais e a população. Os estudos desenvolvidos nas bacias devem auxiliar no planejamento, gestão, monitoramento e mitigação dos impactos ocasionados.

2.4 Geotecnologias aplicadas em estudos de fragilidade ambiental

Conforme Ferraz *et al* (2015, p.42) "As geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas". As geotecnologias são utilizadas para desenvolver pesquisas em diferentes áreas, como planejamento territorial, diagnósticos e prognósticos ambientais, fragilidade ambiental, manejo de bacias hidrográficas entre outras aplicações. Menezes et al (2017, p.59) afirmam que:

> As geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Na atualidade, o uso das geotecnologias em pesquisas, tem demostrado para pesquisadores e empresas que são extremantes viáveis, pois sua aplicação reduz tempo e custos nos desenvolvimentos dos trabalhos realizados (MENDES, 2019). O mesmo autor ainda afirma que o uso das geotecnologias possibilita aos usuários informações de situações passadas, atuais e até mesmo futuras.

Uma das ferramentas das geotecnologias são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG´s), que possuem inúmeras variáveis que podem ser utilizadas para diversas finalidades. Os SIG's são considerados como sistemas de informação utilizados para editar, pesquisas, manipular, sintetizar, visualizar e armazenar dados georreferenciados (FERREIRA, 2006; STORTO e COCATO, 2018).

O SIG proporciona uma série de conhecimentos, podendo ser identificado como um sistema interdisciplinar. Para Mendes (2019, p.41) "Esta condição interdisciplinar pode ser relacionada com o próprio caráter da ciência geográfica que abarca conhecimentos de distintas ciências". Os SIG´s são indispensáveis no planejamento e gerenciamento, execução de estudos na área da gestão ambiental entre outras finalidades (MENEZES *et al*, 2017).

Além dos SIG´s os produtos gerados pelo sensoriamento remoto também podem ser considerados como uma ferramenta das geotecnologias. Meneses e Almeida (2012, p.3)

definem que o “Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

Os produtos gerados pelo sensoriamento remoto auxiliam nos estudos ambientais através da análise de imagens de satélite e radar. Para Di Maia *et al,* 2008; Meneses e Almeida, 2012 o sensoriamento remoto é um conjunto de atividades e técnicas de observação que obtém informação dos objetos da superfície da Terra através de imagens, sem ter contato direto com a superfície. Di Maia *et al*, (2008) argumentam que os produtos gerados do sensoriamento remoto após passar por um processamento, subsidia diagnosticos e realiza prognósticos.

A utilização dos produtos do sensoriamento remoto junto com os SIG´s, são de grande importância para o desenvolvimento de estudos em diversas áreas. Os dados processados são georreferenciados pelas ferramentas das geotecnologias, proporcionam um diagnóstico das áreas estudadas, possibilitando identificar e aplicar uma solução.

A eficácia que os *softwares* de geoprocessamento apresentam no processamento dos dados, torna seu uso ainda maior. Os estudos ambientais desenvolvidos pelas geotecnologias possibilitam a identificação da fragilidade do ambiente, localização das zonas estabilizadas, além de promover um monitoramento na conservação dos ambientes em estudo (MATERANO e BRITO, 2020).

Junto com o emprego das ferramentas das geotecnologias, podemos mencionar a aplicação da Análise Multicritério (AMC) como metodologia, ajudando no desenvolvimento de estudos ambientais. De acordo com Materano e Brito (2020) o uso dos SIG´s ajuda a obter resultados com maior precisão e define que:

> Outro fator que merece ser mencionado é a aplicação de metodologias como a Análise Multicritério (AMC), por meio de SIG’s que auxiliam os estudos ambientais e permitem uma maior representatividade das variáveis territoriais.
>
> Dentre as técnicas de AMC mais utilizadas para ponderar os critérios, destaca-se o denominado Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP), proposto por Saaty (1981), o qual busca um aumento da fidedignidade ao garantir maior consistência das ponderações realizadas (MATERANO e BRITO, 2020, p. 87).

De acordo com Weiss e Pippi (2019), a AMC é um método de combinação e transformação de dados geográficos, compostos por algoritmos e processamentos, que apresenta como resultado uma análise da degradação do ambiente.

O emprego das técnicas AMC demostram grande importância nos estudos de fragilidade ambiental, pois com essa técnica é possível atribuir pesos para cada classe analisada, podendo

chegar em uma melhor classificação da fragilidade. Diferentes estudos de fragilidade ambiental utilizam a AMC como modelo de análise (GOMES e BIAS, 2018; GIMENES e AUGUSTO FILHO, 2013; SANTOS, NASCIMENTO e BARROS, 2020).

Os usos das geotecnologias demostram excelente aplicabilidade na análise da fragilidade do ambiente (PEREIRA, COSTA e GARCÊS JUNIOR, 2017; TRAFICANTE *et a*l, 2017; MEIRELLES, DOURADO e COSTA, 2018; GOMES e BIAS, 2018; WEISS e PIPPI, 2019; STORTO e COCATO, 2018; MATERANO e BRITO, 2020).

Outra abordagem que se deve apresentar são o uso das ferramentas das geotecnologias na elaboração de mapas, em especial os mapas de síntese, gerados a partir dos produtos finais do processamento. Segundo Martinelli e Machado-Hess (2014, p. 906) "A síntese é uma busca apurada quando se deseja ter a visualização da integração, porém deve ser atendida de maneira que faça emergir novas configurações que sejam completamente distintas daquelas resultantes de uma simples soma das configurações elementares".

Para Queiroz Filho e Martinelli (2008, p. 20), "síntese pode ser realizada por métodos tradicionais, eminentemente gráficos e cartográficos ou por métodos estatístico-matemáticos, envolvendo dados qualitativos, ordenados ou quantitativos, referentes a entidades como pontos, linhas e áreas". Os mapas de síntese devem demostrar seu conteúdo de foram claras, buscando uma leitura simples do seu conteúdo.

Outro fator importante nas geotecnologias e principalmente dentro dos mapas é a escala, toda representação gráfica para ser considerada um mapa deve apresenta uma escala. De acordo com Santos (2013, p. 2) "A escala indica a proporção ou relação entre uma distância representada no desenho e esta mesma distância no campo. A partir disto, obtemos maior grau de precisão e riqueza de informação".

Ross (1994) classificou as escalas quando ao tamanho, para o estudo da fragilidade ambiental considerado escalas pequenas e médias (1:50.000 a 1:500.000) podendo ser representada por imagens de satélite e grandes (1:2.000 a 1: 25.000) sendo referentes a imagens de fotografia aérea por exemplo.

A escala é um fator importante nos estudos de fragilidade ambiental, pois é ela que determina o nível de detalhe do trabalho. Frente a essa importância, um dos cuidados que se deve ter é com a geração das fragilidades emergente e potencial em relação as escalas. Na geração da fragilidade emergente, em grande parte das pesquisas, é permitido escolher o tamanho das escalas a ser utilizadas, principalmente na construção da classe de uso e cobertura da terra. Já para geração da fragilidade potencial existe casos que não é permitido escolher o

tamanho da escala, pois os dados utilizados para geração da fragilidade como: Pedologia, Geomorfologia e Clima, são adquiridos de bancos de dados externos que já tem uma escala definida.

Em alguns casos o fato de não ser permitido escolher a escala dos elementos que compõe a fragilidade potencial, justifica-se pela necessidade de utilizar informações dos bancos de dados estaduais e federais. Os dados disponíveis pelos bancos de dados estaduais e federais já possuem escalas definidas, provocando assim uma limitação dos níveis de detalhes na identificação de uma fragilidade potencial. No entanto existe meios de refinar essas escalas, transformando-as para escalas maiores através de reprocessamentos, nas áreas desejadas.

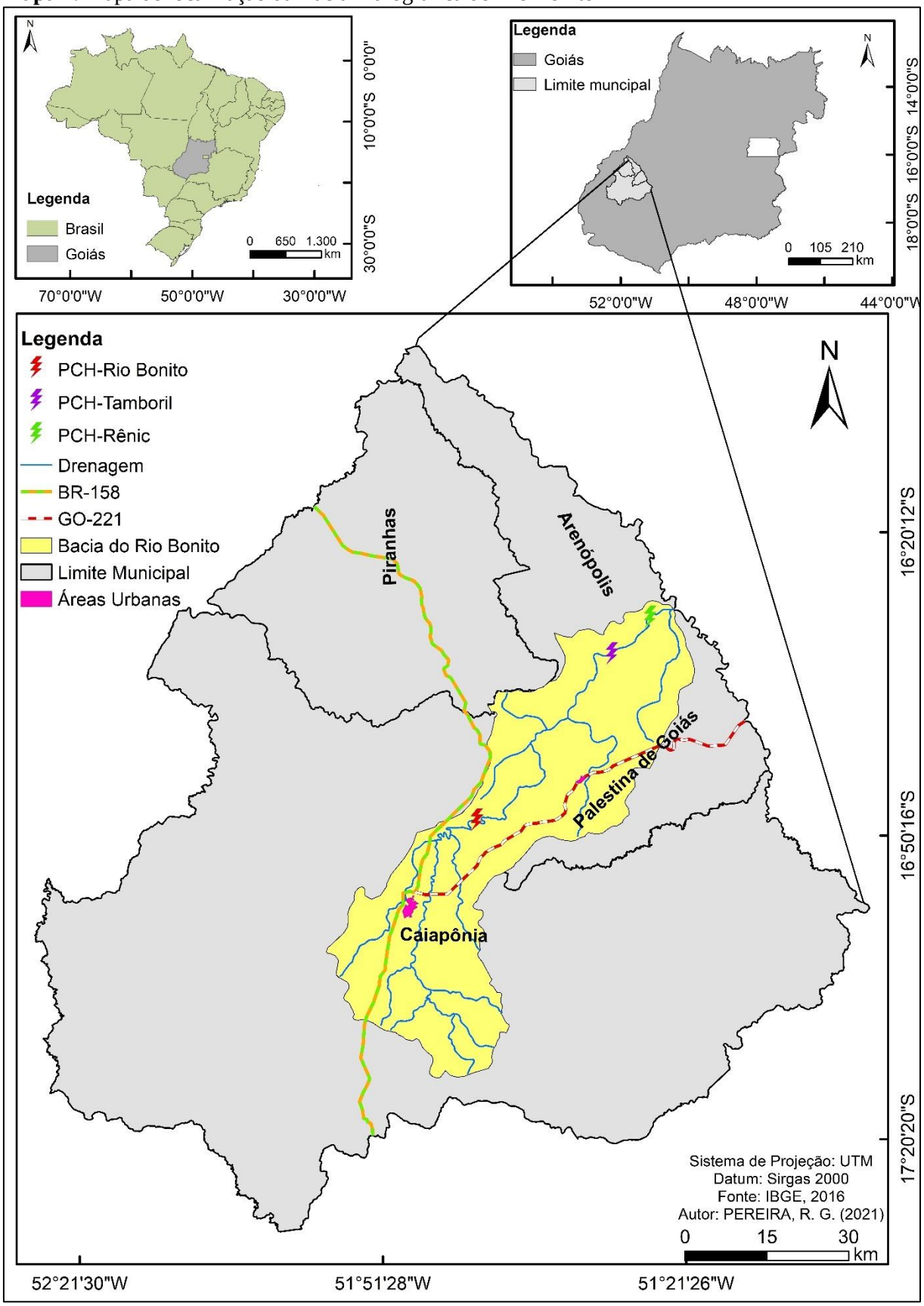
Dentro do banco de dados necessário para obter dados para identificar a fragilidade do ambiente, pode ser destacado em nível federal o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil que disponibiliza dados na escala de 1:250.000, porém existe outras bases que apresentam escalas ainda menores. Em nível estadual também temos escalas médias e pequenas, dando destaque para Goiás, temos o Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás que disponibiliza dados de tipo de solo na escala de 1:250.000 e 1:1.000.000.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Bonito (BHRB) que apresenta uma área de 2.017 km². Está localizada no Sudoeste do Estado de Goiás, entre os municípios de Arenópolis, Caiapônia e Palestina de Goiás, entre as coordenadas: 17°02'46.84"S / 51°56'56.21"O e 16°28'0.04"S / 16°28'0.04"S (mapa 1) integrando a bacia do Rio Caiapó, que por sua vez é afluente da bacia hidrográfica do Araguaia/Tocantins.

Mapa 1. Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Rio Bonito



Fonte: IBGE (2016)
Elaboração: O Autor, 2021.

As principais nascentes do Rio Bonito afloram próximo à Cuesta do Caiapó no município de Caiapônia, cerca de 8 km da divisa com os municípios de Rio Verde e Jataí, segue seu curso principal passando próximo à cidade de Caiapônia, em direção aos municípios de Palestina de Goiás e Arenópolis. No decorrer do seu curso, o Rio Bonito contém três Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH): Rio Bonito, Tamboril e Rênic.

De acordo com informações disponibilizadas pelo Instituto Mauro Borges (IMB, 2020), os municípios que compõem a BHRB têm como principal atividade econômica a agropecuária. O município de Arenópolis-GO apresenta uma estimativa de população para 2020 de 2.536 habitantes, com um Produto Interno Bruto a preços correntes - PIB de 142.409.000, no ano de 2018; Caiapônia-GO apresenta uma estimativa de população de 19.107 habitantes para 2020, com um PIB de 672.374.000 em 2018 e Palestina de Goiás exibe uma estimativa de população de 3.467 habitantes para 2020 e sua participação em relação ao PIB foi de 91.804.000 em 2018.

3.2 Procedimentos

A pesquisa foi realizada por etapas, sendo que a primeira compreendeu o levantamento bibliográfico, delineamento do tema e construção do estado da arte da pesquisa. Nesta etapa foi realizado o levantamento e o estudos de fontes bibliográficas como artigos científicos, livros, sites entre outras fontes, buscando diferentes autores que discutem assuntos e temas relacionados com a pesquisa. Entre os temas levantados para estruturar a pesquisa, destacam-se a fragilidade ambiental, geossistemas, paisagem, geotecnologias e bacias hidrográficas. Todo esse estudo foi necessário para delimitação do tema, com destaque para os estudos de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994).

A segunda etapa da pesquisa consistiu na delimitação da área de estudo, construção de bases topográficas e mapeamento do relevo da bacia. Na terceira etapa foram compiladas bases vetoriais (dados secundários) como mapas de geologia, solos e geomorfologia, além de dados de precipitação para cálculo de erosividade das chuvas. Na quarta etapa, após a análise fisiográfica da bacia, procedeu-se com o mapeamento de uso e cobertura da terra a partir de imagens de sensoriamento remoto e pesquisa de campo para validação e correção dos mapeamentos. Por fim, a quinta etapa consiste na construção da cartografia de síntese sobre fragilidade ambiental.

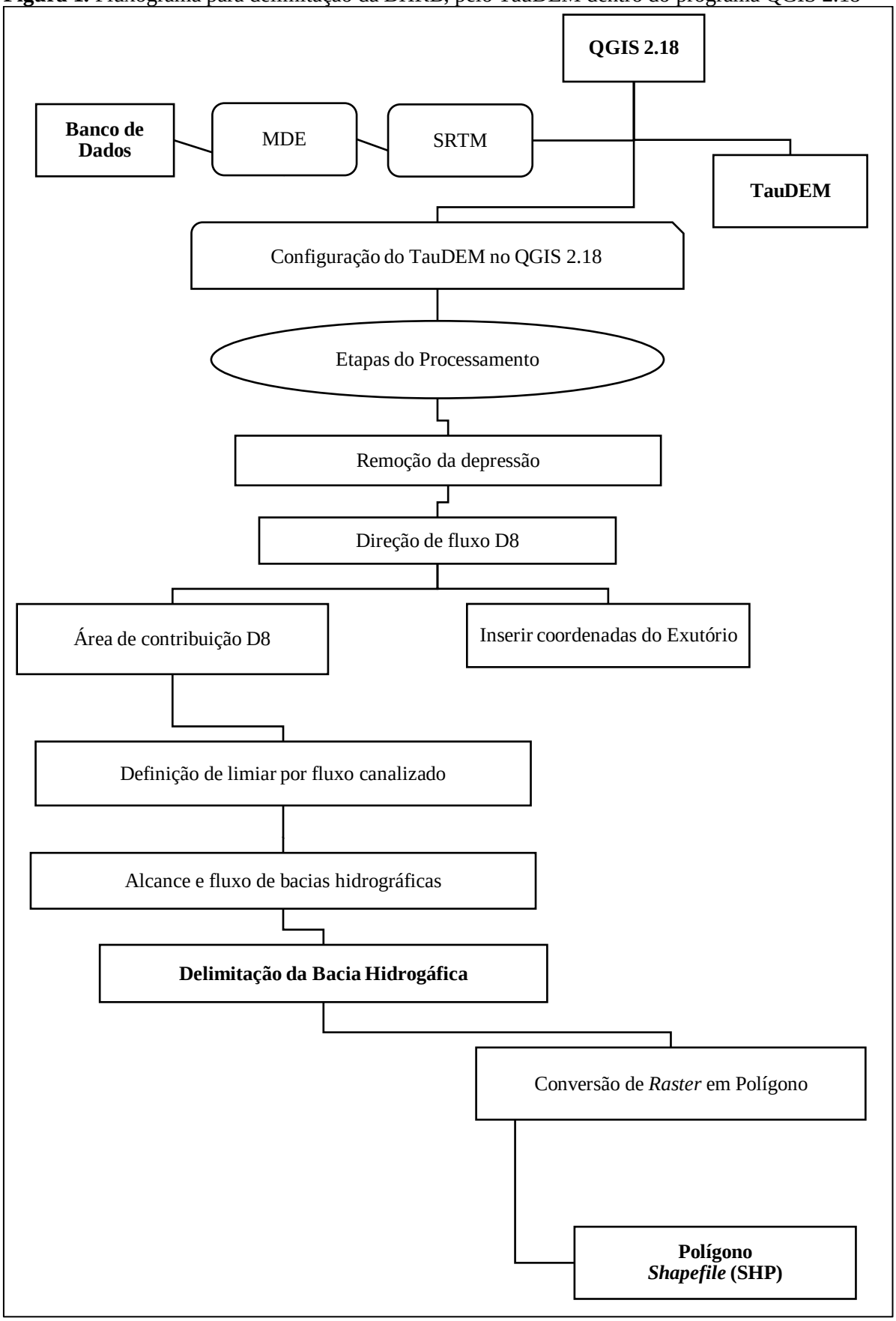
3.2.1 – Delimitação da área de estudo, construção de bases cartográficas e mapeamento do relevo da bacia.

A segunda etapa da pesquisa se iniciou com a construção dos bancos de imagens e de dados cartográficos. Para delimitação da área de estudo foi utilizado Modelo Digital de Elevação (MDE) do tipo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), compilado do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) em parceria com Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Foram importadas as quadriculas 16S525 e 17S525 com escalas de 1:250.000 e resolução de 30 m x 30 m, cobrindo o mosaico para a área da bacia. Os MDEs também foram utilizados para identificação do índice de dissecação do relevo, declividade, hipsometria e identificação da rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Para delimitação da BHRB foi utilizado o programa QGIS 2.18 criado pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Esse programa é gratuito, possui código aberto e uso profissional e didático. Dentro do QGIS 2.18, o processo de delimitação foi feito através do *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM) na versão 5.3.7. O início da delimitação se deu pela configuração do TauDEM 5.3.7 no QGIS 2.18, logo após foi realizado a inserção das imagens SRTM e o processamento delas para obtenção do produto final, conforme a figura 1.

Figura 1. Fluxograma para delimitação da BHRB, pelo TauDEM dentro do programa QGIS 2.18



Fonte: O Autor, 2020.

Para a análise do relevo da BHRB, procedeu-se com o mapeamento das classes de hipsometria e declividade. A declividade foi delimitada a partir do MDE no ArcGIS 10.6.1® licenciado para o Laboratório de Geoinformação da UFJ. O primeiro passo para delimitação foi gerar um mosaico das imagens SRTM, devido a BHRB estar localizada em duas orbitas diferentes (16S52ZN e 17S525ZN). Em seguida, foi definido o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, e recortada a imagem para o limite da bacia hidrográfica.

Após o recorte da imagem, constituiu-se o processo de identificação do relevo, utilizando a ferramenta "*slope*" para delimitar a declividade. Dentro da ferramenta deve ser escolhido a função **"**PERCENT_RISE" que representa a delimitação da declividade em porcentagem. Para determinar a quantidade de classes foi realizado o processo de categorização, localizado na propriedade da imagem (*Raster*).

As classes de declividade escolhidas para delimitação do relevo foram as propostas por Ross (1994), para compor 05 níveis de fragilidade (quadro 1).

Quadro 1. Classificação da declividade de acordo o seu potencial de fragilidade

Fragilidade	**Declividade (%)**
Muito fraca	0-6
Fraca	6-12
Média	12-20
Forte	20-30
Muito forte	> 30

Fonte: Ross (1994).
Organização: O Autor, 2020.

O processo de geração do mapa hipsométrico da BHRB foi executado no *software* QGIS 2.18, utilizando as mesmas imagens SRTM reprojetadas para delimitação da declividade. Após ser inserido a imagem já recortada e reprojetada iniciou o processo de criação da hipsometria, utilizando a ferramenta "*r.recode*" para definir as classes e os intervalos de altitude. Foram geradas 07 classes em intervalos de 100 m de altitude, sendo identificadas na bacia altitudes entre 500 e 1100 m.

Em um segundo momento, iniciou-se uma série de procedimentos para determinação da dissecação do relevo conforme a metodologia descrita por Guimarães et al (2017) seguindo os conceitos estabelecido por Ross (1994). Os autores determinam a classificação da dissecação em quatro partes sendo: 1ª tratamento e elaboração dos MDE; 2ª geração do grau de

entalhamento dos vales; 3ª geração da dimensão interfluvial média; e 4ª cálculo do índice de dissecação do relevo proposta por Ross (1994).

1ª Parte: Todo o processo de classificação da dissecação foi realizado no ArcGIS 10.6.1®, seguindo os procedimentos estabelecidos por Guimarães *et al* (2017). A primeira se iniciou com a obtenção das imagens SRTM, logo após foi realizado a reprojeção para o sistema UTM, Datum SIRGAS 2000. Para evitar qualquer efeito de borda e obter uma margem de segurança foi gerado um "*buffer"* de 2 km de distância do limite da bacia. Para corrigir as depressões espúrias foi utilizado a função "*fill*" para evitar falhas na classificação.

2ª Parte: De acordo com Guimarães *et al* (2017), o grau de entalhamento dos vales corresponde à diferença altimétrica dos pixels em relação a parte mais baixa (vale) até a parte mais alta (picos). Para delimitação do grau do entalhamento dos vales foi necessário fazer a multiplicação da imagem (*raster*) por (-1), o produto gerado foi a inversão dos picos em depressões. Depois de realizar a inversão do *raster*, realizou-se a função de direção de fluxo "*flow direction*", em seguida aplicou a função "*sink*" para identificar depressões espúrias. Dando sequência foi convertido o arquivo gerado anteriormente *raster* em polígono, atribuiu-se valores de cota altimétricas pela função "*add surface information*".

Posteriormente, aplicou-se a função "*basin*" para o *raster* de direção de fluxo invertido, convertendo-o em polígonos. Para atribuir o valor de altura dos picos aos polígonos, utilizou-se a ferramenta "*zonal statistcs*", usando o valor máximo. Por fim foi aplicada a Equação 1 através da calculadora *raster*.

$$\boldsymbol{SupPic - MDEori} \qquad \text{(Equação 1)}$$

De acordo com Guimarães et al (2017, p. 160) "*SupPic* é o *raster* da superfície de referência com os valores altimétricos dos picos de cada região altimétrica e *MDEori* é o MDE original com as depressões espúrias preenchidas". Após a aplicação da equação 1, foi gerado o grau de entalhamento dos vales.

3ª Parte: A terceira parte correspondeu à identificação da dimensão interfluvial média, iniciando pela delimitação das bacias hidrográficas através da direção de fluxo "*flow direction*", em seguida realizada a função "*flow accumulation*". Posteriormente foi criado as microbacias pela função "*whatershed*" e "*conditional'*.

Em seguida aplicou-se a distância euclidiana (função "*euclidean distance*") e, após, foi utilizada a calculadora *raster* para transformar os valores em números inteiros, com a função

"*Int"*. Em sequência, multiplicou-se a distância euclidiana com valores inteiros por (-1), logo após foi aplicada a função de direção de fluxo. Para destacar os centros das bacias foi aplicada a função "*sins*", convertendo o resultado para camada vetorial do tipo ponto. Para adicionar a distância euclidiana aos pontos aplicou-se a ferramenta "*add surface information*". Através da tabela de atributos foi realizado a multiplicação por 2 para encontrar o raio.

Por fim, foram calculados os valores médios acrescentados da medida do diâmetro para cada bacia, utilizando a função "*zonal statistics*". Com a mesma função, adicionou-se os valores de dimensão interfluvial média nos polígonos das bacias, convertendo em *raster* e, por fim, obtendo a dimensão interfluvial média da bacia.

4ª Parte: Na última parte, realizou-se a reclassificação do grau de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média, para a função da matriz dos índices de dissecação do relevo proposta por Ross (1994), conforme o quadro 2.

Quadro 2. Matriz dos índices de dissecação do relevo

Densidade de drenagem ou Dimensão interfluvial Média (Classes)	**Muito baixa (1) > 3750 m**	**Baixa (2) 1750 a 3750 m**	**Média (3) 750 a 1750 m**	**Alta (4) 250 a 750 m**	**Muito Alta (5) < 250 m**
Grau de entalhamento dos vales (Classes)	> 15 mm	3 a15 mm	3 a 5 mm	1 a 3 mm	1 mm
Muito Fraco (1) (< de 20 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Média (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 120 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 160 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1994).

Após a reclassificação dos *raster* de dimensão interfluvial dos vales e o grau de entalhamento dos vales, foi realizada a soma da matriz, gerando o índice de dissecação do relevo para BHRB. Os resultados obtidos representam o grau de fragilidade do relevo entre 11 e 55 que são classificados como: muito fraca (11), fraca (12, 21 e 22), média (13, 23, 33, 32 e

31), forte (14, 24, 34, 44, 43, 42 e 41) e muito forte (15, 25, 35, 45, 55, 54, 53, 52 e 51), conforme Ross (1994).

3.2.2 Bases e Dados Vetoriais

Na terceira etapa foi organizada a base de dados vetoriais da pesquisa. Foram compilados do banco de dados do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) os dados de solos, na escala de 1: 250.000, tendo como fonte original a Agência de Inovação Rural (EMATER), da mesma plataforma se obteve os dados de geologia na escala de 1:500.000 da Secretaria de Estado de Indústria e Comércio (SIC). Em seguida, foi realizado o recorte destas bases para o limite da BHRB.

Para a verificação e ajuste do mapa de solos, foram coletadas 11 amostras em campo em profundidade de 20cm, em áreas onde o mapa-base apresentava inconsistências, com posterior análise de textura no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Jataí. Além da coleta de amostras, realizou-se em campo a análise de diferentes perfis de solos considerando relevo e geologia, confirmando algumas inconsistências que posteriormente foram corrigidas em laboratório considerando as cotas altimétricas. Assim, foi possível definir contornos mais exatos para as classes do mapa pedológico. Os pontos de coleta de amostras de solo encontram-se especializados no mapa 2 (p.41).

Após o ajuste do mapa de solos, foram analisados os critérios das classes de fragilidade proposta por Ross (1994, p.67): “Os critérios utilizados para a variável solos passam pelas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais”. Seguindo esses conceitos foi definida a fragilidade dos solos, conforme o quadro 3.

Por fim, foram introduzidos os pesos dos critérios de fragilidade para cada tipo de solo identificado na bacia, que apresentaram as classes de fragilidade de muito baixa a muito alta. O quadro 3 representa a fragilidade dos solos em relação aos tipos de solos encontrado na bacia hidrográfica em estudo.

Quadro 3. Classificação da fragilidade em relação aos tipos de solos

Fragilidade	Tipos de Solos
Muito Baixa (1)	Latossolo vermelho distrófico
Baixa (2)	-
Média (3)	Argissolo vermelho eutrófico, Argissolo vermelho distrófico e Latossolo vermelho amarelo alumínico
Alta (4)	Cambissolo háplico distrófico e Cambissolo háplico alumínico
Muito Alta (5)	Neossolo litólico distrófico e Neossolo quartzarênico órtico

Fonte: Ross (1994).
Organização: O Autor, 2020.

Para a obtenção dos dados de precipitação pluviométrica, utilizou-se o banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), através do portal HidroWeb, ferramenta que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A utilização desta ferramenta foi para obter os dados de precipitação disponíveis pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). O objetivo da aquisição dos dados climáticos, em especifico os dados de precipitação, foi estruturar uma série histórica de 30 anos da precipitação na bacia e, posteriormente, calcular os dados de erosividade das chuvas.

As estações selecionadas foram as de Aragarças (código: 01551002), Arenópolis (código: 01651003), Caiapônia (código: 01651000), Iporá (código: 016551001), Jataí (código: 01851004) e Piranhas (código: 1651002), o critério adotado para a escolha destas estações foi devido a localização, por serem as estações mais próximas a bacia.

Após serem baixados todos os dados de precipitação, realizou-se a organização destes por ano e estação, criando-se médias mensais e totais anuais para cada um dos postos de monitoramento. Foi criado um arquivo vetorial para cada estação contendo a sua localização e precipitação, e com a criação dos pontos foi possível especializá-los e dimensionar as distâncias.

A interpolação dos dados pluviométricos entre as estações, possibilitou criar uma espacialização da precipitação para BHRB. As classes de precipitação da bacia foram agrupadas de 50 em 50 mm, apresentando resultados que variaram de 1.350 mm a mais de 1.500 mm, totalizando 4 classes de precipitação (podendo ser observado no mapa 11, pagina 45).

A erosividade das chuvas está relacionada com a quantidade de precipitação e o tipo de cobertura vegetal que se encontra no solo (ROSS, 1994; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Levando em conta essa informação, Wischmeier e Smith em 1978 desenvolveram uma equação para se calcular a perda de solo, posteriormente adaptada para o Brasil por Bertoni e

Lombardi Neto (2014). O uso dessa equação possibilita identificar as interações (solo e clima) e suas consequências na fragilidade ambiental.

Segundo a metodologia da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), a erosividade do solo em relação ao fator chuva deve ser identificada através da equação 2, projetada para o estado de São Paulo. Nascimento (1998) apud Sousa e Silva (2009) realizou uma reclassificação da equação para os índices de precipitação do estado de Goiás.

$$\mathbf{EI = 89,823 \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,759}} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Sendo que:

El = índice médio de erosividade por um período anual (t/ha.mm/h).

p = precipitação média mensal em mm.

P= precipitação média anual em mm.

O emprego da equação adaptada para o estado de Goiás demostrou uma melhor realidade frente a classes de erosividade apresentada por Carvalho (1994), que classifica a erosividade das chuvas quanto a uma hierarquia que vai de muito baixa (menor < 250 t/ha.mm/h) a muito alta (maior >1000 t/ha.mm/h), demostrado no quadro 4.

Quadro 4. Classes de Erosividade das chuvas expressas em (t/ha.mm/h)

Classes de Erosividade	**Erosividade (t/ha.mm/h).**
Muito Fraca	< 250
Fraca	250 a 500
Média	500 a 750
Forte	750 a 1000
Muito Forte	>1000

Fonte: Carvalho (1994).

Os resultados de erosividade das chuvas de cada estação foi introduzida em um vetor do tipo ponto. Todos esses dados foram especializados no ArcGIS 10.6.1® utilizando o interpolador "*spline*". Após a realização deste processo foi realizado a reclassificação do vetor utilizando a metodologia de Carvalho (1994).

3.2.2 – Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise de campo

A quarta etapa da pesquisa foi desenvolvida com aquisição das imagens de satélites do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS) através da plataforma *Earth Explorer*. Foram selecionadas imagens dos satélites Landsat-5 Sensor *Thematic Mapper* (TM) bandas 3, 4 e 5 do ano de 1989 e Landsat-8 sensor *Operational Land Imager* (OLI) bandas 4, 5 e 6 do ano de 2019. Para realizar a classificação do uso da terra utilizou-se o padrão RGB, conforme a quadro 5.

Após a obtenção das imagens do banco de dados do USGS, elas foram processadas utilizando o *software* ArcGIS 10.6.1®, da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), licenciado pelo laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Jataí (UFJ).

Quadro 5. Descrição dos satélites landsat-5 TM e landsat-8 OLI.

Satélites	Bandas	(μm)	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
Landsat-5 TM	B3	0,63-0,69	30 m	8 bits
	B4	0,76-0,90		
	B5	1,55-1,75		
Landsat-8 OLI	B4	0,64-0,67	30 m	16 bits
	B5	0,85-0,88		
	B6	1,57-1,65		

Fonte: Adaptado INPE e Embrapa, 2020.
Organização: Próprio Autor.

As datas das imagens de satélites escolhidas foram entre os meses de maio a agosto, justificado pela qualidade das imagens quanto as porcentagens de coberturas de nuvens. As datas das imagens de satélites podem ser observadas no quadro 7. A classificação de 2019 foi realizada em dois períodos diferentes, seco e chuvoso, o objetivo dessa escolha foi para realizar uma melhor diferenciação das áreas de agricultura.

Após o recorte das imagens para BHRB e combinação das bandas no padrão RGB, se iniciou o processo de delimitação das classes de uso e cobertura da terra. As classes identificadas foram: agricultura, água, área urbana, pastagens, solos descobertos / encostas e Silvicultura. Antes do início do processo de classificação automática pela ferramenta do ArcGIS 10.6.1®, foi realizado uma classificação visual prévia para indicar para o *software* as classes desejadas.

Com a composição colorida 5R4G3B (landsat5) ou 6R5G4B (landsat8) foi realizada uma primeira etapa de treinamento, onde identificou-se manualmente 50 amostras para cada

tipo de uso por classificação visual, delimitando polígonos entre 2 e 10ha (400 amostras). Depois essas amostras foram classificadas pelo método *maximum likelihood classification*. Essa ferramenta gerou as 6 classes de uso para 1989 e as 7 classes para 2019.

Quadro 6. Característica das bandas espectrais do satélite landsat-5 e landsat-8

Bandas Landsat5	**Bandas Landsat8**	**Características das bandas TM no landsat-5 e landsat-8 OLI**
3	**4**	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	**5**	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com *pinus* e *eucalipto*. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	**6**	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

Fonte: Dados compilados do INPE, 2020.
Elaboração: O Autor, 2020.

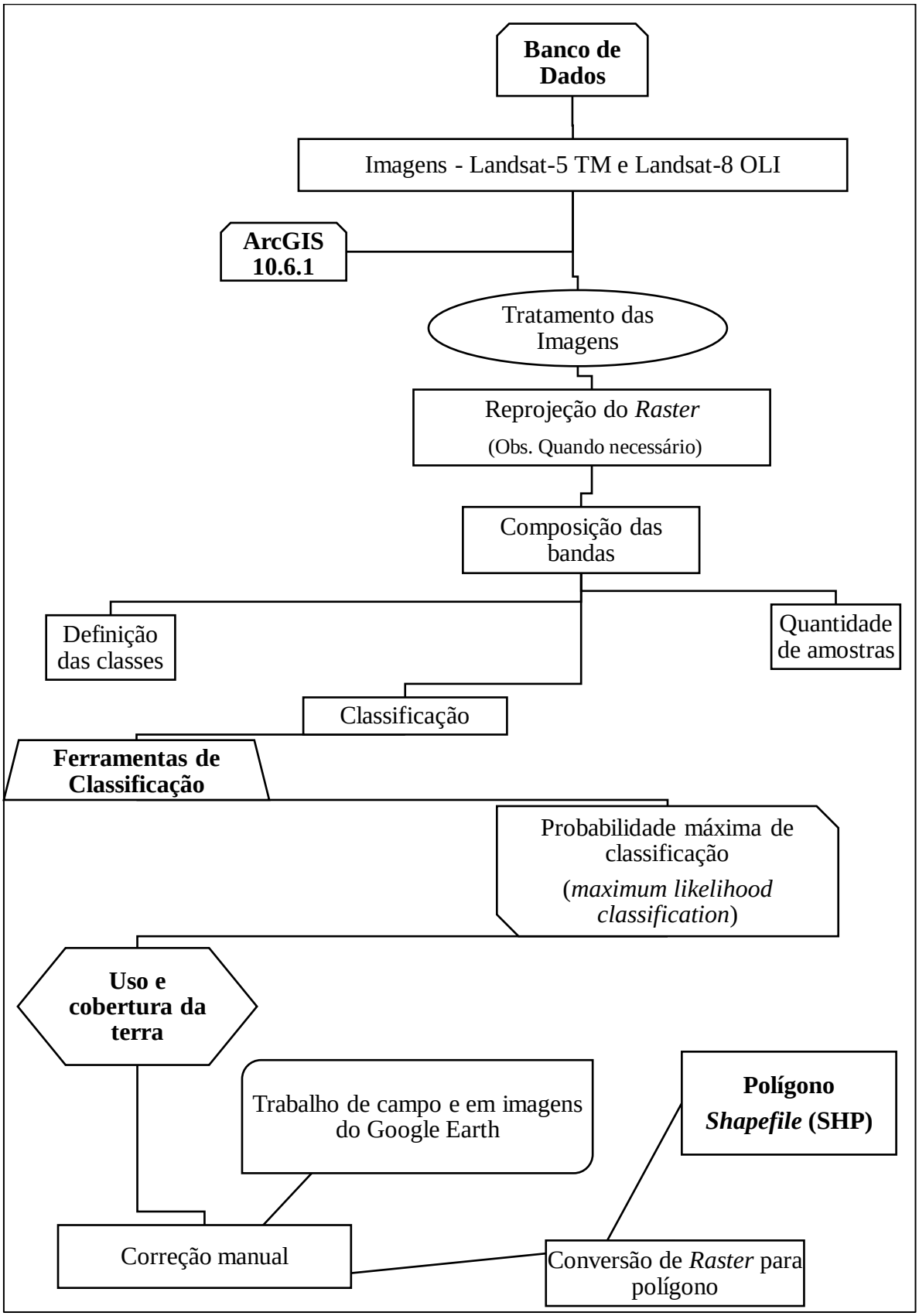
Quadro 7. Datas das imagens de satélite baixadas e utilizadas para delimitação do uso e cobertura da terra

Data	**Órbita/Ponto**	**Satélite**
23/06/1989	223/71 – 233/72	Landsat-5 TM
12/07/2019		Landsat-8 OLI

Organização: O Autor, 2020.

O software gera uma imagem classificada (formato *raster*) que precisa ser convertida para polígono, reclassificado e, então, passar por um processo de correção dos erros de classificação, processo manual, de acordo com a figura 2. Essa correção teve suporte no trabalho de campo e em imagens disponibilizadas no aplicativo Google Earth Pro. Os mapas finais de uso e cobertura da terra foram gerados em uma escala de 1:100.000.

Figura 2. Fluxograma de delimitação de uso e cobertura do solo, utilizando o ArcQGIs 10.6.1



Fonte: O Autor, 2020.

O uso e ocupação da terra seguindo o método proposto por Ross (1994) representa um dos critérios que compõem a análise da fragilidade ambiental. A cobertura vegetal do solo estabelece segundo o autor graus de proteção (quadro 8). A proteção desse solo segue uma hierarquia que classifica os níveis de fragilidade em relação a ação antropogênica.

Quadro 8. Graus de proteção do uso da terra e cobertura vegetal

Graus de proteção	Tipos de coberturas vegetais
1-Muito Alta	Florestas/matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2-Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundário, Cerrado Denso e Capoeira Densa). Mata homogêneas de Pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
3-Média	Cultivos de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja como forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosques de nativas.
4-Baixa	Culturas de ciclos longos de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja cm solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, feijão, soja, trigo, milho, algodão com cultivos em curvas de nível/terraceamento)
5-Muito baixa ou nula	Áreas desmatadas ou queimadas recentemente, solo exposto ao longo arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos de estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem praticas conservacionistas e áreas urbanizadas

Fonte: Ross (1994).

Seguindo o método para o uso e cobertura da terra, foi introduzido os graus de proteção para cada tipo de uso classificado: agricultura, água, área urbana, pastagens, solos descobertos / encostas e Silvicultura. Todos o processo de introdução dos pesos foi realizado pelo ArcGIS 10.6.1® através da tabela de atributos para cada classe identificada.

Para o procedimento de mapeamento da mudança de uso e cobertura da terra, utilizou-se o programa QGIS 2.18 com a ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin*, função *Postprocessing/Land cover change*. O emprego dessa ferramenta proporcionou observar as mudanças nas áreas de conversão de vegetação para agropecuária do ano de 1989 para 2019.

A ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin*, função *Accuracy* foi utilizada para o processo de validação do uso e cobertura da terra do ano de 2019. Com o emprego dessa ferramenta foi possível obter o índice Kappa, que correspondeu a 0.6386. segundo Lands e Koch, (1977) esse resultado e classificado como muito bom.

Na etapa de validação e análise de campo foram utilizados dois equipamentos *Global*

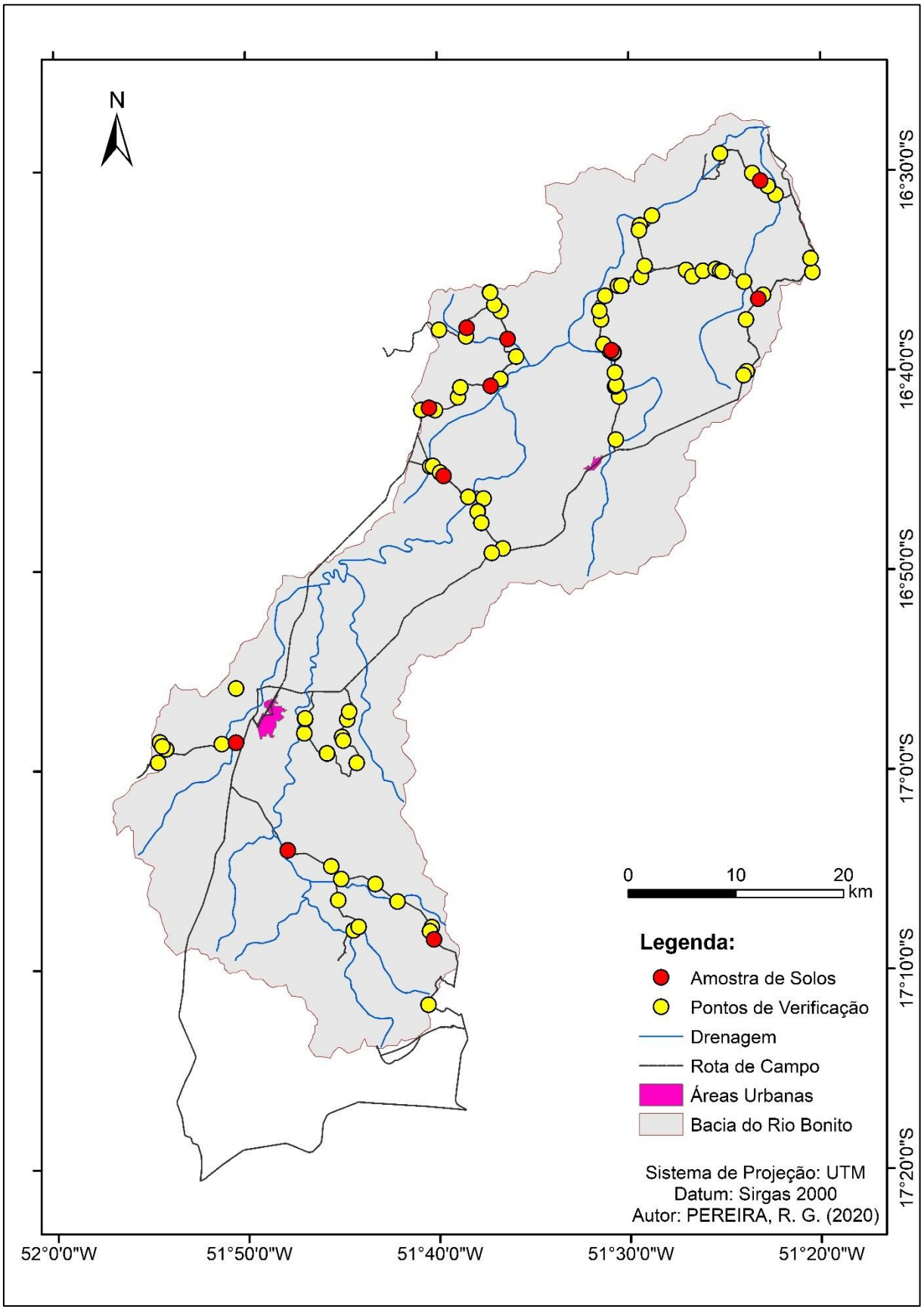
Navigation Satellite System (GNSS) de navegação, precisão média de 3 metros: um contendo as coordenadas dos pontos e as rotas de verificação do mapeamento; e um segundo para coleta de coordenadas de validação e registro dos trajetos percorridos em campo. Também foi utilizado um Drone da empresa *Dà-Jiāng Innovations Science and Technology* (DJI) modelo *phantom 4*, para registar as fotografias aéreas, ambos disponibilizados pelo Laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Jataí (UFJ).

A pesquisa de campo teve como objetivo conhecer a área da BHRB, identificando suas características e analisando as paisagens. O levantamento de campo proporcionou um conhecimento da forma de uso e cobertura da terra, identificando áreas de agricultura, pastagens, vegetações e áreas urbanas. Também foi possível observar e registrar as formas dos relevos ao decorrer da bacia, bem como a declividade e elevação.

Outro objetivo da pesquisa de campo foi comparar e corrigir erros gerados no processo de mapeamento do uso e cobertura de terra, relevo e tipos de solos. Realizou-se uma análise do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2019, comparando com a realidade vista no percorrer da BHRB. Os mapas de dissecação, declividade e solo, foram analisados quando gerados e demarcado pontos para verificação em campo, sobretudo as áreas com dissecação muito forte e declividade acima de 30%, áreas de uso e cobertura com classificações que não coincidiam com a realidade e tipos de solos apresentados no mapa que necessitavam de ajustes.

Os pontos demonstrados em amarelo no mapa 2 correspondem aos locais visitados em campo para validação dos mapas de uso e cobertura da terra, verificação da acurácia do mapeamento, ajustes nos mapas-síntese de fragilidade ambiental e registro fotográfico. Já os pontos demonstrados em vermelho indicam as áreas onde foi necessário realizar análises de solo para ajustes no mapeamento. A rota principal de campo está demarcada com uma linha preta contínua, coincidindo prioritariamente com o traçado de rodovias federais, estaduais e municipais.

Mapa 2. Mapa de validação, contendo informações sobre as áreas de verificação em campo e pontos de coleta de solo.



Elaboração: O autor, 2020.

3.2.3 – Mapeamento de Fragilidade de Ambientes Naturais e Antropizados.

A quinta e última etapa consiste no mapeamento de síntese para a fragilidade ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental da BHRB, adotou a metodologia proposta por Ross (1994), que necessita de estudos relacionados ao relevo, solo, uso e cobertura da terra e clima. Ross (1994) determinou classes hierárquicas para identificar a fragilidade ambiental, classificando-as em 5 classes: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

As principais variáveis necessárias para identificação do índice de fragilidade ambiental segundo o método proposto por Ross (1994) são: tipo de solo, dissecação e erosividade da chuva (fragilidade potencial) e uso e cobertura da terra (fragilidade emergente). Seguindo esse método a fragilidade potencial e emergente podem ser originadas através de álgebra em programas de geoprocessamento.

Para realizar o processo algébrico da geração das fragilidades potencial e emergente utilizou-se o ArcGIS 10.6.1®. Para calcular a fragilidade potencial (dados de dissecação do relevo, solos e erosividade) foi aplicado a equação 3 e posteriormente para calcular a fragilidade emergente (fragilidade emergente e uso e cobertura da terra), equação 4.

$$\mathbf{FP} = \frac{\mathbf{D+S+E}}{\mathbf{3}} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

FP: Fragilidade Potencial;

D: Dissecação do relevo;

S: Tipos de Solos

E: Erosividade

$$\boldsymbol{FE} = \frac{\boldsymbol{FP+US}}{\mathbf{2}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

FE: Fragilidade Emergente

US: Uso e Cobertura do Solo

Para a geração da fragilidade potencial, primeiramente foi realizado a sobreposição dos dados de solos com os dados do relevo (dissecação) e posteriormente inserido os dados de erosividade. De acordo com a metodologia de Ross (1994) os resultados dessas combinações geram números de 1 a 5, organizados do mais protegido para o menos protegido. Essas combinações geram uma sequência de números que varia de 111, 121 podendo chegar até

possibilidades de 555.

A sequência dessas combinações segue uma ordem, em que o primeiro número representa os dados de solos, o segundo a dissecação do relevo e o terceiro ao índice de erosividade das chuvas (ROSS, 1994). Realizando a sobreposição das classes se obteve uma média, identificando a fragilidade potencial. Posteriormente, foi sobreposto o uso e cobertura da terra a fragilidade potencial, obtendo uma nova média que por fim deu origem a fragilidade emergente.

Diferentemente da proposta original de Ross (1994), nesta pesquisa optou-se por não aplicar a Equação Universal de Perda de Solos considerando o pouco detalhamento do mapa de solos disponível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise fisiográfica da Bacia do Rio Bonito.

A análise fisiográfica de uma bacia hidrográfica está relacionada com as suas características físicas e as interações entre os elementos, proporcionando entender a dinâmica e as condições ambientais que ela apresenta. A análise fisiográfica da BHRB considerou como variáveis de estudo os elementos importantes para compreensão da fragilidade ambiental: a hidrografia, o clima, as formações geológicas, o relevo e os solos.

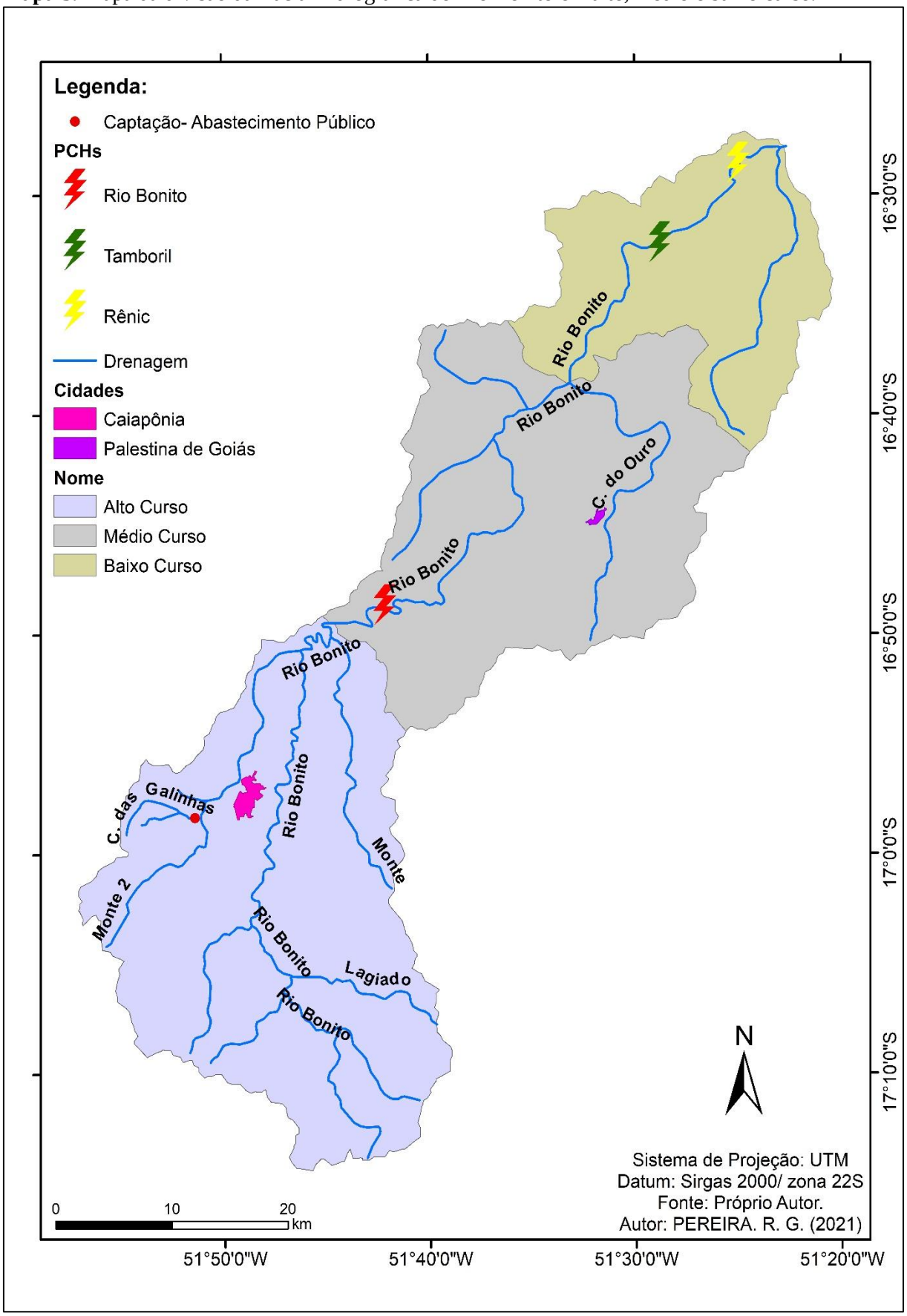
Considerando a extensão territorial da bacia, optou-se em dividi-la em três sessões: Alto Curso, localizado entre a serra do Caiapó e próximo a PCH-Rio Bonito; Médio Curso, a cima da PCH-Rio Bonito e jusante da cidade de Palestina de Goiás no encontro do Córrego do Ouro ao Rio Bonito; e Baixo Curso, localizado da Foz do Córrego do Ouro até o ponto de exultório da bacia no reservatório da PCH Santo Antônio, de acordo com o mapa 3.

A hidrografia da BHRB apresenta uso múltiplo, entre eles o abastecimento público, atividades na área da pecuária e da agricultura como dessedentação dos animais e uso da água nas propriedades rurais, e geração de energia elétrica.

A bacia é utilizada para o abastecimento público da cidade de Caiapônia-GO, tendo como manancial o Córrego das Galinhas, afluente do Rio Bonito. De acordo com dados da ANA (2015), a cidade tem uma demanda de 32 L/s de água. A empresa responsável pelo abastecimento e tratamento da água é a SANEAGO, que também é responsável pelo tratamento e disposição do esgoto sanitário da cidade de Caiapônia-GO, que tem como corpo receptor o próprio Rio Bonito.

De acordo com Castro *et al* (2014) o sistema de abastecimento de água para cidade de Caiapônia-GO apresenta problemas devido as más condições físicas do manancial. A coleta da água no período de estiagem (seco) apresenta dificuldades devido a sua vazão baixa, além de apresentar alto níveis de assoreamento. De acordo com os autores, os fatores que ocasionaram esses problemas foram as condições de preservação da bacia que se encontra em estado de degradação, principalmente pela falta de planejamento das áreas ocupadas pela agropecuária.

Mapa 3. Mapa da divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito em alto, médio e baixo curso.



Fonte: IBGE
Elaboração: O Autor, 2021.

A cidade de Palestina de Goiás também está situada dentro da BHRB e utiliza-se dela para o abastecimento público, porém a sua fonte de abastecimento é através de poços. A cidade tem uma demanda de 6 L/s de acordo com a ANA (2015). A empresa responsável pelo abastecimento também é a SANEAGO.

Além do abastecimento público a BHRB apresenta potencial energético contendo ao decorrer do seu curso três PCHs. A primeira PCH é a Rio Bonito, encontrada no médio curso da bacia hidrográfica, nas coordenadas latitude: 16°48'39.83"S e longitude: 51°42'9.18"O. A PCH Rio Bonito destina parte da sua produção para o abastecimento energético da Cidade de Caiapônia-GO, abastecendo alguns setores da cidade.

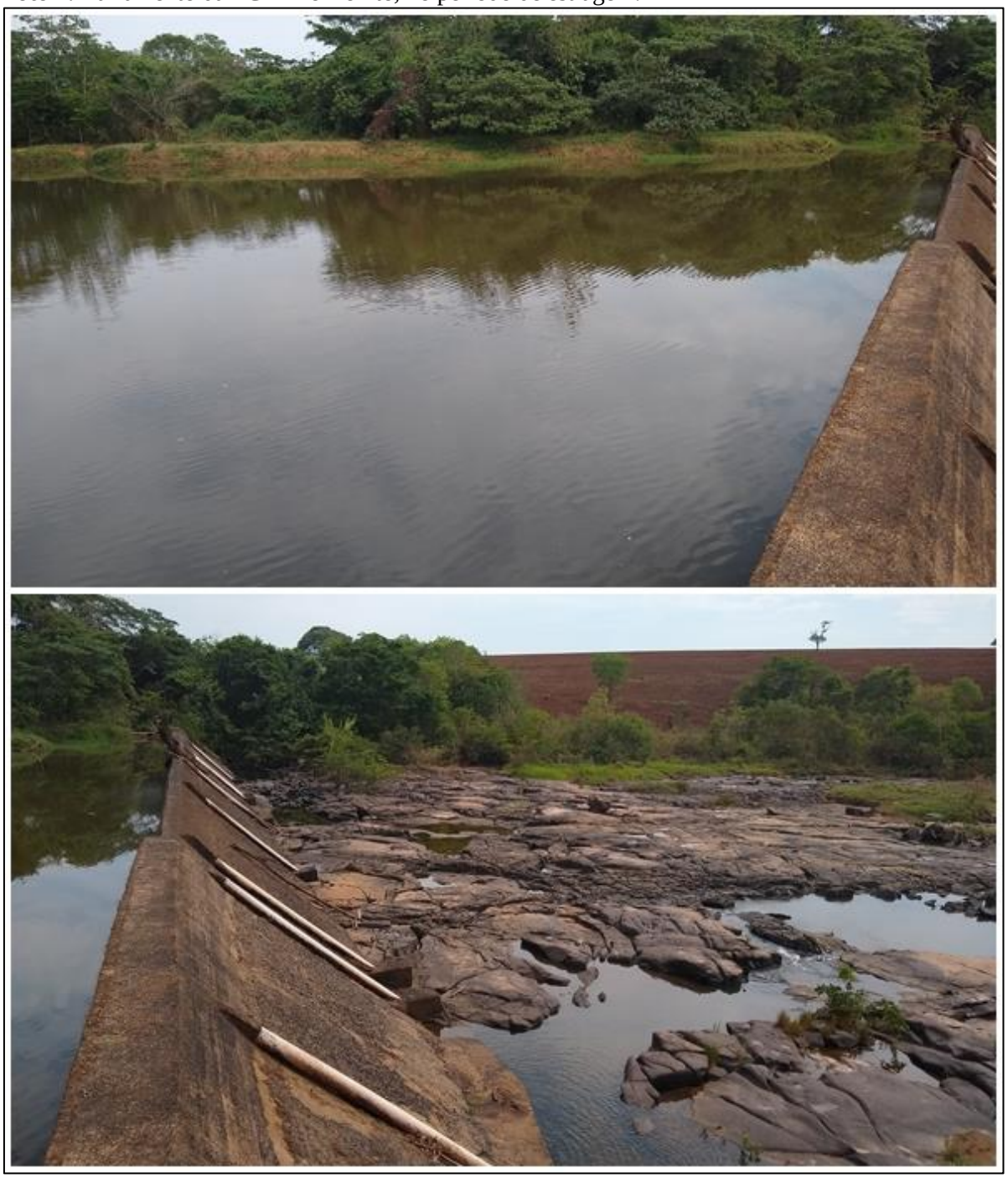
A segunda PCH pertencente a bacia é a Tamboril, localizada nas coordenadas latitude: 16°32'13.32"S e longitude: 51°28'47.01"O. Em seguida localizada próxima a foz, temos a terceira PCH da BHRB, a Rênic localizada nas coordenadas latitude: 16°28'38.36"S e longitude: 51°25'5.28"O.

Na visita a PCH Rio Bonito realizada no mês de outubro de 2019, pode-se identificar as condições de vazão baixa do rio, que naquela data estava sendo 100% canalizado para a produção energética da PCH, como demostrado na foto 1. De acordo com o relato de um funcionário, a vazão no período de seca tem demostrado níveis preocupantes, ele também relatou que a profundidade média do reservatório tem baixado devido à quantidade de sedimentos transportados pelo rio a montante.

Nas PCHs Tamboril e Rênic foi realizado uma visita no dia 31 de janeiro de 2020, onde foi possível registrar fotos com o Drone da área do barramento, a PCH Tamboril demostrada na foto 2 e a Rênic na foto 3. Pode-se destacar nas fotos a coloração da água, que estava com um tom avermelhado, demostrando a existência de sedimentos sendo carreados no curso do rio, até chegar aos reservatórios.

Esses sedimentos presentes na água são provenientes do revolvimento do solo, realizados através das atividades da agropecuária, desmatamento e processos erosivos. Todos esses fatores atribuídos ao período chuvoso resultam no carreamento das partículas de solos para o rio, alterando a cor da água, além de provocar o assoreamento e outros danos ambientais ao manancial. O que se pode diagnosticar frente aos problemas de sedimentação relatado na primeira PCH, que permanece conforme a coloração da água nas duas últimas PCHs, é que no futuro além da primeira as outras duas, poderão apresentar problemas relacionados a sedimentação na área do reservatório.

Foto 1. Barramento da PCH Rio Bonito, no período de estiagem.



Fonte: O Autor, 2019.

Foto 2. Barramento da PCH Tamboril, no período chuvoso

Fonte: O Autor, 2019.

Foto 3. Barramento da PCH Rênic, no período chuvoso

Fonte: O Autor, 2019.

4.1.1 Geologia

Com relação à Geologia (mapa 4), elemento da paisagem importante para compreender a formação dos solos e dinâmica do relevo, foram identificadas 14 unidades geológicas demostradas no mapeamento disponibilizado pelo SIEG e SIC (2009). Destas, se destacam duas formações com maior ocorrência: A Formação Aquidauana e a Formação Ponta Grossa.

A Formação Aquidauana é responsável pelo embasamento de cerca de 44% do território, localizada no alto curso da bacia e associada à Serra do Caiapó. Na foto 4 pode-se observar a composição rochosa encontrada nessa formação. Em segundo temos a Formação Ponta Grossa como embasamento de 28% da área, localizada no médio curso e uma pequena parte no baixo curso da bacia.

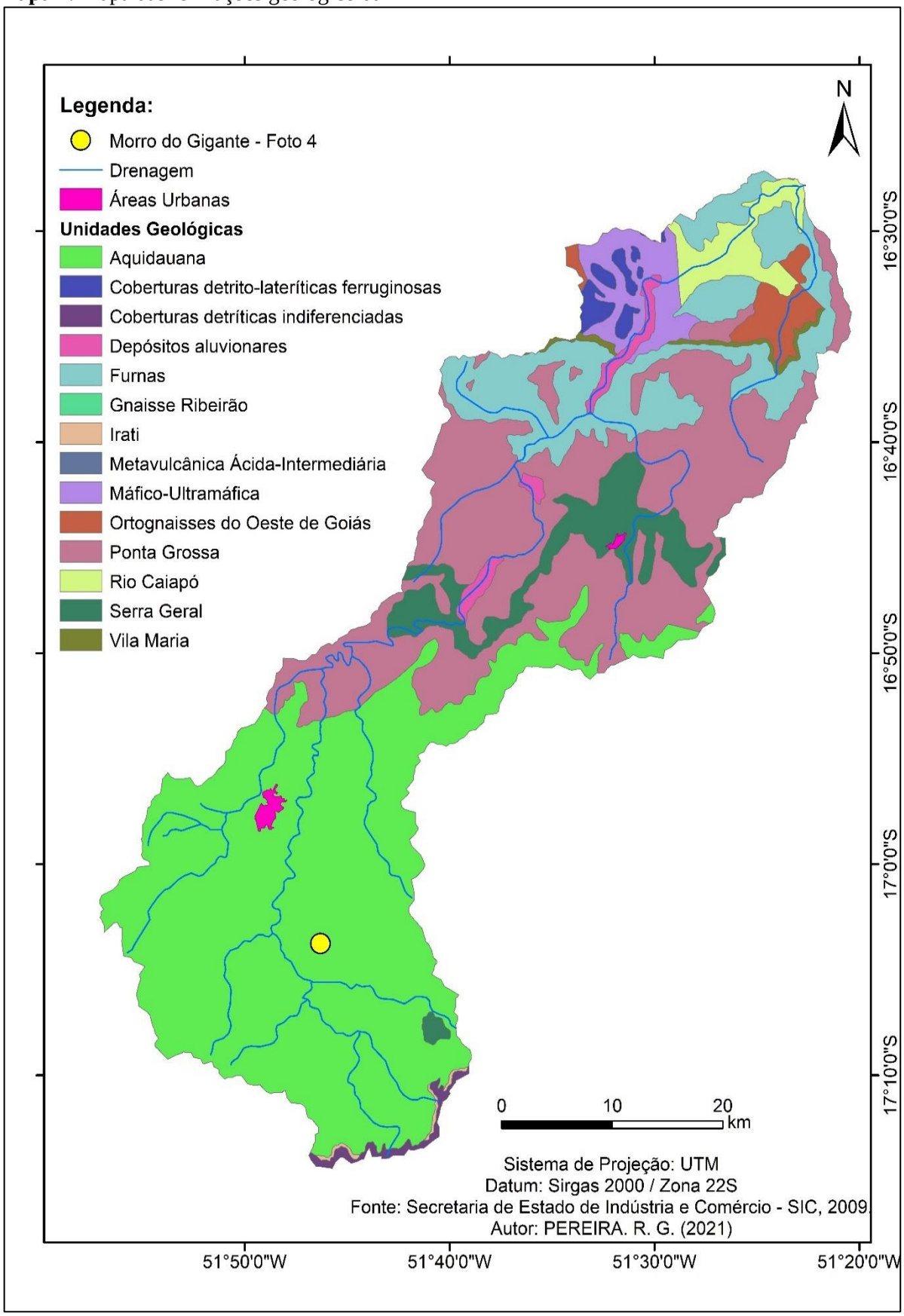
A Formação Aquidauana se originou no período carbonífero, em ambientes continentais, com possibilidade de influência glacial, com idade entre 296 a 320 milhões de anos. Tem como era máxima o paleozóico, pertence ao grupo Itararé, localizado na bacia do Paraná. De acordo com Guerra *et al* (1989, p. 48):

> Possui grande variação litológica, sendo a porção inferior composta por arenito de granulação média com grãos de quartzo e feldspato. Em direção ao topo dessa unidade geológica observa-se siltito, ocorrendo ainda um arenito de granulação média à fina, com grãos subarredondados e arredondados. A cor dominante dos arenitos dessa unidade geológica é o vermelho-telha

Já a formação Ponta Grossa tem como origem o período devoniano, idade entre 395 e 410 milhões de anos, em ambientes continental e marinho, pertencentes à bacia do Paraná. Segundo o Serviço Geológico do Brasil- CPRM (2001, p. 17 apud Oliveira, 1912) a Formação Ponta Grossa "é constituída dominantemente por arenitos finos, contendo níveis centimétricos de conglomerados, que passam, em direção ao topo, a siltitos e folhelhos e, localmente, a delgados níveis de argilitos".

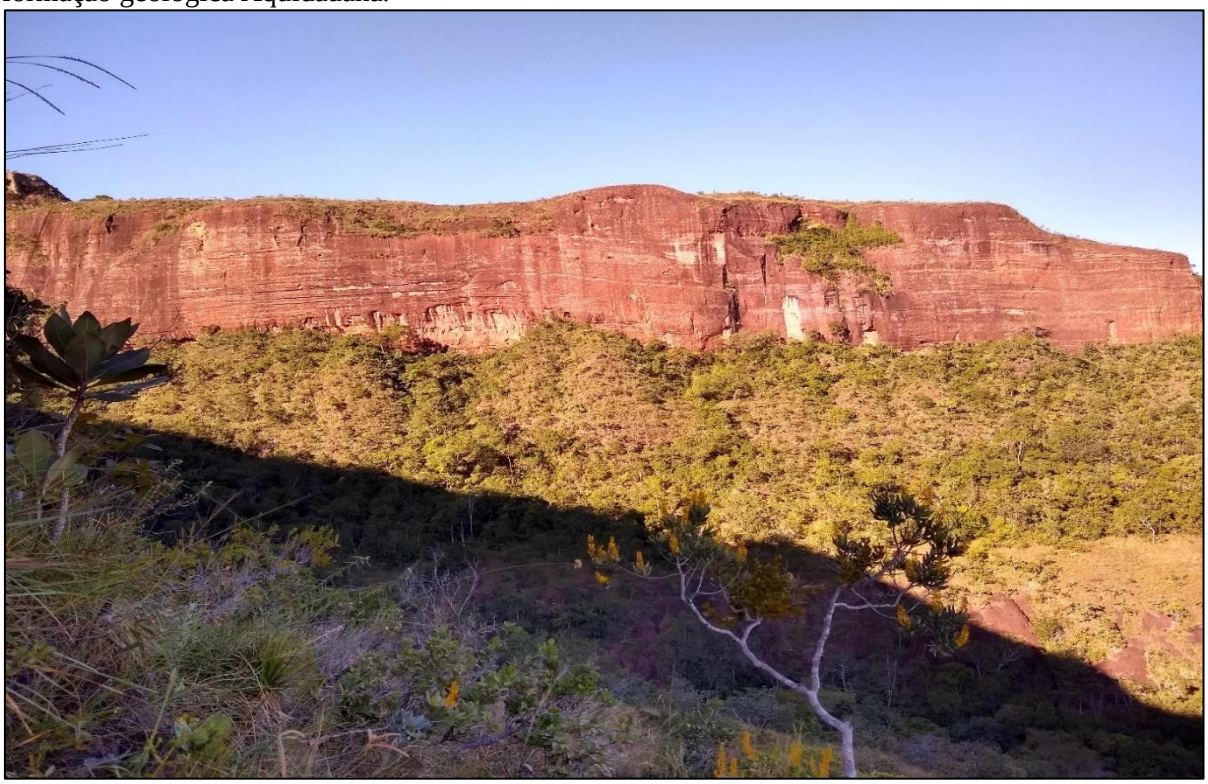
As duas formações geológicas com maior cobertura de área na BHRB são susceptíveis a erosões e a liberação de sedimentos para os cursos d´águas. Essa susceptibilidade a liberação de sedimentos ocorre devido a presença do arenito e feldspato em suas composições, sendo estes materiais de pouca agregação e de fácil desagregação, devido a ações do intemperismo. A combinação dessa susceptibilidade junto com o mal uso da terra, acelera o processo erosivo e a sedimentação em áreas embasadas por essas formações geológicas, demostrando alta fragilidade.

Mapa 4. Mapa das formações geológico da BHRB



Fonte: SIC (2009)
Elaboração: O Autor, 2021.

Foto 4. Formação de Arenito, localizado no Morro do Gigante no alto curso da BHRB, dentro da formação geológica Aquidauana.



Fonte: O Autor, 2020.

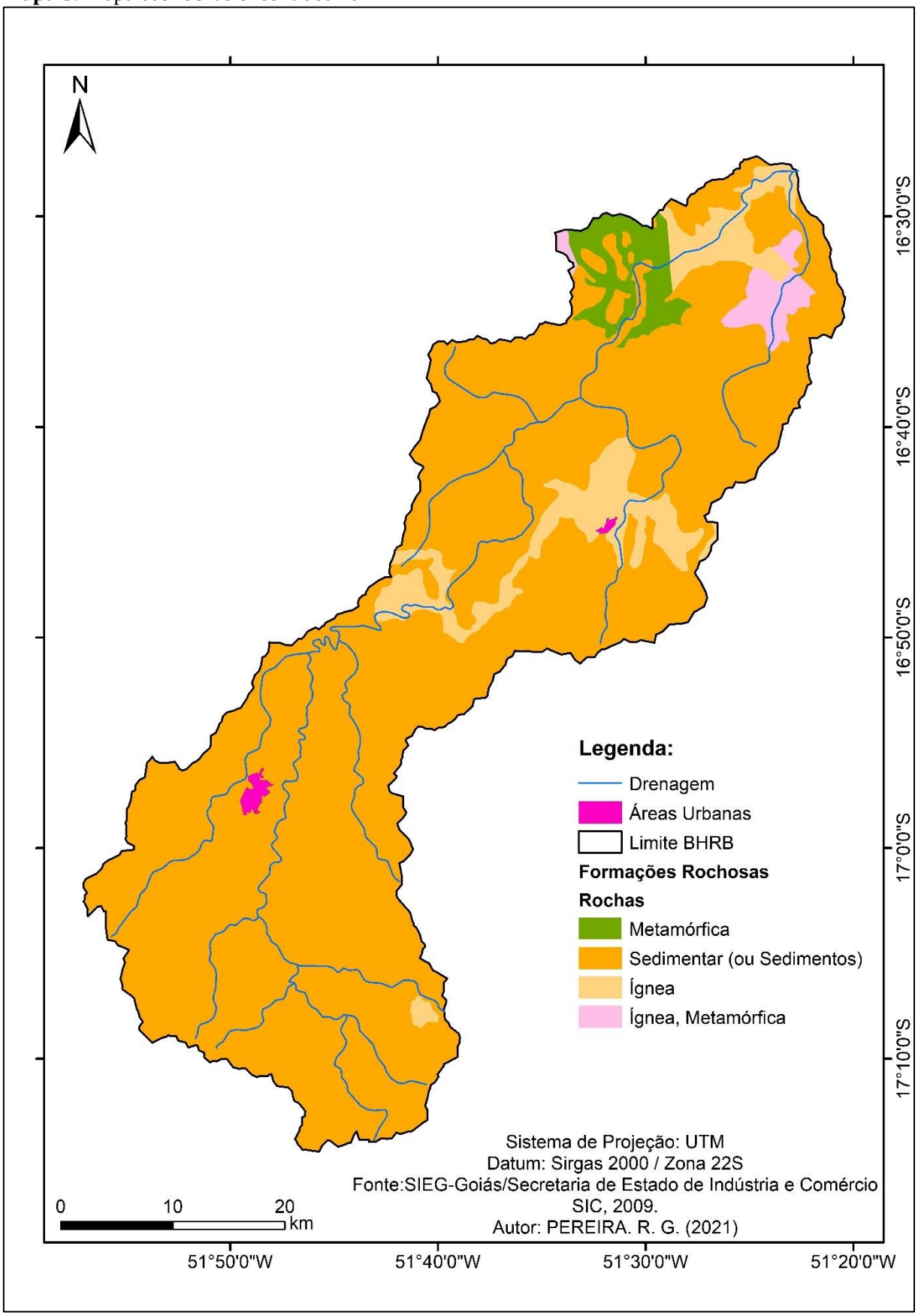
Os tipos de rochas encontradas na BHRB de acordo com os dados disponibilizados pelo SIEG e SIC (2009) são: Ígneas, Ígneas/Metamórficas, Metamórficas e Sedimentares, conforme a representação no mapa 5.

As rochas Ígneas cobrem 8% da área total da bacia, a maior concentração está localizada no médio curso ao entorno da cidade de Palestina de Goiás e suas proximidades associadas à Formação Serra Geral. No baixo curso pode ser identificada sua presença próxima a foz, associadas à formação Rio Caiapó. Já no alto curso pode ser encontrado uma pequena mancha próxima a uma das nascentes do Rio Bonito, na serra do Caiapó, também associadas à Formação Serra Geral. As principais rochas Ígneas encontradas na bacia são: Basalto, Basalto-andesito, Granito, Granodiorito, Dacito e Riolito, (SIEG; SIC, 2009).

A cobertura das rochas Ígneas/Metamórficas e Metamórficas representa 2% e 3% respectivamente do total, concentradas no baixo curso e associadas às formações Máfica-Ultramáficas. As rochas Ígneas/Metamórficas são: Gnaisse e Tonalito.

Já as rochas Sedimentares correspondem a 87% da área total da bacia, podendo ser encontrada no alto, médio e baixo curso. Os materiais de formação dessas rochas conforme SIEG e SIC (2009) são: Depósitos de areia, cascalho e argila, aglomerado, laterita, diamictito, folhelho, arenito, siltito, arenito, argilito.

Mapa 5. Mapa das rochas encontrada na BHRB



Fonte: SIC (2009)
Elaboração: O Autor, 2021.

4.1.2 Solos

As amostras de solo coletadas em campo auxiliaram no ajuste do mapa 6. Na tabela 1 é possível observar os teores de areia, silte e argila em porcentagem, encontrados em cada amostra. Os resultados demostraram que 99% das amostras apresentam mais de 50% de teor de areia. Entre as amostras apenas a 8 apresentou um teor de areia baixo, com 18,19%.

As amostras de solos foram coletadas em áreas de Argissolo vermelho eutrófico, Cambissolo háplico distrófico, Latossolo vermelho amarelo alumínico, Latossolo vermelho distrófico e Neossolo quartzarênico órtico, conforme o mapa 6. Quando fazemos uma média geral entre as 11 amostras de solos da tabela 1, chegamos em um resultado de 70% de teor de areia, 11% silte e 19% argila.

Tabela 1. Análise das amostras de solo colhida no campo, textura em porcentagem (%)

Amostras	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
1	69,37	9,84	20,31
2	74,61	16,01	9,38
3	82,91	4,35	12,74
4	82,21	8,53	9,19
5	65,59	14,51	19,80
6	74,26	10,74	15,00
7	75,27	10,15	14,58
8	18,19	16,29	65,52
9	68,28	12,81	18,81
10	71,68	13,74	14,58
11	85,66	9,17	5,17

Fonte: Laboratório de solos – Regional Jataí, 2020.
Elaboração: O Autor, 2021.

Após o processo de mapeamento e as correções realizadas em campo e laboratório, pode-se identificar 07 classes de solos na bacia, conforme o mapa 6 e a tabela 2. Entre os solos encontrados o Neossolo quartzarênico órtico foi o que apresentou maior área, cobrindo 30% da bacia hidrográfica. Apesar de estar presente em todos os setores da bacia sua maior área de concentração encontra-se associada às Formações Aquidauana e Ponta Grossa no alto e médio curso do Rio Bonito.

Tabela 2. Tipos de solos encontrados na BHRB

Tipo de Solo	Área (km²)	Representação (%)
Argissolo vermelho distrófico	20	1
Argissolo vermelho eutrófico	281	14
Cambissolo háplico distrófico	147	7
Latossolo vermelho amarelo alumínico	342	17
Latossolo vermelho distrófico	443	22
Neossolo litólico distrófico	182	9
Neossolo quartzarênico órtico	602	30
Total	**2.017**	**100**

Fonte: EMATER (2017)
Elaboração: O Autor, 2021.

Tanto o Neossolo quartzarênico órtico quanto o Neossolo litólico distrófico, são solos com baixa fertilidade e alta vulnerabilidade ao processo erosivo. Quando analisamos os dois Neossolos em conjunto com o Cambissolo háplico distrófico, que também apresenta alta fragilidade aos processos erosivos, percebemos que somados suas áreas eles correspondem a 46% da área total. Deve-se ter um maior cuidado com as atividades desenvolvidas em áreas cobertas por esses solos.

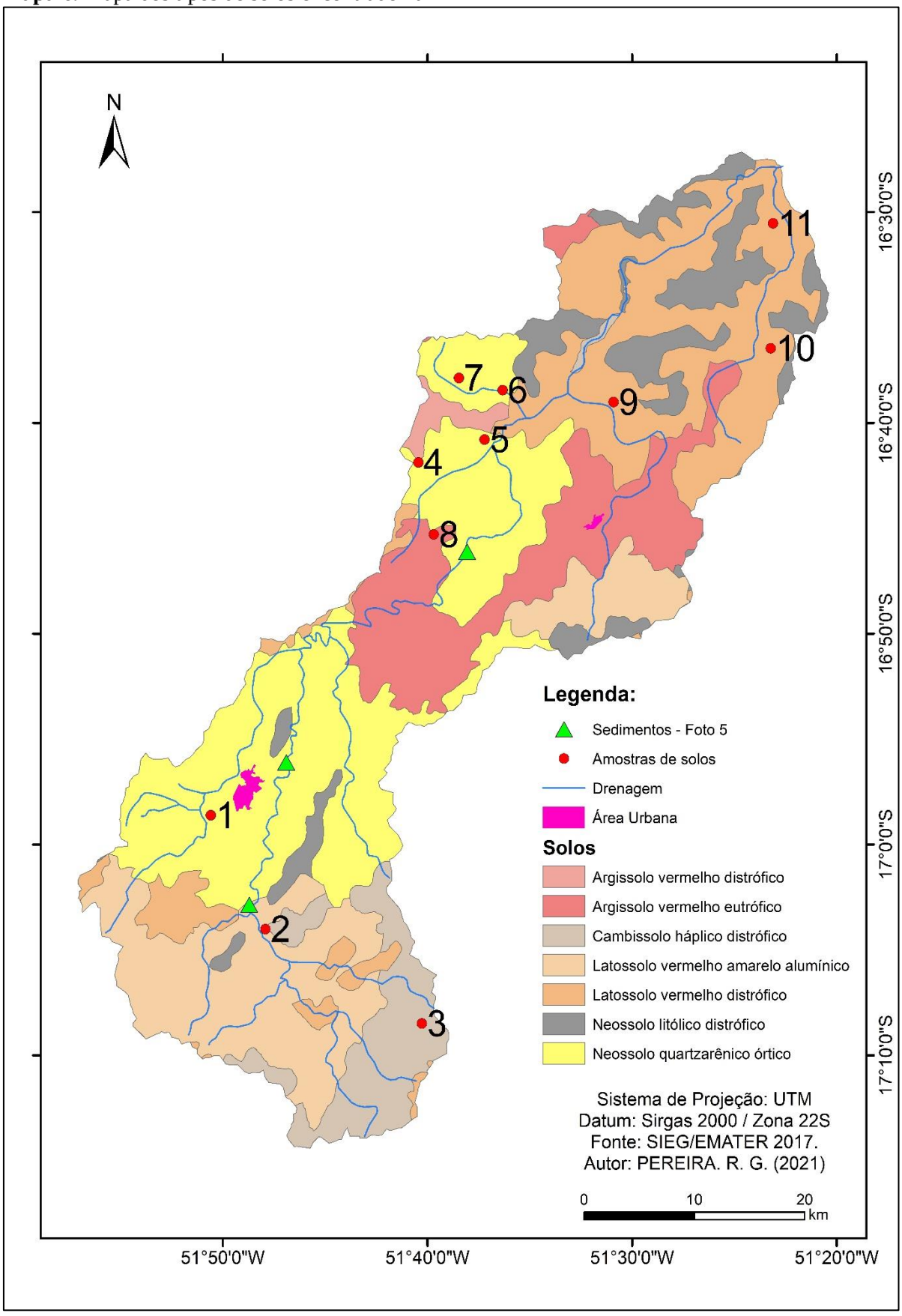
O Argissolo vermelho distrófico representa 1% em relação aos demais solos, está localizado no médio curso próximo à divisa entre os municípios de Caiapônia-GO e Piranhas-GO. As áreas de Argissolo vermelho eutrófico estão localizadas no médio e baixo curso da BHRB, recobrindo 14% da área. Os Argissolos concentram-se no médio curso da bacia nas proximidades de Palestina de Goiás, associados principalmente aos basaltos da Formação Serra Geral. Dentre os solos encontrado na bacia os Argissolo vermelho eutrófico são os que apresentam maior fertilidade e menor fragilidade ambiental.

Em um contexto geral, solos como Argissolo vermelho eutrófico, Latossolo vermelho amarelo alumínico e Latossolo vermelho distrófico, deveriam apresentar teores de argila maiores, porém não foi o que aconteceu nas análises realizadas. Analisado de forma geral as texturas dos solos da BHRB, é possível inferir que estes encontram-se associados a Neossolos quartzarênicos órticos, sendo necessários estudos mais detalhados para refinar o mapeamento. Os solos encontrados na bacia apresentam condições favoráveis para o processo erosivo e geração de sedimentos, como pode ser visto na foto 5. Essas condições ocorrem devido a forma de manejo inadequada destes solos. Já quando fazemos uma comparação entre a geologia e os solos da bacia, podemos observar que os resultados estão coerentes. A maior parte da bacia hidrográfica encontra-se embasada por rochas sedimentares constituídas por depósitos de areia, cascalho e argila, aglomerado, laterita, diamictito, folhelho, arenito, siltito, arenito, argilito.

Foto 5. (A) Rio Bonito período chuvoso, localizado no alto curso da bacia, na ponte da estrada que liga Caiapônia-GO a Montividiu-GO, ano 2020. (B) Rio Bonito período de estiagem (seco), médio curso, na ponte da GO-221 próxima a Caiapônia-GO, ano 2021. (C) Rio Bonito período chuvoso, médio curso, na ponte da estrada que liga a GO-221 a BR-158, ano 2020.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

Mapa 6. Mapa dos tipos de solos encontrado na BHRB



Fonte: SIEG (2017)
Elaboração: O Autor, 2021.

4.1.3 Relevo

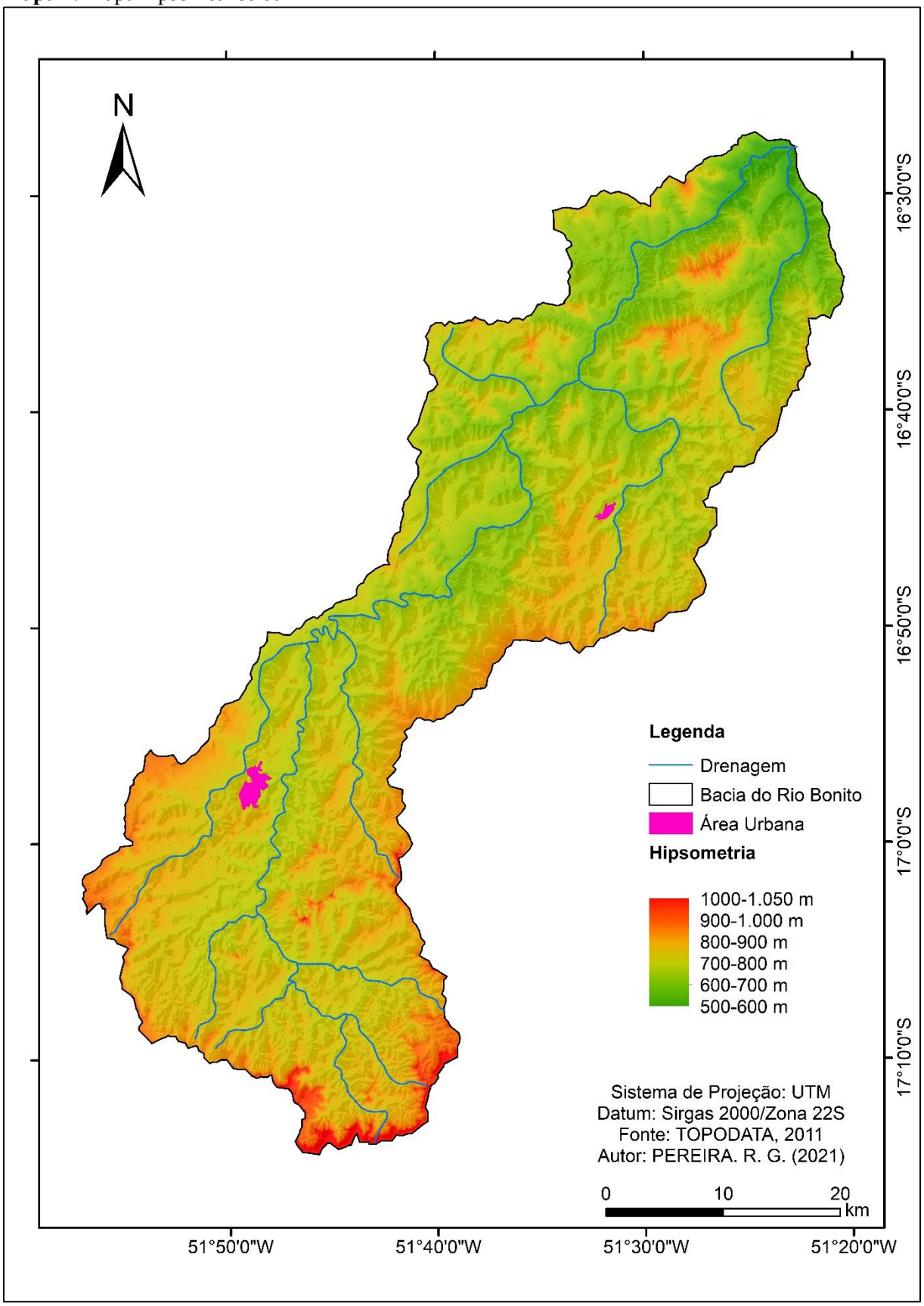
Com relação ao relevo da bacia, predominam superfícies planas/suave onduladas e com ocorrência de manchas fortemente onduladas em altitudes entre 442 e 1047 metros. O estudo do relevo consistiu na identificação e mapeamento da hipsometria, declividade e dissecação da área de estudo.

O mapeamento hipsométrico da bacia apresentou variações de altitudes de 442 a 1047 m, organizadas em classes com intervalos de 100 m, conforme o Mapa 7. As áreas com altitudes acima de 900 m podem ser encontradas em vários pontos da bacia, com destaque para as áreas do chapadão situadas no reverso da Cuesta do Caiapó, localizada a montante da bacia. As áreas com maiores índices de elevação são observadas próximo as nascentes principais, tendo uma variação de 900 a 1.047 m de altitude. Nessas altitudes registra-se a presença de rochas sedimentares e solos como o Cambissolo háplico distrófico e Latossolo vermelho distrófico.

No médio curso, entre as altitudes de 600 a 700m, foi encontrado predominância de rochas sedimentaras, entremeadas por basaltos da formação Serra Geral, com presença de Argissolo vermelho eutrófico, solo esse que apresentou a maior concentração de argila. Relacionando esse fator solo com o relevo, sendo este o mais plano entre as demais, podemos observar que essa região se torna a mais indicada para o desenvolvimento das atividades agrícola. Já no baixo curso entre as altitudes que variam de 500 a 900 m, foram encontradas rochas Ígneas/Metamórficas e Metamórficas, sendo estas encontradas apenas no baixo curso. As áreas com maior altitude dessa região estão sobre a presença de Neossolo litólico distrófico.

As áreas planas/suave onduladas da bacia hidrográfica estão situadas predominantemente no médio curso e uma pequena parte no alto curso, localizadas entre as cidades de Caiapônia-GO e Palestina de Goiás-GO. Essa região apresenta elevações entre 600 a 700 m, tendo a menor variação de elevação quando comparada com o alto e baixo curso. Já no baixo curso da bacia encontra-se grandes variações de altitudes, que pode variar de 442 m sendo o ponto mais baixo encontrado a elevações de 900 m.

Mapa 7. Mapa hipsométrico da BHRB



Fonte: TOPODATA (2011)
Elaboração: O Autor, 2021.

A declividade da BHRB foi estruturada com base nas classes de fragilidade ambiental expressas em porcentagem, proposta na metodologia de Ross (1994). O autor classifica as declividades com até 6% como muito baixa (relevo plano), de 6 a 12% baixa (relevo suave ondulado), 12 a 20% média (relevo ondulado), 20 a 30% alta (relevo forte ondulado) e declividade maior que 30% como muito alta (relevo escarpado), conforme o mapa 8.

As áreas com declividades média, alta e muito alta, podem ser observadas com maior abrangência no alto e baixo curso da bacia, sendo que no alto curso destacam-se as áreas próximas à Cuesta do Caiapó e do "morro do Gigante", locais turísticos de Caiapônia-GO. No baixo curso as áreas destacadas estão próximas ao vale do Rio Bonito.

O resultado da disseção do relevo para bacia em estudo pode ser identificado no mapa 9. Observa-se que a BHRB apresenta potencial médio, alto e muito alto para fragilidade ambiental. As áreas de dissecação média e alta foram observadas em todo o segmento da bacia hidrográfica, já as áreas de dissecação muito alta se encontram em maiores quantidades no alto e baixo curso da bacia, associadas a áreas de encostas, dando destaque para as áreas próximas as nascentes principais, localizadas a montante e as áreas próxima a foz localizadas a jusante.

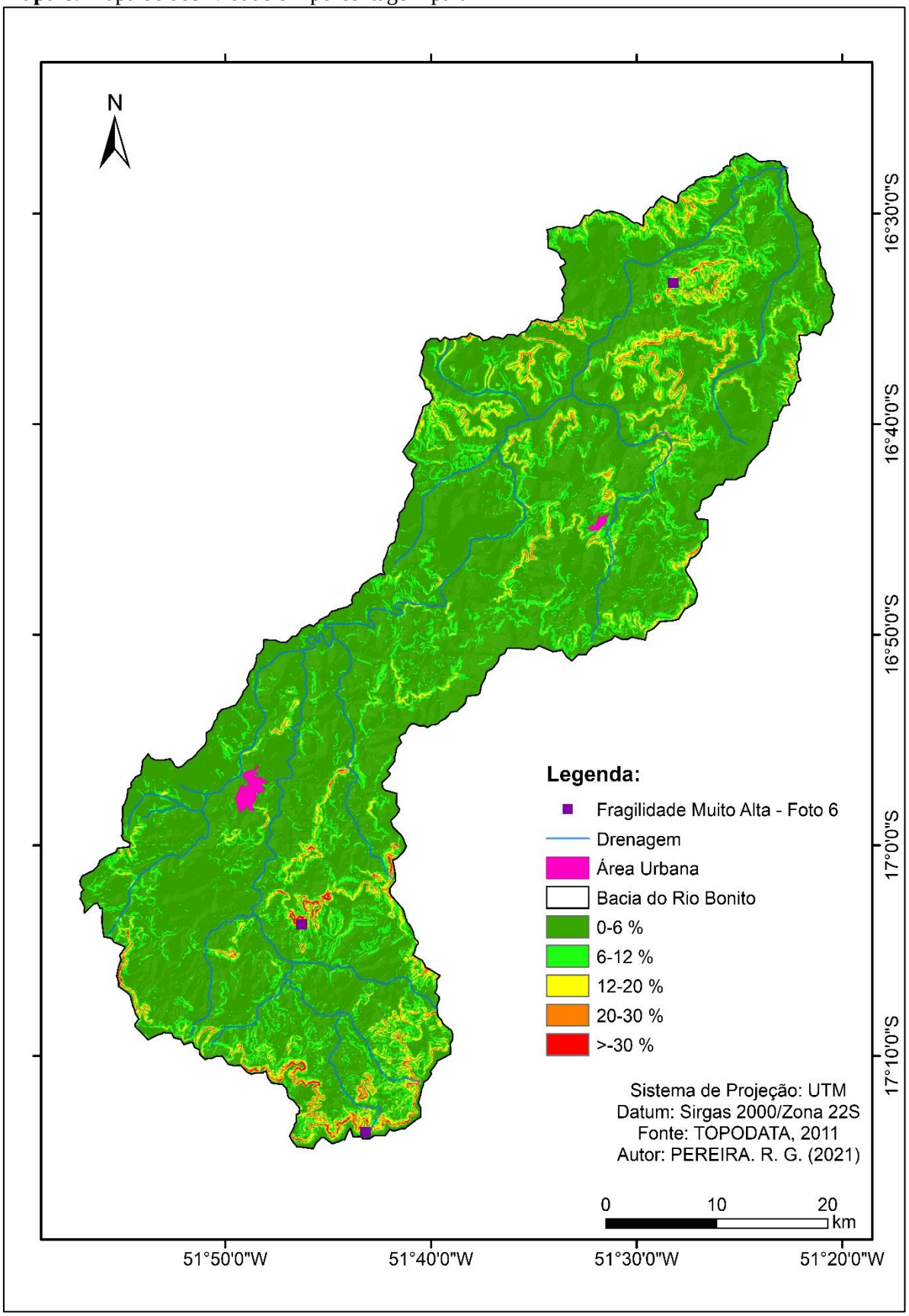
A área urbana de Caiapônia-GO apresentou dissecação média e alta, e Palestina de Goiás-GO apresentou dissecação alta em toda sua área, e também foi observado pontos de dissecação muito alta próximo às áreas urbanas das duas cidades.

As áreas de dissecação muito alta estão localizadas nas áreas de declividades de 20 a 30% e maiores que 30%, em altitudes que variam de 800 a 1047 m. A dissecação alta foi encontrada em áreas com declividade de 6 a 20%, com altitudes que variam de 442 a 1047 m estando presentes em todos os níveis de elevação. A dissecação média está localizada em áreas com declividade de 0 a 6%, em elevações de 442 a 700 m, e recebem essa classificação considerando a amplitude interfluvial.

Em comparação com as formações geológicas, as áreas de dissecação muito alta se encontram em maior concentração nas formações: Aquidauana e Rio Caiapó, em áreas com presença de rochas Sedimentares. Em relação aos tipos de solos, as áreas com dissecação muito alta, foram encontrados em maior concentração Cambissolo háplico distrófico e Latossolo vermelho distrófico.

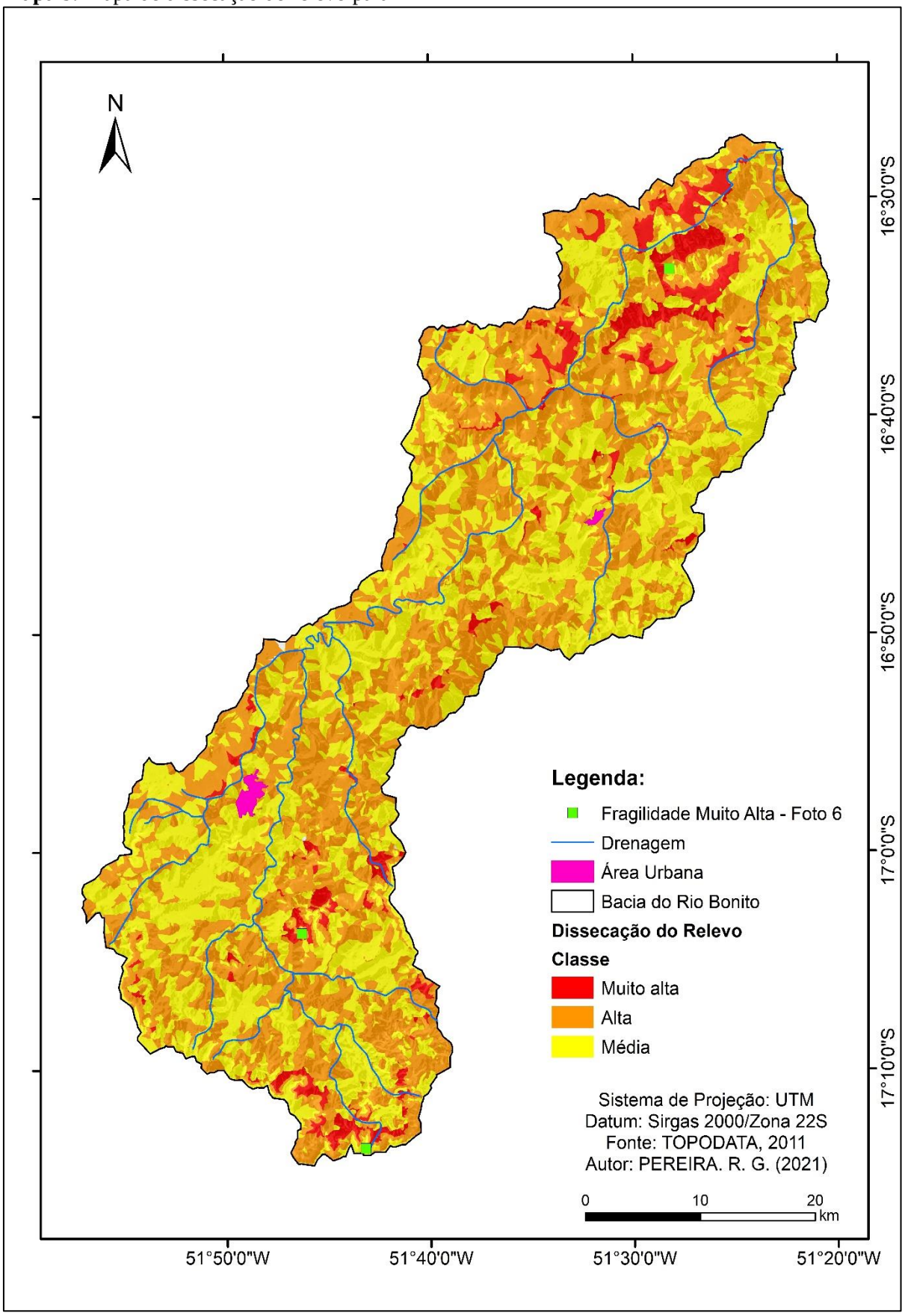
Tanto a declividade quanto a dissecação demostraram fragilidades muito alta, em áreas próxima a serra do Caiapó, morro do Gigante e PCH Tamboril. No alto e baixo curso podemos observar em maior número a presença das classes muito alta, pode ser observada na foto 6.

Mapa 8. Mapa de declividade em porcentagem para BHRB



Fonte: TOPODATA (2011)
Elaboração: O Autor, 2021.

Mapa 9. Mapa de dissecação do relevo para BHRB



Fonte: TOPODATA (2011)
Elaboração: O Autor, 2021.

Foto 6. (A) Áreas com declividade e dissecação muito alta, localizada na serra do Caiapó alto curso da BHRB. (B) Declividade e dissecação muito alta, localizada no morro do Gigante alto curso da bacia. (C) Dissecação e declividade muito alta, localizada nas proximidades da PHC Tamboril, baixo curso.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

4.1.4 Precipitação

As estações pluviométricas selecionadas para BHRB foram as de Aragarças-GO Arenópolis-GO, Caiapônia-GO, Iporá-GO, Jataí-GO e Piranhas-GO, todas controladas pela ANA. Entre as estações utilizadas apenas a de Caiapônia-GO se encontra nos limites da bacia em estudo (mapa 10). O objetivo da aquisição desses dados foi devido a necessidade de analisar uma série histórica dos índices de precipitação na área, para entender a dinâmica pluviométrica da bacia e obter o cálculo de erosividade.

Os dados foram organizados de 1989 até 2019, obtendo uma série de 30 anos de precipitação. O processo de organização gerou as médias mensais e a soma anual de chuvas, conforme a tabela 3.

Tabela 3. Dados mensais e anuais de precipitação das estações pluviométrica próxima da BHRB

Mês	Estações Pluviométricas (mm)						Média/
	Aragarças	Arenópolis	Caiapônia	Iporá	Jataí	Piranhas	Mensal
Janeiro	237	295	234	245	223	309	**257**
Fevereiro	203	232	225	215	216	224	**219**
Março	198	237	214	236	233	232	**225**
Abril	84	81	81	95	101	82	**87**
Maio	19	24	29	22	44	20	**26**
Junho	8	9	15	11	19	15	**13**
Julho	2	4	9	3	10	4	**5**
Agosto	10	10	14	9	14	5	**10**
Setembro	33	42	34	36	71	36	**42**
Outubro	101	104	109	115	130	91	**108**
Novembro	200	214	168	220	206	207	**203**
Dezembro	259	312	245	271	248	263	**266**
Média/Mês	**113**	**130**	**115**	**123**	**126**	**124**	**-**
Total	**1352**	**1563**	**1377**	**1478**	**1515**	**1488**	**-**

Fonte: ANA.
Elaboração: O Autor, 2020.

O período chuvoso da BHRB vai de outubro a março tendo em média uma precipitação de 1.257 mm, correspondendo a 87% do total de precipitação anual. O índice maior de chuva foi registrado no mês de dezembro com média de 266 mm/mês. O período de estiagem (seco) acontece entre os meses de abril e setembro tendo uma precipitação média de 205 mm, correspondendo a 13% do volume, sendo o maior índice encontrado no mês de abril com 87 mm/mês, considerado como mês de transição entre período chuvoso e seco.

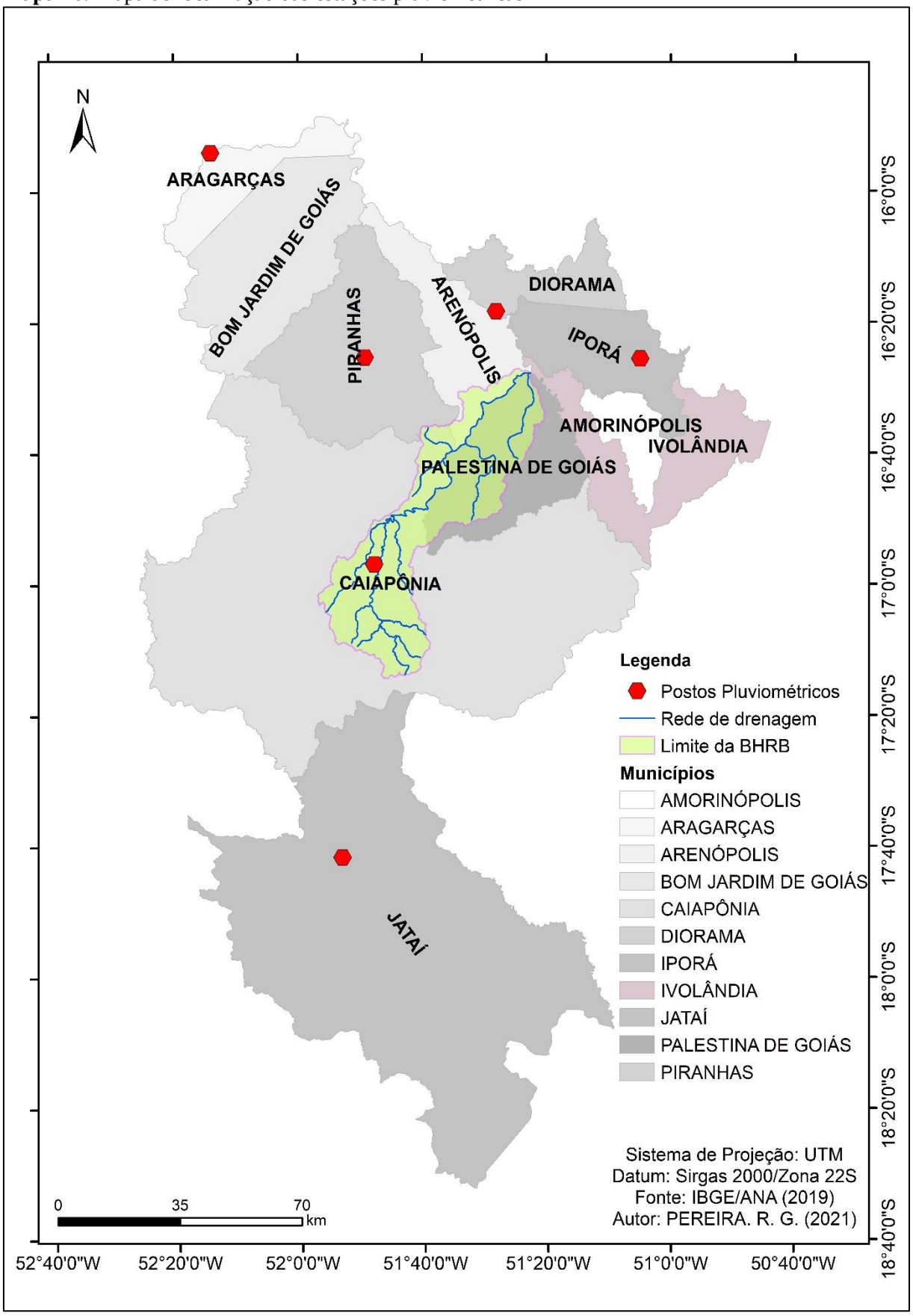
Entre as estações analisadas, a que apresentou menor média de precipitação anual foi a de Caiapônia-GO, com um total de 1.352 mm/ano, isso pode estar relacionado com a localização da estação pluviométrica, em área de fundo de vale do Rio Bonito. O pluviômetro se encontra em uma área de vale, estando a cerca de 28 quilômetros de distância da Serra do Caiapó, o que pode causar efeitos sobre o índice pluviométrico da estação.

A estação que apresentou maior média pluviométrica foi a de Arenópolis-GO com 1.563 mm/ano, localizada a 17 km da foz da BHRB. A estação de Piranhas-GO, com distância média de 25 Km do baixo curso, registrou 1.488 mm/ano, a estação de Iporá-GO, localizada a cerca de 30 km do baixo curso apresentou uma precipitação de 1.478 mm/ano. Jataí-GO, localizada a cerca de 50 km do alto curso, registrou média de 1.515 mm/ano, apresentando o segundo maior volume. A estação de Aragarças-GO, localizada a cerca de 100 km do médio curso, apresentou 1.352 mm/ano de precipitação.

No gráfico 1, observa-se a precipitação média das estações em relação aos meses do ano, no período seco e chuvoso. No período chuvoso, os meses que apresentam precipitações mais elevadas são dezembro e janeiro. E no período seco (estiagem), os meses que apresentam maior déficit de precipitação são julho e agosto. Considerando os meses de baixa precipitação acumulada, os meses mais críticos do ponto de vista disponibilidade hídrica são setembro e outubro, quando os cursos d'água registram os menores volumes.

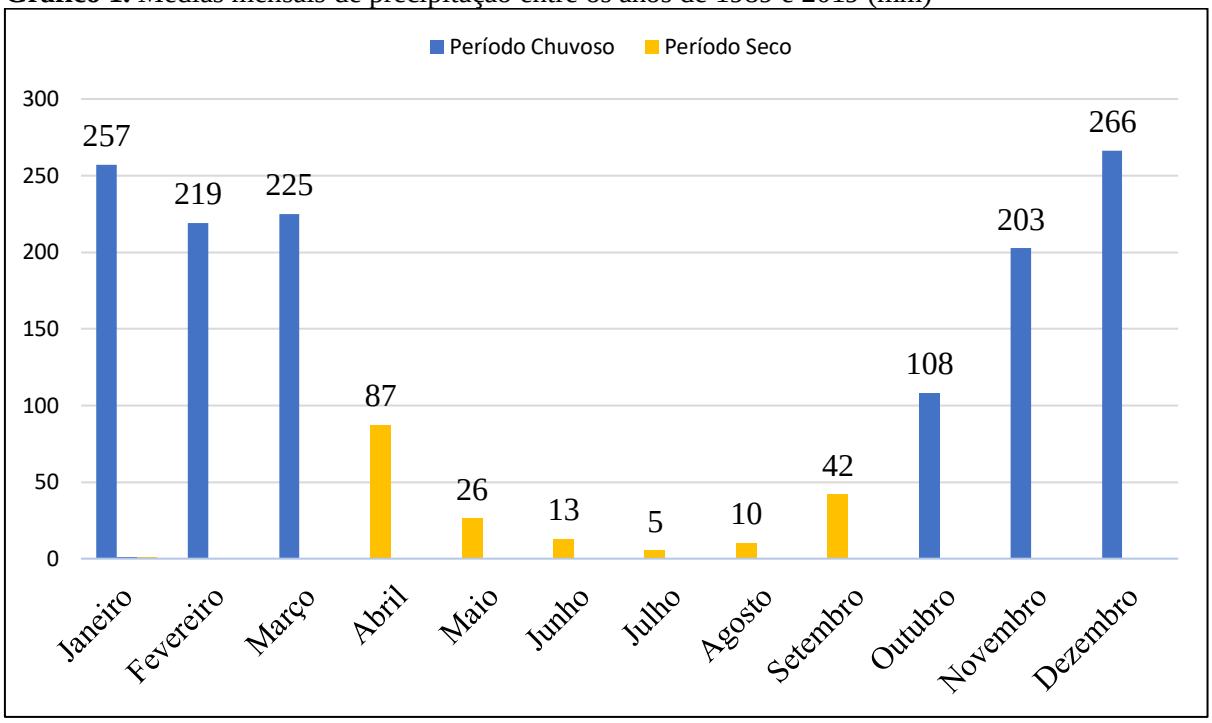
Com a espacialização pluviométrica, pode-se observar que a região do alto curso da bacia apresentou taxas de precipitação que variam de 1.350 a 1.450 mm, em altitudes de 700 a 1.050 m. O maior volume de chuvas é observado na área da Serra do Caiapó, apresentando precipitação que chega a 1.450 mm, em altitudes que variam de 900 a 1.050 m.

Mapa 10. Mapa de localização das estações pluviométricas



Fonte: IBGE/ANA (2019).
Elaboração: O Autor, 2021.

Gráfico 1. Médias mensais de precipitação entre os anos de 1989 e 2019 (mm)



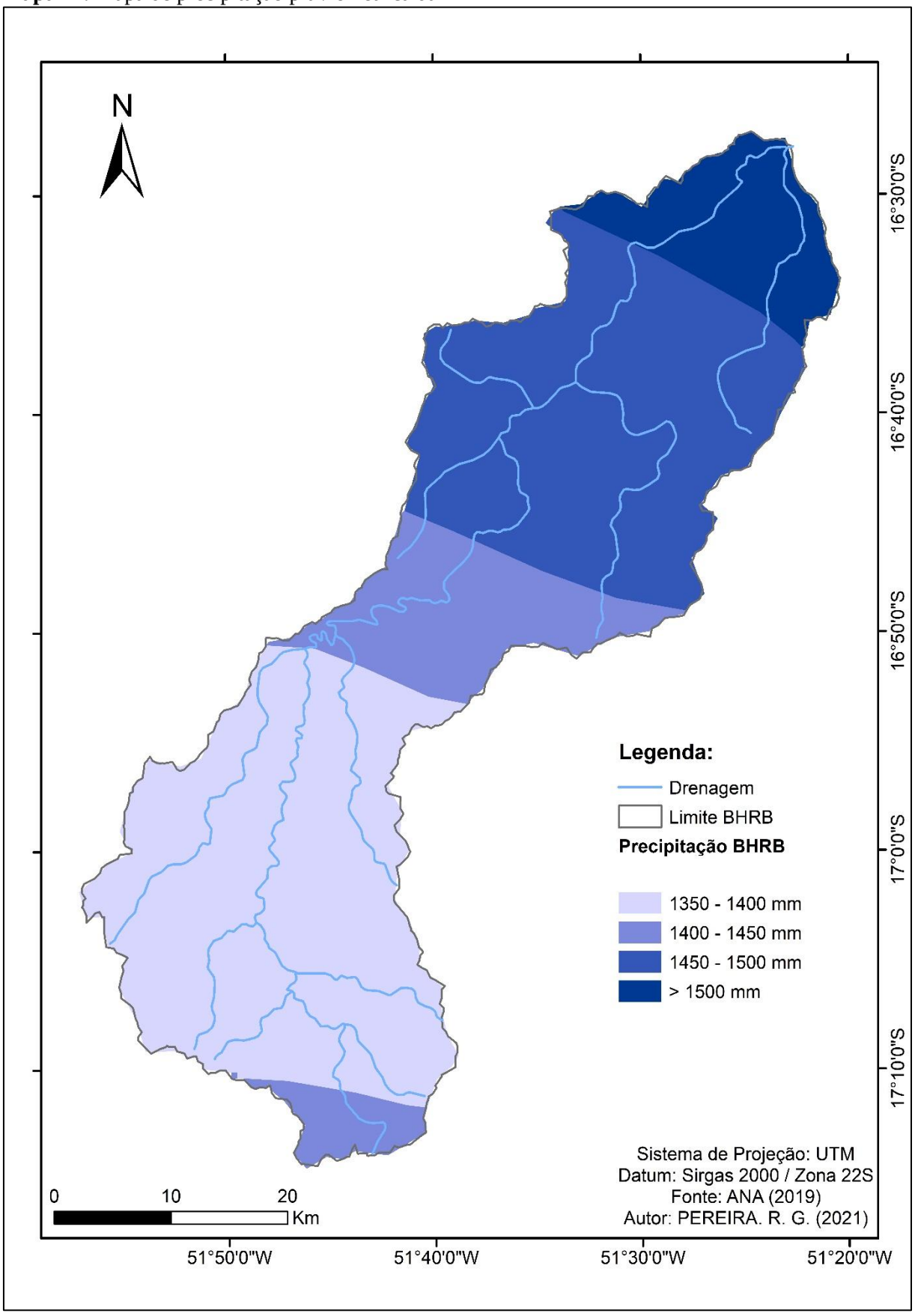
Fonte: ANA
Elaboração: O Autor, 2021.

O médio curso exibe precipitação de 1.350 a 1.500 mm, em altitudes de 600 a 700 m, declividades entre 0 e 6% na maioria das áreas, apresentando em alguns pontos declividade superiores variando entre 6 e 30 %. Dentro do médio curso a área com o menor índice pluviômetro está ao entorno de cidade de Caiapônia-GO, local onde se encontra a estação pluviométrica da bacia.

O baixo curso demostra uma precipitação de 1.450 a mais de 1.500 mm, exibindo a maior média da bacia. Está localizada em uma altitude de 500 a 900 m, com declividade que varia de 0 a 30 %, podendo ser encontrada áreas superiores a 30 %, dissecação de média a muito alta e predominância de Latossolo vermelho distrófico e Neossolo litólico distrófico.

O índice pluviométrico apresentado nessa região pode estar relacionado com a presença das PCHs e seus respectivos reservatórios, que contribuem para o aumento das taxas de umidade e evaporação da região e ocorrência de precipitações convectivas isoladas no verão. Além das PCHs localizadas dentro da BHRB existe outras 2 subsequentes a elas na bacia hidrográfica do Rio Caiapó, reforçando ainda mais as taxas de umidade e evaporação.

Mapa 11. Mapa de precipitação pluviométrica da BHRB



Fonte: ANA (2019).
Elaboração: O Autor, 2021.

De acordo com Costa et al (2012), o índice pluviômetro do estado de Goiás apresenta uma média de 1200 a 1800 mm/ano. Levando em consideração esses dados podemos concluir que a média encontrada na BHRB de 1.462 mm/ano, está coerente com a média do estado. Ainda segundo dados dos autores, a região onde se encontra a bacia tem média de 1.400 mm/ano.

4.1.5 Erosividade

A erosividade da BHRB apresentou uma média de 836 tn.mm/ha/ano, para as estações pluviométricas estudadas. Entre as estações, a que apresentou o menor índice de erosividade foi a de Caiapônia-GO com 781 tn.mm/ha/ano, já a com maior índice foi a estação pluviométrica de Arenópolis com 914 tn.mm/ha/ano, conforme dados da tabela 4.

Tabela 4. Erosividade calculada através da precipitação das estações pluviométricas da BHRB

Estações Pluviométricas	Precipitação (mm)	Erosividade (tn.mm/ha/ano)
Aragarças	1352	795
Arenópolis	1563	914
Caiapônia	1377	781
Iporá	1478	848
Jataí	1515	799
Piranhas	1488	881
Média	**1462**	**836**

Fonte: ANA (2019).
Elaboração: O Autor, 2021.

Segundo a classificação de Carvalho (1994), todas as estações pluviométricas analisadas apresentaram uma classe de erosividade forte que vai de 750 a 1000 tn.mm/ha/ano. Esse resultado demostra a fragilidade da bacia quanto ao processo erosivo, relacionado apenas com a precipitação, quando colocamos os fatores físicos e as atividades antrópicas essa proporção pode ser ainda maior. Considera-se, ainda, que os valores apresentados foram calculados sobre volumes anuais, mas que 87% das chuvas concentram-se entre os meses de outubro e março indicando que o potencial erosivo na primavera e no verão é ainda maior.

4.2 Fragilidade ambiental Potencial

A fragilidade ambiental potencial foi produzida com base nas informações sobre solos, dissecação do relevo e erosividade, seguindo a metodologia proposta por Ross (1994). A

fragilidade dos solos encontrados na bacia varia entre as classes de fragilidade muito baixa, média, alta e muito alta, como pode ser observado na tabela 5. O solo com fragilidade muito baixa (Latossolo vermelho distrófico) corresponde a 22% da área total, e os de fragilidade média representam 32% da área (Argissolos e Latossolo vermelho amarelo alunínico). Os solos com fragilidade alta e muito alta predominam na bacia do Rio Bonito, localizados sobretudo no alto e baixo curso, com representação de 46% da área total (Cambissolos e Neossolos).

Tabela 5. Classes de fragilidade dos tipos de solos, utilizando a metodologia de Ross (1994)

Solo	Fragilidade	Área km²	Representação
Argissolo vermelho distrófico	Média	20	1 %
Argissolo vermelho eutrófico	Média	281	14 %
Cambissolo háplico distrófico	Alta	147	07 %
Latossolo vermelho amarelo alumínico	Média	342	17 %
Latossolo vermelho distrófico	Muito Baixa	443	22 %
Neossolo litólico distrófico	Muito Alta	182	09 %
Neossolo quartzarênico órtico	Muito Alta	602	30 %
Total	**-**	**2.017**	**100** %

Fonte: O Autor, 2021.

A dissecação do relevo apresentou classes de fragilidade média, alta e muito alta, conforme a tabela 6. As áreas de fragilidade média representam 46% da área total, as áreas de fragilidade alta foi a que apresentou maior cobertura de área com 49%, a classe muito alta corresponde a 6% da área total da BHRB.

Tabela 6. Classes de fragilidade da dissecação do relevo, empregando a metodologia de Ross (1994)

Fragilidade	Área km²	Representação
Média	919	46%
Alta	983	49%
Muito alta	115	6%
Total	**2.017**	**100%**

Fonte: O Autor, 2021.

A classe de erosividade encontrada para toda a BHRB foi alta, como demostrado na tabela 7. Dentro desta classificação, as estações que apresentaram a maior erosividade foram as localizadas no baixo curso.

Tabela 7. Classes de Erosividade das chuvas, segundo a metodologia de Carvalho (1994)

Estações Pluviométricas	Classes de Erosividade	Erosividade (tn.mm/ha/ano)
Aragarças	Alta	795
Arenópolis	Alta	914
Caiapônia	Alta	781
Iporá	Alta	848
Jataí	Alta	799
Piranhas	Alta	881

Fonte: O Autor, 2021.

Atribuídos os pesos para cada classe das variáveis e realizado a sobreposição entre as camadas que representam a fragilidade do solo, da dissecação do relevo e da Erosividade, obtém-se o mapa de fragilidade potencial, no qual predominam as áreas com alta fragilidade (Tabela 8 e mapa 12).

Tabela 8. Fragilidade Ambiental Potencial

Fragilidade Ambiental Potencial	Área em km²	Representação
Média	754	37%
Alta	1.231	61%
Muito Alta	32	2%
Total	**2.017**	**100%**

Fonte: O Autor, 2021.

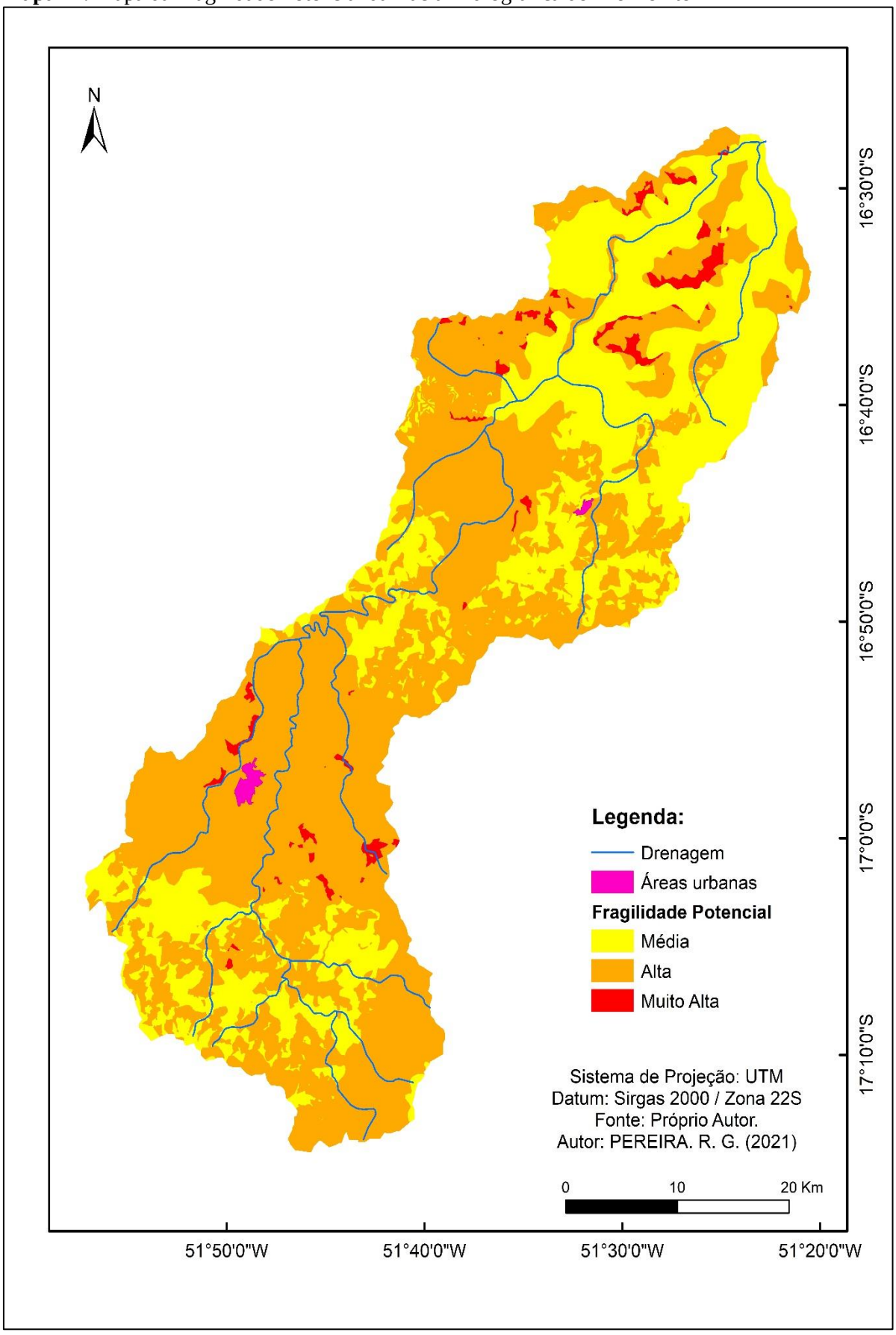
As áreas de fragilidade ambiental potencial classificadas como médias representam 37% da área total e encontram-se associadas prioritariamente a relevos planos/suave ondulados de dissecação média e a solos mais profundos, bem drenados e estáveis como Latossolos e Argissolos. Estas áreas apresentam-se mais aptas ao desenvolvimento de atividades agropecuárias, desde que sejam adotadas medidas conservacionistas para evitar a perda de solo por erosão, para reduzir o processo de sedimentação nos cursos hídricos e para manutenção da biodiversidade.

Já as áreas com alta fragilidade ambiental predominam na bacia (61% da área), associadas sobretudo a áreas com dissecação média e alta e solos mais frágeis, com altos teores de areia e susceptíveis a processos erosivos. Embora as atividades agropecuárias predominem nestes terrenos (sobretudo a pecuária extensiva), é preciso estabelecer áreas de preservação permanente e adotar uma série de práticas conservacionistas para reduzir a perda de solos por erosão e sedimentação dos cursos hídricos.

Embora em menor percentual (2%) as áreas com fragilidade potencial muito alta foram identificadas em 32 km² da Bacia do Rio Bonito e coincidem com áreas de dissecação muito alta do relevo e solos muito frágeis e susceptíveis a processos de degradação, como Neossolos

e Cambissolos. Estas áreas merecem atenção especial no processo de planejamento, pois devem ser destinadas exclusivamente à conservação dos recursos naturais, sendo prioritárias para projetos de recuperação ou criação de Unidades de Conservação. Além disso, por se localizarem em áreas de encostas, apresentam considerável beleza cênica e potencial para o desenvolvimento de práticas ligadas ao ecoturismo.

Mapa 12. Mapa da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito



Elaboração: O Autor, 2021.

4.3 Dinâmica de uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Bonito no período de 1989 a 2019.

O uso e cobertura da terra é um elemento importante para identificar a fragilidade emergente do ambiente de acordo com Ross (1994). Desse modo, foi realizada a classificação do uso e cobertura da terra para os anos de 1989 e 2019, cujos resultados podem proporcionar um melhor planejamento de ocupação da bacia e a adoção de medidas conservacionistas.

A classificação do uso e cobertura da terra entre 1989 e 2009 considerou 06 grupos predominantes: Vegetação remanescente (diferentes fitofisionomias do Cerrado e formações florestais nas margens dos cursos d'água); Agricultura (com predomínio de grãos); Pastagens (naturais, melhoradas ou degradadas); Área urbana; Água (cursos hídricos e reservatórios); e Solos descobertos, aos quais foram acrescidas as áreas de encostas de morro e escarpas sem cobertura vegetal. Para o ano de 2019 foi possível identificar uma nova classe (silvicultura, com predomínio de áreas de eucalipto para produção de energia em armazéns de grãos), totalizando 7 classes (conforme tabela 9). Os mapas do uso e cobertura da terra podem ser observados em sequência: 1989 mapa 13 e 2019 mapa 14.

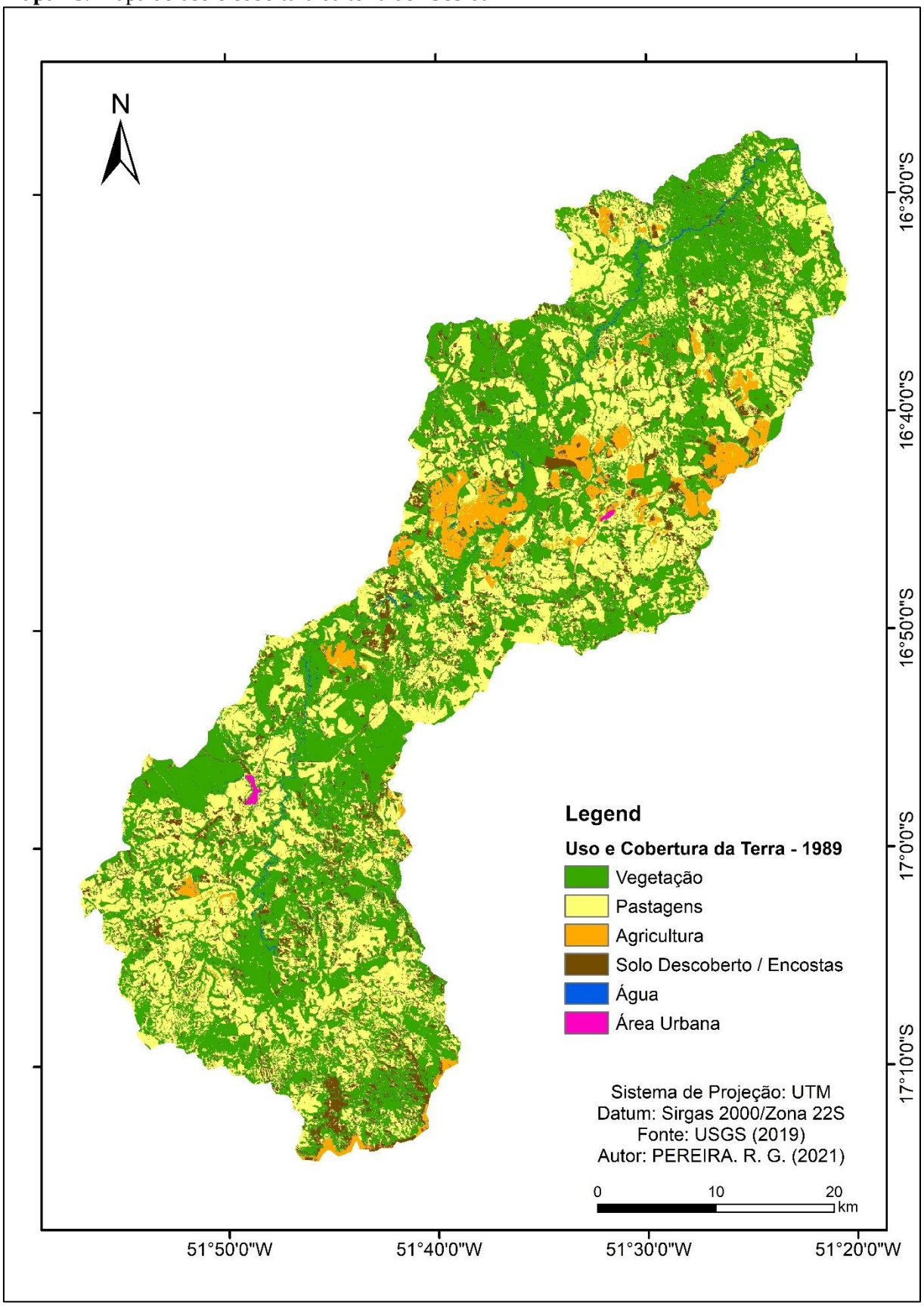
Tabela 9. Classes de uso e cobertura da terra de 1989 e 2019 em km² e porcentagem

Classe	1989		2019	
	Área km²	**Representação**	**Área Km²**	**Representação**
Vegetação	983	49%	639	32%
Pastagens	750	37%	546	27%
Agricultura	114	6%	372	18%
Solo Descoberto e Encosta	155	8%	440	22%
Área Urbana	2	0%	5	0%
Água	13	1%	15	1%
Silvicultura	0	0%	0,1	0%
Total	2017	100%	2017	100%

Organização: O Autor, 2021.

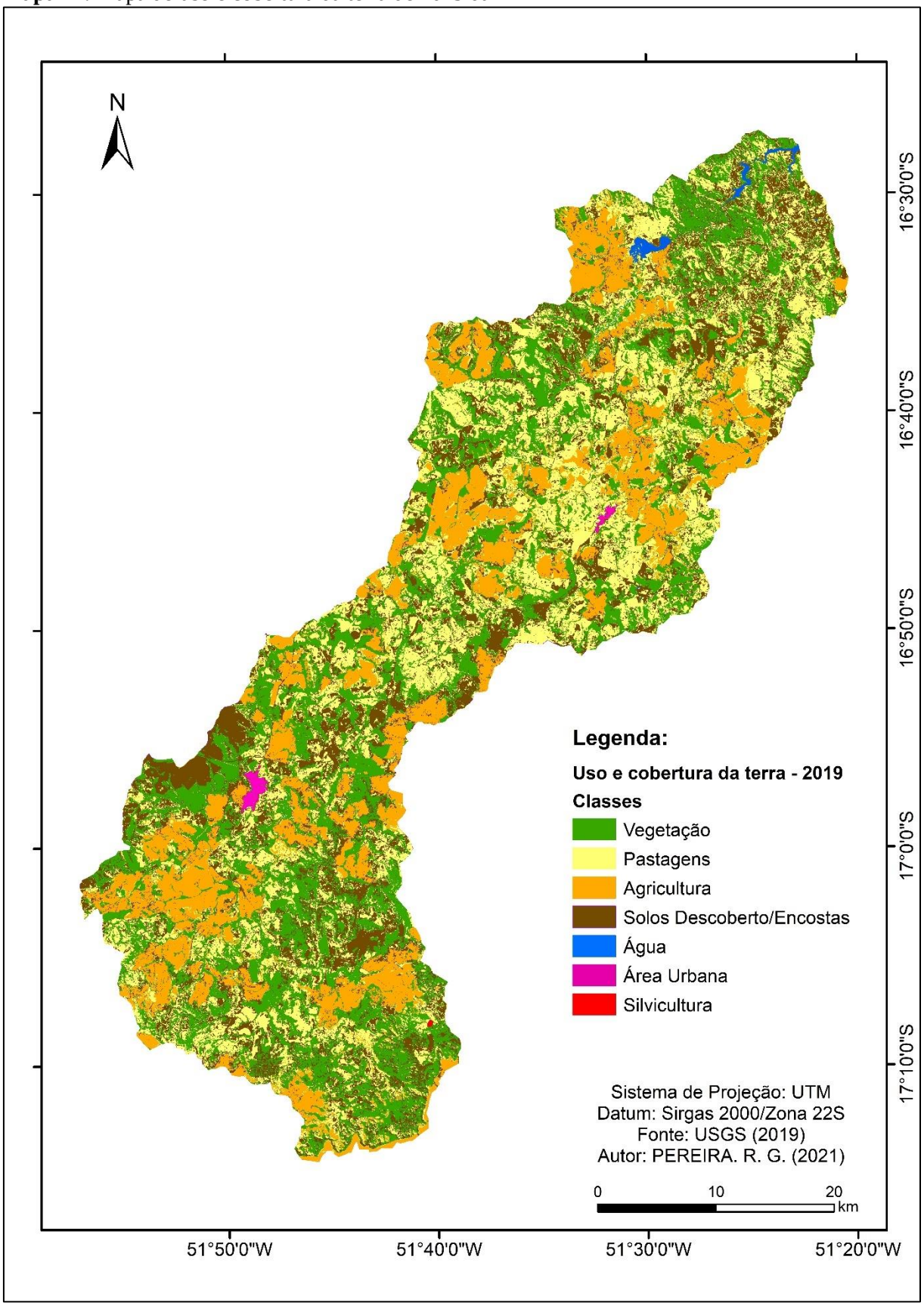
Na tabela 9 observa-se que o uso e cobertura da terra em 1989 tinha como predominância a área de vegetação, seguida pelas pastagens. As áreas de vegetação correspondiam a 49% da área total, já as de pastagem e agricultura juntas correspondiam a 43% do total. Com isso nota-se que a bacia perdeu parte da sua vegetação antes de 1989, nos processos de ocupação da região por pastagens desde o século XVIII.

Mapa 13. Mapa do uso e cobertura da terra de 1989 da BHRB



Fonte: USGS
Elaboração: O Autor, 2020.

Mapa 14. Mapa do uso e cobertura da terra de 2019 da BHRB



Fonte: USGS
Elaboração: O Autor, 2020.

Em 2019, as áreas cobertas por pastagens apresentaram um decréscimo de 10%, passando a corresponder 27% da área, a classe de agricultura cresceu três vezes, passando de 6% para 18%. Essa queda das áreas de pastagens está diretamente relacionada com o aumento das áreas de agricultura, que estão expandindo em direção ao Oeste de Goiás a partir da década de 2000 com a escassez de áreas para cultivo nas regiões de chapada nos municípios de Jataí, Rio Verde e Montividiu.

A variação no percentual das áreas agrícolas deve ser analisada em conjunto com os solos descobertos e encostas, visto que houve um aumento de 14% de solos sem cobertura decorrentes da abertura de novas áreas de plantio, ou ainda, pelo fato de áreas agrícolas estarem em pousio na época de obtenção das imagens. Nessa classe também existe áreas com pastagens degradadas, que foram mapeadas em conjunto. Ao avaliar a dinâmica desta classe em relação a 1989, estima-se que aproximadamente 10% das áreas com solo descoberto correspondam a novas áreas agrícolas destinadas à produção de grãos.

As demais classes não apresentaram mudanças significativas em relação aos seus usos, podemos apenas destacar aqui a classe de água que passou de 13 km² para 15 km³, o que ocorreu com a construção de 03 PCHs na bacia. Por fim, destaca-se que no mapeamento de 2019 foi possível perceber adição de áreas de silvicultura com abrangência de 0,1 km² que tendem a aumentar com a expansão do cultivo de grãos na região.

O avanço das áreas de agricultura e pastagens entre os anos de 1989 e 2019 está ligado com os incentivos políticos do governo, liberação de credito bancário e instalação de empresas do setor agropecuário no município de Caiapônia. Pode-se justificar o grande salto da agricultura na bacia em 2019, principalmente devido a instalação de empresas como: Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano-COMIGO, CEREAL, CARGIL e *Louis Dreyfus Company-LDC*, sendo as duas últimas empresas multinacionais.

A presença dessas empresas na bacia proporcionou uma melhor logística, diminuindo gastos com transporte dos grãos, além da comercialização de produtos a base de troca, de modo que os produtores antes mesmo de realizar o plantio, já negociam parte da produção como forma de pagamento dos insumos, agrotóxicos, maquinário, peças entre outros produtos.

Outro fator que proporcionou esse aumento das áreas de agricultura nos 30 anos analisados foram as características do relevo, com predomínio de superfícies planas/suave onduladas. Em relação aos tipos de solos, podemos observar presença de agricultura em área de Neossolos, que possuem baixa fertilidade, porém o cultivo nestas áreas se torna possível com a adição de fertilizantes artificiais e calagem. A maior barreira, neste caso, é a baixa

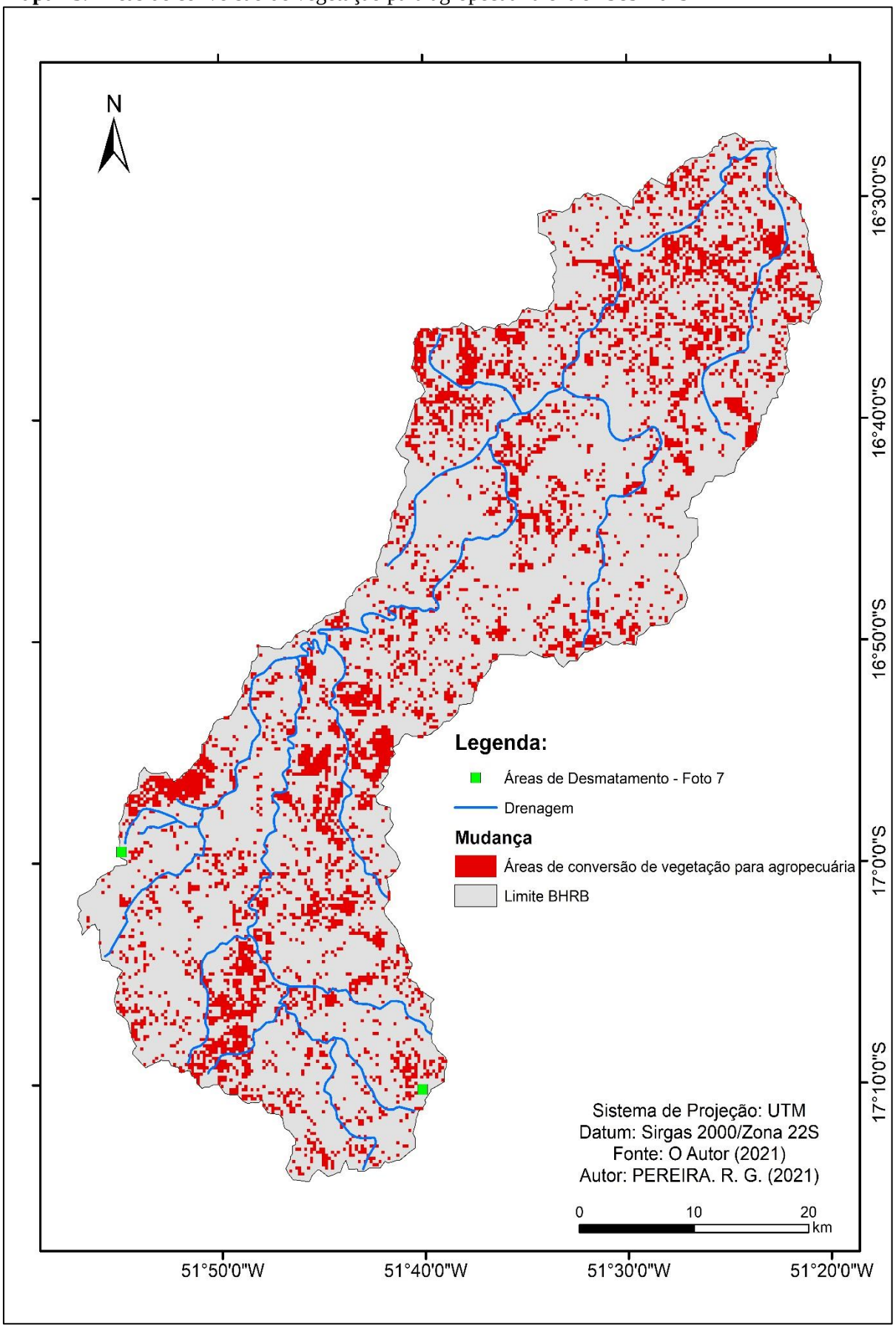
capacidade de armazenamento de água e o aumento dos riscos de perda em períodos de estiagem. Na perspectiva ambiental, a maior preocupação com a expansão agrícola em áreas de Neossolos é devido a sua alta fragilidade, principalmente quando essas atividades não apresentam manejo adequado.

O avanço das áreas de agropecuária, associadas aos solos descobertos, resultaram em um decréscimo da área de vegetação. Em 1989, feições de Cerrado e formações florestais recobriam uma área de 983 km² (49% da bacia), passando a ocupar uma área de 639 km² (32%) em 2019, redução bruta de 344 km² (17%) na vegetação da BHRB. Essa conversão de vegetação para agropecuária é preocupante, principalmente quando relacionamos com a fragilidade potencial da bacia.

No mapa 15 é possível observar as áreas de conversão da vegetação natural para agropecuária do ano de 1989 para 2019. As áreas desmatadas então situadas em maior parte em áreas de fragilidade potencial alta, proporcionando o surgimento dos processos erosivos e aumento da sedimentação nos cursos hídricos, sobretudo em áreas de Neossolos e Cambissolos.

Na foto 7 (de 31 de janeiro de 2020), pode-se notar a retirada da vegetação nativa (desmatamento) em dois pontos no alto curso da BHRB: a primeira (A) área está localizada no sopé da Serra do Caiapó; a segunda (B) encontra-se próxima ao divisor de águas da bacia localizada no córrego das Galinhas. Essas imagens demostram que a retirada de vegetação nativa continua, ano após ano.

Mapa 15. Áreas de conversão de vegetação para agropecuária entre 1989-2019



Elaboração: O Autor, 2020.

Foto 7. (A) Área de desmatamento no sopé da Serra do Caiapó. (B) Área de desmatamento, localizada no córrego das Galinhas.

Elaboração: O Autor, 2020.

4.4 Fragilidade Ambiental Emergente

A fragilidade ambiental emergente foi definida com base nas informações da fragilidade ambiental potencial e uso e ocupação da terra de 2019, seguindo a metodologia proposta por Ross (1994). A tabela 10 demostra a fragilidade ambiental do uso e cobertura da terra para 2019, onde podemos destacar que as áreas de fragilidade alta e muito alta somadas representam um percentual de 67% em relação a área total.

Tabela 10. Fragilidade ambiental do uso e cobertura da terra de 2019, de acordo com a metodologia de Ross (1994)

Uso e Cobertura da Terra	Fragilidade	Área Km²	Representação
Vegetação	Baixa	639	32%
Pastagens	Alta	546	27%
Agricultura	Alta	372	18%
Solo Descoberto e Encosta	Muito Alta	440	22%
Área Urbana	Muito Alta	5	0%
Água	Média	15	1%
Silvicultura	Média	0,1	0%
Total		2017	100%

Organização: O Autor, 2021.

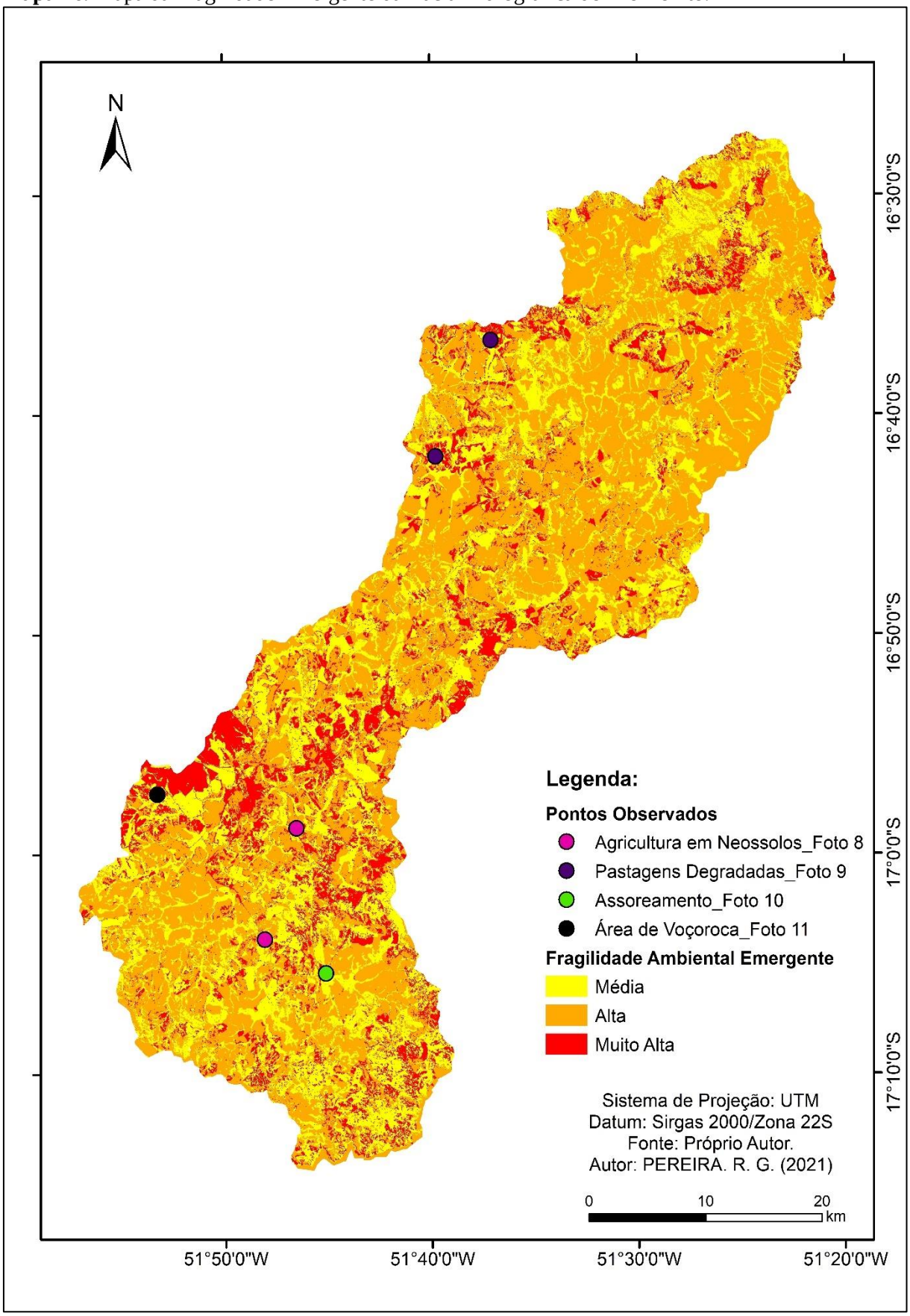
O processo de sobreposição do mapa com os graus de proteção ao solo pelo uso da terra com o mapeamento de fragilidade potencial originou o mapa-síntese de fragilidade emergente (ou fragilidade ambiental), que para a Bacia do Rio Bonito apresentou as classes: média, alta e muito alta, conforme o mapa 16 e a tabela 11.

Tabela 11. Fragilidade ambiental emergente

Fragilidade Emergente	Área Km²	Representação
Media	633	31%
Alta	1091	54%
Muito Alta	291	14%
Não Classificada	2	0%
Total	**2017**	**100%**

Organização: O Autor, 2021.

Mapa 16. Mapa da Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Bonito.



Elaboração: O Autor, 2021.

A partir da análise do mapa 16, nota-se que há um predomínio da classe alta (54% da área) em todos os setores da bacia, resultante da combinação entre áreas com fragilidade potencial média e alta com atividades antrópicas de baixa proteção do solo como agricultura, pecuária e solos descobertos. Quando desenvolvidas sobre áreas de Neossolos quartzarênicos órticos, por exemplo (conforme foto 8 e 9), com teores de areia superiores a 80%, baixa agregação de partículas e baixa estabilidade, as atividades agropecuárias aumentam a susceptibilidade do ambiente para ocorrência de processos erosivos (conforme foto 11), podendo causar outros impactos sistêmicos como redução na vazão e assoreamento dos cursos d'água (conforme foto 10) e sedimentação nos reservatórios das hidrelétricas.

A fragilidade emergente apresenta-se como muito alta em 14% da área da bacia, coincidindo sobretudo com áreas de encostas e solos descobertos onde, além da alta fragilidade dos solos, observa-se declividades mais acentuadas e maior dissecação do relevo. Estas áreas indicam alerta para a necessidade de políticas públicas de gestão dos recursos naturais da Bacia, como a elaboração de zoneamentos, criação de comitê de bacia e proposição de políticas de uso e conservação dos recursos naturais. Além disso, indica áreas prioritárias para conservação onde podem ser desenvolvidos estudos para criação de Unidades de Conservação Integral ou de Uso Sustentável.

As demais áreas da bacia (31% do total) apresentam fragilidade emergente média e coincidem, em sua maioria, com áreas recobertas por vegetação remanescente às margens de cursos hídricos, fundos de vale e encostas, muito próximas aos atuais 32% de área recoberta com vegetação remanescente identificadas no mapeamento de uso e cobertura da terra. Apesar de alguns pontos apresentarem fragilidade potencial alta ou muito alta, o grau de proteção ao ambiente fornecido por áreas de vegetação, reduzem a fragilidade nestas áreas, sendo um importante indicador de qualidade ambiental.

O desequilíbrio ambiental na bacia e notório, e os resultados da fragilidade emergente comprovam que o uso e cobertura da terra interfere diretamente no grau de proteção ambiental da bacia hidrográfica. Demostra, ainda, que quanto menor for o cuidado com essas áreas que apresentam desequilíbrios, maior é o impacto sobre os recursos naturais da bacia.

Podemos observar áreas de fragilidade muito alta, com presença de pastagens degradada e formação do processo erosivo (foto 9 e 11), comprovando que quando o ambiente predomina altos níveis de fragilidade, e o mesmo, é associado a atividades com manejos inadequados o resultada e um grande impacto ambiental.

Foto 8. Agricultura em Neossolos quartzarênicos órticos, (A) localizada próxima a cidade de Caiapônia-GO e (B) próximo ao morro do Gigante.

Elaboração: O Autor, 2020.

Foto 9. Pastagens degradadas, (A) localizada próxima divisa do município de Piranhas-GO e (B) próximo em uma estrada vicinal que liga a BR-158, sentido Piranhas-GO.

Elaboração: O Autor, 2020.

Foto 10. Assoreamento no Rio Bonito, (A) e (B) localizada próxima ao morro do gigante, na ponte da estrada que liga Caiapônia-GO a Montividiu-GO.

Elaboração: O Autor, 2020.

Como prova disto, podemos observar a fragilidade ambiental de uma área com presença de Neossolo quartzarênico órtico, que de forma natural já apresenta fragilidade muito alta e quando associada a um mau uso, obtemos como resultado um grande impacto ambiental como a ocorrência de voçorocas (foto 11).

Foto 11. Voçoroca em área de Neossolo, localizada em uma das vertentes do Córrego das Galinhas.

Elaboração: O Autor, 2015.

A partir dos resultados, é possível projetar que caso a tendência de desmatamento continue, associadas às atuais práticas e manejos de áreas agropecuárias adotadas, cada vez mais áreas apresentarão fragilidade alta e muito alta na bacia do Rio Bonito. O estado de desequilíbrio ambiental fica claro nos mapeamentos e nas observações realizadas em campo, apontando para a urgência na elaboração de instrumentos de planejamento ambiental e para a adoção de práticas conservacionistas.

Relacionando o uso múltiplo que a bacia proporciona, podemos traçar uma forma de evitar o aumento da fragilidade emergente na bacia e acabar com a retirada da vegetação nativa, elaborar planos de recuperação de áreas degradadas, principalmente em áreas de erosão e pastagens degradadas, aplicar a educação ambiental e despertar o interesse do poder público sobre a importância e necessidade da proteção da bacia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego das geotecnologias, de modo geral, auxiliou na identificação da fragilidade ambiental potencial e emergente da BHRB. As ferramentas possibilitaram desde o tratamento das imagens e classificação do uso e cobertura da terra, até a elaboração da cartografia de síntese para análise de fragilidade ambiental, ótimos resultados. A realização de atividades de campo permitiu a validação das variáveis estudas, podendo chegar em resultados com boa acurácia, para as classificações do relevo, geologia, precipitação, solo e uso e cobertura da terra.

Os elementos físicos que compõem a bacia, com destaque para o relevo e para os solos, apresentaram resultados que puderam ser corrigidos e validados nos estudos de campo. Os mapas de hipsometria, declividade e dissecação, realizados a partir de imagens de radar e técnicas de geração e análise de modelos digitais condiziam com a realidade e foram essenciais para a geração da fragilidade e interpretação da dinâmica do uso e cobertura da terra.

A dinâmica do uso e cobertura da terra entre os anos de 1989 e 2019 deixou clara a grande perda das áreas de vegetação nativa nestes 30 anos, além demostrar a expansão das áreas de agricultura e pecuária e os impactos destas atividades no ambiente. Os resultados encontrados no mapeamento de uso e cobertura da terra confirmaram e sustentaram as observações realizadas em campo.

As características físicas da bacia hidrográfica verificadas em campo, com relação aos níveis de fragilidade, foram confirmadas e validades com a classificação da fragilidade potencial. A fragilidade potencial apresentou classe média, alta e muito alta com predominância na classe alta. A fragilidade emergente também apresentou classes de fragilidade média, alta e muito alta, com maior representatividade na classe alta.

Os altos níveis de fragilidade ambiental potencial e emergente encontrado na BHRB, demostrou níveis considerados (média, alta e muito alta), tornando necessário o emprego de uma gestão dos recursos hídricos e um monitoramento. Pois proporcionou identificar, quais são as áreas com maior fragilidade ambiental, podendo assim desenvolver planos de recuperação de acordo com a característica da região específica. Outro fator é que com o desenvolvimento e resultado da pesquisa pode-se comprovar que a bacia apresenta instabilidade na fragilidade ambiental em áreas com fragilidades muito forte, podendo assim buscar medidas de recuperação junto ao poder público.

A presente pesquisa pode servir como subsidio para outros estudos como: unidades de

conservação, perda de sedimentos e dinâmica do uso e cobertura da terra. Pode-se também a utilizar como base para elaboração de um zoneamento ecológico econômico, além de um futuro desenvolvidos de um comitê de bacia, para gerenciar as atividades de uso na mesma. Os diversos caminhos que essa pesquisa pode tomar, comprova a importância dos estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas. Com o estudo desenvolvido na BHRB podemos passar a intender melhor a dinâmica das suas bacias hidrográficas subsequentes.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, A. O. **Criação de mapas hipsométrico a partir de dados SRTM**. Comunidade virtual Spring, Tutorial, Disponível em: < http://processamentodigital.com.br/2017/03/28/qgis-geracao-de-um-mapa-hipsometrico/ >. Acesso: 02 nov. 2020.

ALVES, R. E. Caracterização da fisionomia da paisagem a partir da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão da Picada, Jataí/GO. 2012, 122. f, **Dissertação** (Mestre em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí-GO, 2012.

ALVES, W. S. *et al*. Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão douradinho, Sudoeste de Goiás. **Geoambiente on-line**, p. 164-183, 2017.

ALVES, W. S; SCOPEL, I; MARTINS, A. P. Análise da fragilidade ambiental da bacia do ribeirão das abóboras, em rio verde, sudoeste de goiás. **Geofocus (Madrid),** v. 19, p. 81-108, 2017.

ALVES, W. S.; Perini, A. M.; Scopel, I. Fragilidade ambiental: subídio ao planejamento e à gestão da bacia do ribeirão da Laje (GO), Brasil. **Geografia ensino e Pesquisa**, v. 22, p. 34, 2018.

DE ASSIS, Janaina Maria Oliveira et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco–PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 05, p. 858-869, 2014.

BELEM, A. L. G.; NUCCI, J. C. Unidades de paisagem no bairro santa felicidade, Curitiba-PR: contribuição para uma cartografia de síntese**, Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 36, p. 1-22, 2020.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global**: esboço metodológico. Cadernos de Ciências da Terra, Instituto de Geografia da USP, São Paulo, n. 13, p. 2-31 ,1971. (Trad. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique, 1968).

BONFIM, N. P. S.; LIMA, E. M. A Paisagem como categoria geográfica: Comportamento espectral de vegetação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Catolé – Bahia. **Geo Pauta**, v. 4, n.1, p. 184-193, 2020.

BRAGA, C. C. *et al*. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas** – UFSM, Santa Maria, v. 39, p 81-98, 2017.

BRASIL. **Agencia Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA**. 2020. Disponível em: < http://atlasirrigacao.ana.gov.br/ >. Acesso: 20 out. 2020.

BRASIL. **Agencia Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA**. 2015. Disponível em: < http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=12 >. Acesso: 25 nov. 2020.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Catálogo de imagens**, 2020.

Disponível em: < http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ >. Acesso em: 25 out. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. 201, **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado**: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015. 45p. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf>. Acesso em: 01 nov 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário oficial [da] República Federal do Brasil, Brasília, DF, 9 de jan. 1997. Não paginado. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm >. Acesso em: 22 nov. 2020.

CASTRO, L. C. A Gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu -PR. 2005. 96 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

CASTRO. R. M. *et al*. A degradação das nascentes que abastece o córrego das galinhas onde é feito a captação de água para o abastecimento do município de Caiapônia Goiás. In: **Anais Eletrônicos**, V Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente, PPSTMA –Uni EVANGÉLICA, p. 1-2, 2014.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed., rev., atual. e ampliada.

Rio de Janeiro: Interciência, 1994.

CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. Geossistemas e geografia no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 3-33, 2016.

CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. Problemas de hierarquização espacial e funcional na ecologia da paisagem: uma avaliação a partir da abordagem geossistêmica, **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 28, n. 55, p 143-16, 2013a.

CECÍLIO, R.A.; REIS, E.F. **Apostila didática**: manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Alegre-ES, p. 1-9, 2006.

COSTA, E. A. B. e FERREIRA, M. F. M. **Uso e ocupação do solo na microbacia dos ribeirões Lapa/Cantagalo – Ipeúna (SP)**. In: 2ª JORNADA CIENTÍFICA DA GEOGRAFIA, Guapé-MG, 2010. Disponível em: < https://docplayer.com.br/26469980-Uso-e-ocupacao-do-solo-na-microbacia-dos-ribeiroes-lapa-cantagalo-ipeuna-sp.html >. Acesso em: 28 out. 2020.

COSTA, H.C. et al. Espacialização e Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física.** ISSN:1984-2295. p. 86-100, 2012.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia,** n. 62, p. 505-516, 2010.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**: Iporá. Folha SE.22-V-B. Organizado por Luiz Carlos Moreton. Brasília. p. 32, 2001. Disponivel em: < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/8269>. Acesso em: 2021.

DANTAS, M. E. et al. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica, **Terra e Didática**, ISSN 1980-4407, p. 04-13, 2015.

DIAS FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, **Embrapa**, p. 10-36, 2014.

DI MAIA, Angélica *et al.* Sensoriamento remoto. **Agência Espacial Brasileira**, Programa AEB escola formação continuada de professores curso astronáutica e ciência do espaço, p.3-78, 2008.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2020. Disponível em: < https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat >. Acesso em: 15 set. 2020.

FRANÇA, L. C. J. *et al.* Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. **Nativa Sinop**, Pesquisas agrarias e ambientais, v. 7, n. 5, p. 589-599, 2019.

FERRAZ, C. A. M. *et al*. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, p. 44-53, 2015.

FERREIRA, Nilson. Clementino. **Apostila de sistema de informações geográficas**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia, p. 1-113, 2006.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, P. 187-208, 2010.

FORNAZIEIRO, M. P. A.; PANCHER, A. M. Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental de reservatórios interiores destinados ao turismo. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 39 v. 1, p. 127-145, 2017.

FREIRE, E. M. X.; LUCENA, M. M. A. Análise Integrada da Paisagem por meio do método GTP (Geossistema/Território/Paisagem) em um Complexo Serrano do Semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**, v. 8, n.1, p. 306-325, 2014.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Ocupação humana e impactos ambientais no bioma cerrado: dos bandeirantes à política de biocombustíveis. **IV Encontro Nacional da Anppas**, Brasília-DF, p. 2-20, 2008.

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). In: **Anais**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, Foz do Iguaçu-PR, p.6564-6571, 2013.

GOMES, R. C.; BIAS, E. S. Integração do método AHP e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas. **Geociências - UNESP**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 167 - 182, 2018.

GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 37, p. 123-136, 2019.

GRISA, K. T. *et al*. Mapeamento da fragilidade potencial: estudo de caso do alto curso da bacia hidrográfica do rio Cotegipe – PR. **Geografia em questão**, v. 8, n. 1, p. 138-149, 2015.

GUERRA, A. J. T. *et al*. Um estudo do meio físico com fins de aplicação ao planejamento do uso agrícola da terra no Sudoeste de goiás. (**IBGE- EMBRAPA)** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 1-212, 1989.

GUIMARÃES, F. S. *et al*. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira Geomorfologia. (Online)**, São Paulo, v.18, n.1, p.155-167, 2017.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics,v.33, n.1, p.159-174, 1977

Laszlo Manoel, J.; Rocha, P.C. Composição hierárquica dos canais fluviais das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e peixe. **10º SINAGEO**: Geomorfologia, ambiente e sustentabilidade, Manaus, 2014. Disponível: < http://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/6/6-111-1099.html>. Acesso: 20 out. 2020.

LIMA, A. J. R.; NERY, J. T. Revisitando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governança das águas. Instituto de Geociências. **I Congresso Nacional de Geografia Física – XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento, Campinas, p. 726-738, 2017.

LIMA, G. A. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso ribeirão Isidoro. **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia** 2, Org. RODRIGUES, T. A.; LEONARDO NETO, J.; GALVÃO, D. O. Editora Atenas, Ponta Grossa, v. 2, p. 66-290, 2019.

LOBO, J. R.; FIORAVANTI, M. C. S. F. **Dinâmica da paisagem do cerrado**: revisão de literatura. 2013. 40 f. Seminário I, Universidade Federal de Goiás Escola de Veterinária e Zootecnia Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Goiânia, 2013.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo - SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 24, p. 57-79, 2012.

MARTINELLI, M.; MACHADO-HESS, E. S. Mapas estáticos e dinâmicos, tanto analíticos como de síntese, nos atlas geográficos escolares: a viabilidade metodológica. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 66, p. 899-920, 2014.

MARTINS, A. P.; GALVANI, E. Relação entre uso e cobertura da terra e parâmetros biofísicos no Cerrado Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**. Universidade de

São Paulo, São Paulo, ISSN 2236-2878, v. 40, p. 148-162, 2020.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio – baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.22, n.38, P. 14-34, 2012.

MATERANO, L. S.; BRITO, J. L. S. fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Castán, estado Trujillo – Venezuela. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 73, p. 86–97, 2020.

MATIAS, L. et al. Ecologia da paisagem aplicada à análise ambiental e temporal da vegetação remanescente em penedo, Alagoas. **Geoambiente on-line**, UFJ-UFG, Jataí, n. 37, p. 322-342, 2020.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Caderno da FUCAMP**, v.10, n. 12, p. 2-17, 2016.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem, **R. RA' e GA**, Curitiba, n. 8, p. 83-91, 2004.

MENDES, I. A. S. O uso de geotecnologias na organização do espaço. **Cadernos do Leste**: Artigos Científicos, Belo Horizonte, v. 19, n. 19, p. 35-50, 2019.

MEIRERES, E. O.; DOURADO, F.; COSTA, V. C. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do Rio Paquequer- RJ. **Geo - UERJ**, Rio de Janeiro, n.33, p. 1-22, 2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T (org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, p. 1-266, 2012.

MENEZES, S. J. M. C. *et al*. Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental. **Diversidade e Gestão, Gestão Ambiental**: Perspectivas, Conceitos e Casos, p. 57-69, 2017.

MOZZOMO, M. M.; NÓBREGA, M. T. Paisagem na perspectiva integrada: alguns apontamentos, **Perspectiva Geográfica**, Unioeste, colegiados de geografia, n. 4, p. 153-168, 2008.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 170-178, 2016.

NEVES, C. E. et al. A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 271-285, 2014.

OLIVEIRA, C. S.; MARQUES NETO, R. Gênese da teoria dos geossistemas: uma discussão comparativa das escolas russo-soviética e francesa. **R.RA' e GA** - Espaço geográfico em análise, v. 47, n. 1, p. 6-20, 2020.

OLIVEIRA, D. H. R.; ACORSI, M. G.; SMANIOTTO, D. A. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. **Águas Subterrâneas** - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, p. 1-10, 2018.

OLIVEIRA, R. G. *et al.* Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego são João-MS utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64, p. 15-24, 2012.

PEREIRA, P. R. M.; COSTA, F. W.; GARCÊS JÚNIOR, A. R. Geoprocessamento aplicado na análise da fragilidade ambiental do município de Brejo, Maranhão. **Revista Equador (UFPI)**, Piauí, v. 8, n. 2, p.521-539, 2017.

PERIÇOTO, A. J.; SOUZA, M. L. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p. 1064-1082, 2019.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

QUEIROZ FILHO, A. P.; MARTINELLI, M. Cartografia de análise e de síntese na geografia. **Boletim paulista de geografia**, São Paulo, n. 87, p. 7-44, 2007.

QUEIROS JUNIOR, V.S. *et al.* Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). **Geofocus (Madrid),** v. 15, p. 193-212, 2015.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, p.1-18, 2018.

ROSA, J. R. M.; FERREIRA, V. O. Análise da paisagem e proposição de zoneamento ambiental da bacia do rio Uberabinha, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, p 404-427, 2018.

ROSOLÉM, N. P.; ARCHELA, R. S. Geossistema, território e paisagem como método de análise geográfica. **VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física**. Universidade de Coimbra, p. 1-9, 2010

ROSS, L. S. Análise empírica da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Depto de Geografia da USP**. São Paulo. n. 8, 1994.

SANTOS, A. R. **Apostila de elementos da cartografia**. Universidade Federal do Espirito Santos - UFES, Alegre, p. 1-57, 2013.

SANTOS, J. N.; SILVA, F. C. A. Análise das fases de urbanização do território goiano: uma resposta à atual configuração urbana de Goiás. **Okara:** Geografia em debate, v. 10, n. 1, p. 93-109, 2016.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercato**r, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.

SANTOS, J. O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 8, n. 10, p. 127 -144, 2012.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R.; BARROS, G. V. P. Processamento analítico hierárquico no mapeamento da fragilidade ambiental à erosão do solo. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 275-298, 2020.

SCHIAVO, B. N. V. *et al*. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS**. Revista eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – UFSM**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p.464-474, 2016.

SERRA, L. S. et al. Revolução verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. **Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB**, [S.l.], v. 1, n. 4, p. 2-25, 2016.

SIEG, Sistema Estadual de Geoinformação. **SIEG Mapas**. Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária- EMATER. 2017. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegmapas/mapa.php>. Acesso em: jun 2021.

SILVA, I. C. O.; CABRAL, J. B. P.; SCOPEL, I. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego da onça em jataí (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Geoambiente On-line**, v. 11, p. 114-142, 2008.

SOUSA, F. A.; SILVA, L. **Erosividade das chuvas na porção norte da bacia hidrográfica do ribeirão santo Antônio em Iporá-GO**. Universidade Estadual de Goiás – Unidade Universitária de Iporá, não paginado, 2009.

SOUZA, Eurico. **Torres do rio bonito**. Brasília, DF: Gráfica Ipiranga, 1985. 158 p.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Geousp - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49. 2004.

STIPP, N. A. F.; STIPP, M. E. F. Análise ambiental em cidades de pequeno e médio porte. **Geografia**, v. 13, n. 2, p. 23-36, 2004.

STORTO, C., COCATO, G. P. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 11, n. 5, p. 1694-1708, 2018.

SOUZA, E. **Torres do Rio Bonito**. Brasília, editora: Gráfica Ipiranga LTDA, 1985.

SOUZA, L. B.; LIMA, P. S.; SANTOS, S. R. Da teoria dos geossistemas à geografia física crítica: o que há de novo na busca por abordagens integradoras na ciência geográfica, **Revista Okara**: Geografia em debate, v. 14, n. 1, p. 122-136, 2020.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre, **Biogeografia**, Instituto de Geografia da USP, São Paulo, n. 14, p. 2-24, 1978.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do rio Passaúna em Araucária - Paraná**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós Graduação em Geografia - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2008.

TEIXEIRA, N. F. F.; SILVA, E. V.; FARIAS, J. F. Geoecologia das paisagens e planejamento ambiental: discussão teórica e metodológica para a análise ambiental. **Planeta Amazônia:** Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas, Macapá, n. 9, p. 147-158, 2017.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <

http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php >. Acesso em nov. 2020.

TRAFICANTE, D. P. *et al*. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio capivara, Botucatu-SP. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 32, n. 1, p. 88-95, 2017.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Rio de Janeiro, 1977.

TEODORO, V. L. I. *et al*. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 136-155, 2007.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, ed. 2, p. 1-302, 2006.

TROPPMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, n.10, p. 79-89, 2006.

VERONEZZI, F.; FAJARDO, S. A paisagem na análise geográfica: considerações sobre uma paisagem rural em Guarapuava – PR. **GEOgraphia,** n. 34, p. 208-224, 2015.

WEISS, R.; PIPPI, L. G. A. Análise multicritério na definição de vulnerabilidade ambiental. **Terra Plural**, Ponta Grossa, v.13, n.3, p. 272-295, 2019.