



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CORA CORALINA
MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOGRAFIA

ROSANA MÁRCIA DA COSTA SILVA HERCULANO

**UNIDADES DE PAISAGEM E FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO URU (GOIÁS)**

GOIÁS-GO

2021

ROSANA MÁRCIA DA COSTA SILVA HERCULANO

**UNIDADES DE PAISAGEM E FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO URU (GOIÁS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Cora Coralina, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de Concentração: Estudos Ambientais e Territoriais do Cerrado.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Souza.

GOIÁS-GO

2021

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, CsA nº 1.087/2019 sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9.610/1998, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data¹. Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do(a) autor(a).

Dados do autor (a)

Nome completo: Rosana Márcia da Costa Silva Herculano

Email: rosanaherculano2010@gmail.com

Dados do trabalho

Título: **UNIDADES DE PAISAGEM E FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO URU (GOIÁS).**

Tipo:

Tese Dissertação

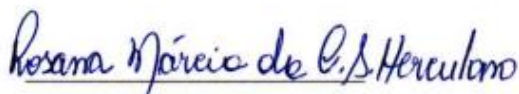
Curso/Programa: Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Geografia - PPGEO

Concorda com a liberação documento

SIM NÃO

¹Período de embargo é de até um ano, a partir da data de defesa.

Goiás, 03 de março de 2022.



Assinatura autor(a)



Assinatura do orientador(a)

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA FONTE

Biblioteca Frei Simão Dorvi – UEG Câmpus Cora Coralina

H539u Herculano, Rosana Márcia da Costa Silva.
Unidades de paisagem e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uru (Goiás) [manuscrito] / Rosana Márcia da Costa Silva Herculano. – Goiás, GO, 2022.
111f. ; il.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Souza.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Câmpus Cora Coralina, Universidade Estadual de Goiás, 2022.

1. Cerrado - análise ambiental. 1.1. Análise integrada e multicritério. 1.2. Modelagem ambiental. 1.3. Agropecuária. 1.4. Bacia hidrográfica do Rio Uru - Goiás, GO. I. Título. II. Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Cora Coralina.

CDU: 504.5(817.3)

Bibliotecária responsável: Marília Linhares Dias – CRB 1/2971

FOLHA DE JULGAMENTO

Título: Unidades de Paisagem e Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás)

Mestranda: Rosana Márcia da Costa Silva Herculano
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO-UEG)

Data da defesa: 04/02/2022


BANCA EXAMINADORA:

Jose' Carlos de Souza

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos de Souza
PPGEO – UEG Câmpus Cora Coralina

Patrick Thomaz de Aquino Martins

TITULAR: Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins
Membro interno PPGEO-UEG

 Documento assinado digitalmente
PATRICIA DIAS TAVARES
Data: 04/03/2022 10:07:29-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

TITULAR: Profa. Dra. Patrícia Dias Tavares
Membro externo (IFG)

GOIÁS-GO

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que determinou o tempo certo para a realização desse trabalho. Em meio à Pandemia da Covid 19, desafios inesperados surgiram, como a ausência do contato presencial com os professores e colegas, que nos privou da riqueza das trocas de experiências, mas esse mesmo desafio que nos exigiu o isolamento social, contribuiu para a condição de dedicação exclusiva à pesquisa.

Aos meus pais GERMANO e CLEUSA, que entendendo a necessidade de esforço e concentração que o estudo exige, privaram-se, até mesmo, das ligações telefônicas para mim, para não me incomodar, mesmo eu dizendo que nunca atrapalham.

Ao meu esposo AIRES e aos meus filhos GUSTAVO e PEDRO HENRIQUE, parceiros incondicionais que durante todo o tempo participaram do processo incentivando-me e entendendo que as privações de convivência eram necessárias para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Além de envolverem-se (animados), nas saídas, a campo para os registros fotográficos.

De forma especial, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. JOSÉ CARLOS, por quem tenho admiração. Profissional dedicado, dinâmico, competente, comprometido e sempre presente demonstrando ser nesse tempo de convivência. Agradeço por todo o tempo dedicado a mim, acompanhando cada passo da realização desse trabalho, inclusive inserindo-me na aventura da produção cartográfica, a qual eu a desconhecia por completo, ensinando-me desde técnicas mais simples, até algumas bem desafiadoras da metodologia, definindo na prática o significado da palavra PROFESSOR.

Agradeço à coordenação e a todos professores e professoras do PPGeo – Câmpus Cora Coralina, pelo excelente trabalho desenvolvido no programa, nas disciplinas e, em especial ao Prof. Dr. PATRICK MARTINS, que prontamente ajudou-me na compreensão e solução de problemas ocorridos no processo de desenvolvimento de algumas metodologias.

Aos professores das bancas de qualificação e de defesa, pelo tempo dedicado à leitura do trabalho e apontamentos que só agregaram qualidade à pesquisa e ao meu processo de aprendizado.

Por fim, agradeço aos meus colegas discentes que, mesmo de forma remota, tornaram-se amigos, pelas trocas de experiência e apoio em momentos de desânimo.

Cerrado

Berço das águas
Útero que a abriga
Luta sem trégua
Orando por razão amiga.
Outrora, abundante por léguas
Hoje, situação que intriga.
Explicações ambíguas
Prolifera muita formiga
Preocupação, palavra em todas as línguas
Água não irriga
A nascente só míngua
Verdadeira fadiga.
A preocupação não se mede com régua
Do planeta sofrimento geral
E a água se vai, como galope de uma égua.
No brejo se abre canal
E doí feito íngua
Agronegócio, do cerrado ao Pantanal
Nada apazígua
E o cerrado ultrajado, destruído com
verdadeiro arsenal.
Máquinas, produtos químicos
Os que vivem ao lucro do capital
Sem ideal ecossistêmico.
Assim, se caminha para o final.
Reverter o caminho, já dramático.
Pedimos socorro divinal
Carinho fantástico
Exigência de mudança direcional.
A esperança é num movimento drástico.

Arcangelo Scolaro
Filosofias de um orante do cerrado
22/11/2021

RESUMO

O Cerrado se configura como um importante complexo ambiental em razão da sua extensão territorial e de suas características geoambientais. Apesar de sua relevância, as áreas de Cerrado têm sido intensamente ocupadas, sobretudo em razão da expansão das atividades da agropecuária, o que tem provocado profundos impactos sobre esse domínio morfoclimático. Nessa perspectiva, a presente pesquisa apresenta como objeto de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás), localizada na porção central do estado de Goiás e do Cerrado, partindo de conceitos fundamentais como Paisagem, Geossistema, Unidades de Paisagem, Fragilidade Ambiental e Sistema de Informações Geográficas (SIGs). O objetivo geral do trabalho é avaliar a fragilidade ambiental da bacia e das unidades de paisagem que a compõe, por meio de modelagem tradicional com o incremento de técnicas de análise multicritério. O processo de desenvolvimento da pesquisa iniciou-se com a caracterização geoambiental da BHRU, identificando aspectos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, morfométricos e de uso e cobertura do solo, seguido pelo cruzamento dos dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos, que possibilitou a identificação de uma região de relevo levemente ondulado a plano, com significativa ocorrência de Latossolos. A caracterização geoambiental permitiu ainda a definição das Unidades de Paisagem. Foram mapeadas, a princípio, as fragilidades ambientais para as variáveis solo, declividades e uso e cobertura. Posteriormente, tendo como fundamento a proposta da análise sistêmica, foi realizado o cruzamento dos mapas de fragilidades das variáveis, obtendo, como produto, o mapa de fragilidade ambiental (modelagem tradicional) da BHRU e das UPs. A etapa final do trabalho constituiu no desenvolvimento do modelo de fragilidade ambiental a partir da aplicação do método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e aplicação dos resultados à bacia como um todo, e às unidades de paisagem. Observou-se, como resultado, a ocorrência de cinco classes de fragilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, sendo predominantes as classes de Baixa e Média fragilidade. Nesse caso, a primeira tem ocorrência em áreas mais aplainadas, onde predominam os Latossolos e a segunda em regiões de Morros e Colinas, onde os Argissolos tem maior ocorrência. A análise comparativa, entre as modelagens aplicadas, confirmou a predominância da ocorrência das classes de fragilidade Baixa e Média e a ocorrência das classes Muito Baixa, Alta e Muito Alta em menores percentuais. A comparação mostrou, ainda, que os percentuais de fragilidade Baixa e Muito Baixa apresentam valores próximos em ambas as modelagens e que, pelo método AHP, os percentuais das demais classes apresentam dados bem reduzidos.

Palavras-chaves: Análise Integrada. Modelagem Ambiental. Cerrado. Agropecuária. Análise Multicritério.

ABSTRACT

The Cerrado itself is configured such as an important environmental complex owing to its territorial extension and its geoenvironmental features. Despite of its relevance, the Cerrado area have been so much inhabited, specially by agriculture and cattle raising activities, causing deep impacts on morphclimate domains. In this perspective the current research presents the study goal of the hydrographic basin from Rio Uru (Goiás) located in the central portion of Goiás state and the Cerrado, heading from essential concepts as Landscapes, Geosystem, Landscapes' Units, Environmental Fragility and SIG. The general work target is to evaluate the environmental fragility and basin as its landscapes units throughout traditional modeling using the increment of techniques providing from multicriterion analysis. The research's development process began with the BHRU geoenvironmental characterization, identifying climatic, geological, geomorphological, pedological, morphometrical aspects and the of soil cover, followed by the crossing of geological, geomorphological and pedological data, which made possible the identification of a relief region smoothly waved to flat with meaningful occurrence of Latosols. The Geoenvironmental characterization allowed, besides, the definition of Landscapes Units. At first the Environmental Fragilities were mapped to the variable soils, slopes and the usage of a cover. Posteriorly, having in mind the proposal of the systemic analysis, was made the variable fragilities crossing maps, and as a result, the product, the environmental fragility map (traditional modeling) of the BHRU and of the UPs. The final stage of this work was focused in the fragility development model, having as a start point the multicriterion method application AHP (Analytic Hierarchy Process) and the result application to the basins at all and the landscapes units. As a result, was observed the occurrence of five fragilities classes: Very low, Low, Medium, High and Very High, being predominant the low and medium fragilities. In this way, the first one, happens more on flat areas where Latosols are predominant and the second one in hills where the claysoils have more occurrence. The comparative analysis among the modeling applied, confirmed the predominance of low and medium fragilities classes occurrence, and the occurrence of very low, high and very high in less percentage. The comparison still showed the low and very low fragilities percentage values were close in both modelings and that, throughout AHP method, the others classes percentage presented a very reduced data.

Keywords: Integrated Analysis. Environmental Modeling. Cerrado. Agriculture and Cattle Raising. Multicriterion Analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás)	30
Figura 2 - Fluxograma de definição das Unidades de Paisagem.....	35
Figura 3 - Fluxograma de elaboração do mapa de fragilidade ambiental	38
Figura 4 - Médias de precipitação e temperaturas mínimas, máximas e médias mensais (1981 - 2010)	42
Figura 5 - Precipitações anuais na BHRU no período de 1990 – 2019.....	44
Figura 6 - População censitária dos municípios que compõem a BHRU.....	46
Figura 7 - Evolução da densidade demográfica dos municípios da BHRU	46
Figura 8 - Mapa de unidades geológicas da BHRU	53
Figura 9 - Mapa de unidades geomorfológicas da BHRU.....	57
Figura 10 - Mapa dos tipos de solos da BHRU	59
Figura 11 - Mapa das classes de uso e cobertura do solo na BHRU	61
Figura 12 - Registro fotográfico da classe solo exposto identificada na BHRU.....	63
Figura 13 - Áreas de pastagens na BHRU.....	64
Figura 14 - Agricultura de irrigação na BHRU	65
Figura 15 - Áreas agrícolas na BHRU.....	66
Figura 16 - Áreas de cultivo de soja na BHRU	67
Figura 17 - Hidrografia da BHRU.....	67
Figura 18 - Mapa hipsométrico da BHRU.....	70
Figura 19 - Mapa de declividades da BHRU.....	71
Figura 20 - Unidades de Paisagem na BHRU	72
Figura 21 - Mapa das classes de fragilidades dos solos na BHRU.....	76
Figura 22 - Mapa das Classes de fragilidades da declividade na BHRU	78
Figura 23 - Mapa das classes da capacidade de proteção do uso e cobertura do Solo na BHRU	80
Figura 24 - Mapa de fragilidade ambiental da BHRU.....	82
Figura 25 - Desmatamento na BHRU.....	83
Figura 26 - Áreas de lavoura suscetíveis a processos erosivos e perda de solo na BHRU	84
Figura 27 - Processos erosivos e solos compactados pelo pisoteio de animais na BHRU.....	85
Figura 28 - Mapa de fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem na BHRU	86

Figura 29 - Gráfico da fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem na BHRU.....	87
Figura 30 - Mapa de fragilidade da BHRU produzido pelo método AHP	93
Figura 31 - Mapa de fragilidade ambiental das UPs, na BHRU produzido pelo método AHP	95
Figura 32 - Gráfico da fragilidade ambiental das UPs na BHRU, segundo o método AHP	96
Figura 33 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Muito Baixa na BHRU	100
Figura 34 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Baixa na BHRU.....	101
Figura 35 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Média na BHRU.....	101
Figura 36 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Alta na BHRU	102
Figura 37 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Muito Alta na BHRU.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas das bandas utilizadas na classificação.....	34
Tabela 2 - População censitária urbana e rural dos municípios da BHRU.....	47
Tabela 3 - Participação dos setores da economia no PIB dos municípios da BHRU	48
Tabela 4 - Principais produtos agrícolas cultivados nos municípios da BHRU	49
Tabela 5 - Efetivo de galináceos e bovinos dos municípios da BHRU	51
Tabela 6 - Área das unidades geológicas da BHRU	52
Tabela 7 - Área das unidades geomorfológicas na BHRU	57
Tabela 8 - Dados dos tipos de solos da BHRU	59
Tabela 9 - Dados das formas de ocupação dos solos da BHRU	61
Tabela 10 - Matriz de erros referente à classificação de uso e cobertura do solo na BHRU.	68
Tabela 11 - Dados Altimétricos da BHRU.....	70
Tabela 12 - Dados de declividade e elevação da BHRU	71
Tabela 13 - Áreas, composição geoambiental e antrópica das Unidades de Paisagem da BHRU	73
Tabela 14 - Dados de declividade e elevação das UPs da BHRU	74
Tabela 15 - Classes de fragilidade em relação aos tipos de solo na BHRU	77
Tabela 16 - Classes de fragilidades da declividade na BHRU.....	79
Tabela 17 - Classes de fragilidades em relação aos tipos de uso e cobertura do solo na BHRU	80
Tabela 18 - Classes de fragilidade ambiental da BHRU e suas respectivas áreas.....	83
Tabela 19 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, das UPs em relação à área da BHRU	87
Tabela 20 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, em relação as áreas das UPs na BHRU	88
Tabela 21 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada classe de fragilidade da BHRU, segundo o método AHP	93
Tabela 12 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada UP, em relação a área total da BHRU, segundo o método AHP	95
Tabela 23 - Área em Km ² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada UP, em relação as áreas das UPs na BHRU, segundo o método AHP.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
AGETOP	Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHRU	Bacia Hidrográfica do Rio Uru
CA	Complexo Anta - Unidade Granito Gnáissica
CC	Complexo Caiçara
CDLF	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas
CGAI	Complexo granulítico Anápolis-Itauçu
CGSSII	Complexo sintectônico - Suíte intrusiva Itapuranga
CU	Complexo Uvá
CX	Cambissolo Háplico
DA	Depósitos Aluvionares
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
FP	Frente Polar
GA	Grupo Araxá
GGV	Grupo Goiás Velho
GPC	Granito Pau de Choro
GSM	Grupo Serra da Mesa
HB	<i>Hogback</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMB	Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos de Goiás
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LV	Latossolo Vermelho
MDE	Modelo Digital de Elevação
mEc	Massa Equatorial Continental
mPa	Massa Polar
mTa	Massa Tropical
OLI	<i>Operational Land Imager</i>

PV	Argissolo Vermelho
PVA	Argissolo Vermelho - Amarelo
RL	Neossolo Litólico
RMM	Rochas metamáfico-metaultramáficas
SCP	<i>Semi – Automatic Classification</i>
SEGPLAN	Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento
SGM	Superintendência de Geologia e Mineração
SGRP	Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba
SGTA	Suíte Granitos Tipo Aragoiânia
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SJ	Suíte Jurubatuba
SMAI	Sequência metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí
SMJ	Sequência metavulcanossedimentar Juscelândia
SMRP	Sequência metavulcanossedimentar Rio do Peixe
SMSB	Suíte Anicuns-Santa Bárbara
SMUAB	Suíte Máfico-Ultramáfica Americano do Brasil
SRA	Superfície Regional de Aplainamento
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UP	Unidade de Paisagem
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCI	Zona de Convergência Intertropical
ZER	Zona de Erosão Recuante

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
OBJETIVOS	18
Objetivo geral	18
Objetivos específicos	18
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
1.1 A paisagem e os estudos geoambientais	20
1.2 Paisagem e abordagem geossistêmica	21
1.3 Unidades de Paisagem e análise geossistêmica	23
1.4 A análise geossistêmica em bacias hidrográficas	25
1.5 A identificação das fragilidades ambientais	26
1.6 As possibilidades produzidas pelos Sistemas de Informações Geográficas	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Localização da área de estudo	30
2.2 Caracterização geoambiental da BHRU	31
<i>2.2.1 Aspectos climáticos</i>	<i>31</i>
<i>2.2.2 Aspectos demográficos e econômicos</i>	<i>31</i>
<i>2.2.3 Aspectos geológicos</i>	<i>32</i>
<i>2.2.4 Aspectos geomorfológicos</i>	<i>32</i>
<i>2.2.5 Aspectos pedológicos</i>	<i>32</i>
<i>2.2.6 Uso e cobertura do solo</i>	<i>33</i>
2.3 Unidades de Paisagem	35
2.4 Aspectos hipsométricos e clinográficos	36
2.5 Fragilidade ambiental	36
<i>2.5.1 Fragilidade pedológica</i>	<i>36</i>
<i>2.5.2 Fragilidade em relação à declividade</i>	<i>37</i>
<i>2.5.3 Fragilidade em relação à cobertura do solo</i>	<i>37</i>
<i>2.5.4 Integração dos mapas às classes de fragilidade</i>	<i>38</i>
<i>2.5.5 Fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem</i>	<i>39</i>

2.5.6	<i>Aplicação do método multicritério AHP para obtenção da fragilidade ambiental.....</i>	39
2.5.7	<i>Fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem da BHRU, segundo o método AHP.</i>	40
3	CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BHRU.....	41
3.1	Caracterização climática da Bacia Hidrográfica do Rio Uru	41
3.2	Caraterização demográfica e econômica dos municípios da BHRU.....	44
3.3	Caraterização geológica da BHRU	51
3.4	Caraterização geomorfológica da BHRU	56
3.5	Caracterização pedológica da BHRU	58
3.6	Caraterização do uso e cobertura do solo da BHRU.....	60
3.7	Avaliação de acurácia da classificação do uso e cobertura do solo da BHRU	68
3.8	Caraterização hipsométrica e Clinográfica da BHRU.....	69
3.9	Caraterização das Unidades de Paisagem da BHRU	72
4	A FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BHRU	76
4.1	Caraterização e análise da fragilidade pedológica na BHRU	76
4.2	Caraterização e análise da fragilidade das declividades na BHRU	77
4.3	Caraterização da capacidade de proteção em relação ao uso e cobertura do solo na BHRU.....	79
4.4	Caraterização das classes de fragilidades da BHRU.....	81
4.5	Caraterização das classes de fragilidades das Unidades de Paisagem na BHRU.....	86
4.6	Caraterização das classes de fragilidades na BHRU por meio do método multicritério AHP	92
4.7	Caraterização das classes de fragilidades das UPs na BHRU, segundo o método AHP.....	94
4.8	Análise comparativa entre os modelos aplicados.	100
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105

INTRODUÇÃO

O Domínio Morfoclimático do Cerrado compreende um importante complexo ambiental, designação que se justifica pela sua biodiversidade, por suas características abióticas, seu potencial hidrológico e por ocupar uma extensa área na região central do Brasil com grande potencial econômico. Segundo Ferreira e Tokarski (2007), o Cerrado ocupa aproximadamente 24% do território nacional, com ocorrência em quinze estados brasileiros, onde estão localizadas as nascentes das principais bacias hidrográficas do país. As características geoambientais do Cerrado destacam esse domínio como importante fronteira agrícola, fato que o coloca numa posição de grande relevância no cenário econômico, sobretudo nas últimas cinco décadas, pois:

Nos últimos 50 anos, o Bioma Cerrado foi palco de uma acelerada e intensa ocupação econômica tendo o agronegócio como carro-chefe. Essa intensa ocupação econômica, aliada ao baixo conhecimento sobre a biodiversidade desse bioma, resultou em um intenso processo de perda de biodiversidade que ameaça a sustentabilidade e limita as oportunidades do futuro econômico e social nesse bioma (DIAS, 2008, p. 281).

A expansão da ocupação e exploração nas áreas do Cerrado justificam a importância da investigação e análise dos processos responsáveis por interferências e alterações na paisagem que ampliam as condições de fragilidade dos sistemas ambientais, pois “entender a paisagem em sua concretude é entendê-la como resultante da ação histórica dos homens em interação com a natureza” (SANDERVILLE JÚNIOR, 2005, p. 54). Nessa perspectiva, compreende-se que estudos integrados da paisagem sobre bacias hidrográficas apresentam-se como propostas de análises importantes, pois são capazes, a partir da compreensão de componentes da paisagem, de contribuir para a ampliação do conhecimento sobre o Cerrado e sobre os impactos que o atingem, uma vez que as bacias são ambientes sistêmicos que evidenciam os resultados das interações homem-natureza.

A compreensão sobre a complexidade das interações naturais que ocorrem no Cerrado e das formas de apropriação deste pela ação antrópica, em recortes espaciais delimitados por bacias hidrográficas, fundamenta a presente proposta de estudo, que tem como objeto de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Uru (BHRU), com foco na identificação dos níveis de fragilidade ambiental provocados pelas formas de ocupação, apropriação e uso de áreas

originalmente ocupadas pelo Cerrado. A pesquisa adota, como método de abordagem, a análise geossistêmica, com vistas à definição, descrição e análise de unidades de paisagem, para a identificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, que abrange áreas de treze municípios goianos.

A BHRU compõe o sistema de drenagem da Alta Bacia do Rio Tocantins, importante região hidrográfica do Brasil. A definição da BHRU como objeto de estudo deu-se por suas características geográficas e a relação destas com as atividades econômicas nela desenvolvidas. Localizada em uma região de relevo levemente ondulado a plano, com grande disponibilidade hídrica e com formações de solo que permitem a introdução de variados cultivos, a BHRU, a exemplo de outras regiões do território goiano, tem sido palco de significativas alterações na paisagem em função da introdução de atividades agropastoris.

Na região delimitada pela BHRU a agropecuária se apresenta como atividade econômica de significativa importância para os municípios da região. A bovinocultura e avicultura, são destaques na pecuária e o cultivo de soja, milho, sorgo, feijão, cana de açúcar, na agricultura, conforme informações contidas na base de dados do Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos de Goiás (IMB), que disponibiliza informações levantadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A ocupação e uso do solo, na BHRU, pelas atividades citadas, associadas à agroindústria, têm promovido intensa fragmentação das formações fitofisionômicas do Cerrado, além de possibilitar significativos impactos na qualidade e vazão das redes de drenagem, visto que tais atividades demandam elevado consumo hídrico, bem como, a utilização vultuosa de insumos agrícolas.

Diante do contexto, a pesquisa está estruturada em quatro capítulos. O capítulo 1 apresenta o referencial teórico da pesquisa, embasado nos conceitos de paisagem, geossistema, unidades de paisagem, bacia hidrográfica, fragilidade ambiental e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), além de discutir a importância da análise integrada da paisagem para a caracterização das condições físicas, como também, a identificação dos impactos provocados pela ação antrópica.

A localização geográfica e a delimitação espacial da Bacia Hidrográfica do Rio Uru estão caracterizadas no capítulo 2, que também apresenta o material e métodos utilizados para a caracterização geoambiental, socioeconômica e de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica. Para cada aspecto descrito, foram identificadas as bases de dados que foram utilizadas para a produção dos mapas, gráficos e tabelas que foram descritos tendo como

fundamento à literatura pertinente.

O capítulo 3 apresenta as discussões que descrevem a BHRU em suas características geoambientais e socioeconômicas. Destaca-se que a BHRU foi caracterizada quanto aos aspectos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e morfométricos, embasada em produtos cartográficos elaborados a partir de dados disponibilizados por instituições oficiais. O capítulo ainda apresenta a caracterização de uso e cobertura do solo.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados quanto aos níveis de fragilidade. Nesse caso, foram identificadas as fragilidades em relação aos tipos de solos, às declividades e quanto às formas de uso e cobertura do solo, de forma individualizada. Posteriormente, esses produtos foram integrados para geração da fragilidade ambiental da BHRU e das UPs. Como proposta de comparação e confirmação dos resultados obtidos na aplicação da modelagem para identificação da fragilidade ambiental, aplicou-se o método Análise Hierárquica de Processos - *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que compreende uma modelagem para elaboração de indicadores a partir da inter-relação de variáveis.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Avaliar a fragilidade ambiental das unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás), por meio de modelagem tradicional com o incremento de técnicas de análise multicritério.

Objetivos específicos

- Fazer uma caracterização geoambiental da bacia.
- Definir as unidades de paisagem que constituem a bacia, a partir da intersecção das bases cartográficas de geologia, geomorfologia e solos, correlacionadas aos aspectos morfométricos do relevo.
- Caracterizar a fragilidade ambiental da bacia e das Unidades de Paisagem, utilizando as variáveis solos, declividades e cobertura do solo e avaliar, de forma integrada, as condições geoambientais da BHRU e das Unidades de Paisagem.

- Gerar o modelo de fragilidade ambiental, a partir da aplicação do método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e aplicar os resultados às unidades de paisagem, numa perspectiva comparativa entre os modelos produzidos (tradicional x AHP).

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A paisagem e os estudos geoambientais

A paisagem, enquanto categoria de análise geográfica, apresenta-se como um instrumento de abordagem convergente para o interesse de estudos geoambientais, pois, partindo da compreensão de seu conceito, fundamentam-se investigações que possibilitam o conhecimento do ambiente na sua complexidade, uma vez que ela é a “expressão materializada das relações do homem com o seu meio” (KIYOTANI, 2014, p. 38). Assim, “entre os geógrafos há um consenso de que a paisagem resulta da relação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos” (MAXIMIANO, 2004, p. 87). Para Ross (2019), a dinâmica da paisagem é dependente dos fluxos energéticos e materiais produzidos pela natureza e pelas alterações desses fluxos provocadas pelas intervenções humanas. As características da categoria paisagem permitem, portanto, que esta seja tomada como base para alcançar a compreensão do objeto de estudo maior da geografia, o espaço geográfico.

A gênese do conceito de paisagem foi cunhada por Alexander von Humboldt, no final do século XVIII. A consolidação, enquanto categoria de análise geográfica, deu-se por meio de um longo processo de amadurecimento do conceito, sendo que foi a partir da segunda metade do século XX que se estabeleceu a compreensão sobre o dinamismo dos processos que determinam a paisagem. A concepção da paisagem, como um elemento dinâmico, estabeleceu-se a partir de ideias como de Bertrand (2004), quando este afirma que a paisagem não se define apenas por agrupar variados elementos geográficos, mas, principalmente, configura-se a partir do resultado das interações entre esses elementos que atuam uns sobre os outros produzindo um conjunto indissociável e em evolução. Assim, dada a sua condição dinâmica, os estudos geoambientais são importantes ferramentas para o processo de compreensão dos elementos que a compõem, uma vez que permitem o levantamento de dados, a identificação e quantificação desses elementos sendo, inclusive, determinantes no processo de planejamento e gestão dos recursos naturais (SILVA, 2009).

Corroborando com a ideia anterior, Silva e Silva (2012) afirmam que nas etapas que envolvem o planejamento, os estudos geoambientais contribuem na produção de diagnósticos, possibilitando compreender de forma integrada as informações referentes às variáveis ambientais, e, ainda, às potencialidades e limitações que o ambiente apresenta.

Schier (2003) preconiza que o estudo da paisagem deve promover avaliações definindo o conjunto de elementos envolvidos, como a escala e a temporalidade, considerando os processos sociais, naturais e humanos. Assim, fica evidente que a análise da paisagem demanda identificação dos fatores constitutivos, compreensão sobre como os elementos físicos, bióticos e antrópicos interagem e, nessa perspectiva, os estudos ambientais são instrumentos que permitem desvendar os processos de origem das características da paisagem e de suas funcionalidades.

Rodriguez e Silva (2002) relacionam o conceito de paisagem e sua dinâmica ao conceito de sistema, passando a considerá-la uma formação sistêmica com atributos fundamentais: estrutura, funcionamento, dinâmica, evolução e informação. Segundo Tricart (1977), um sistema é um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de energia e matéria, que funcionam numa relação de interdependência e equilíbrio dinâmico e que, portanto, configura-se como importante conceito para se compreender os problemas do meio ambiente.

1.2 Paisagem e abordagem geossistêmica

A partir dos conceitos de paisagem dinâmica e sistemas, a paisagem pode ser compreendida como resultado das interações ocorridas no sistema, o que permite vincular o seu conceito ao de geossistema. Este, por sua vez, pode ser compreendido como “um sistema natural, complexo e integrado onde há circulação de energia e matéria e onde ocorre exploração biológica, inclusive aquela praticada pelo homem” (TROPPMAIR; GALINA, 2006, p. 82).

Nessa relação, os autores ainda afirmam que “a paisagem é um fato concreto, um termo fundamental e de importante significado para a geografia, pois é a fisionomia do próprio geossistema” (TROPPMAIR; GALINA, 2006, p. 82).

No contexto da definição do conceito de geossistema, Bertrand (2004) o caracteriza como sendo a escala de intersecção dos elementos bióticos, abióticos e antrópicos, afirmando que é:

Uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. (BERTRAND, 2004, p. 06).

Em detrimento de seus processos de origem, para Bertrand (2004), o geossistema é uma formação de grande variedade fisionômica, sendo, portanto, um mosaico de paisagens que evidenciam as diferentes interações ocorridas, no tempo e no espaço. Assim, ele é o resultado das interseções entre os elementos naturais e destes com os elementos antrópicos. Corroborando, Neves (2014) afirma que os estudos sistêmicos desenvolvidos pela ciência geográfica a partir da análise integrada dos fluxos de matéria e energia possibilitam a compreensão do conceito de geossistema, que pode ser aberto ou fechado, dado que os abertos recebem entradas energéticas, especialmente energia solar e gravitacional, nos quais também ocorre uma troca de energia interna entre seus componentes. Já os sistemas fechados são aqueles onde ocorrem relações fixas e automáticas entre seus componentes, sem muita flexibilidade nas suas interações com o ambiente.

Para contribuir com a discussão e construção do conceito de geossistema, Nascimento e Sampaio (2005) defendem que a análise sistêmica incorpora todos os conhecimentos acerca dos diferentes elementos presentes na paisagem, como também possibilita estudos do espaço na sua totalidade e caracteriza-o como:

Um sistema natural, não necessariamente homogêneo, aberto, ligado a um território que se caracteriza por possuir certa morfologia (estruturas espaciais, verticais e horizontais), por um funcionamento (energia solar, gravitacional, ciclos biogeoquímicos, processos morfogenéticos e pedogenéticos) e comportamento específicos. (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005, p. 170).

Diante das definições e complexidade das paisagens, a abordagem geossistêmica se destaca, permitindo a possibilidade de análise e compreensão da estrutura, organização e funcionamento, visto que a “perspectiva sistêmica permite a identificação da diversidade de interações dos níveis internos de uma paisagem, sua funcionalidade, seu estado e suas relações com o meio” (MAXIMIANO, 2004, p. 88). Nesse caso, a identificação das interações diversas é possível, em razão de serem os geossistemas “poliestruturas, incluindo geoestrutura morfolitogênica, hidroclimatogênica e biopedogênica” (RODRIGUEZ; SILVA, 2002, p. 97). Estas são estruturas com variados elementos organizados de forma interconectada e interdependente, que vão compor o todo, evidenciado nas paisagens.

Neves (2014) afirma ainda que a teoria e o método geossistêmico contribuem para a discussão ambiental. No entanto, partindo dessa ideia e considerando a complexidade dos

geossistemas, ressalta-se que estes demandam estudos para “levantamento das características morfológicas, o conhecimento da dinâmica para o estudo dos equilíbrios e evolução” (CHRISTOFOLETTI, 1990, p. 25). Dialogando com essa ideia, a delimitação das Unidades de Paisagem pode ser considerada uma metodologia capaz de possibilitar a identificação das singularidades e posterior compreensão de todo o geossistema.

1.3 Unidades de Paisagem e análise geossistêmica

As Unidades de Paisagem (UPs), para Ross (1992), são formações individualizadas resultantes das interações entre o relevo, clima, cobertura vegetal, solos, formações litológicas, ou, até mesmo, por ação de apenas um desses elementos. Segundo Bertrand (2004), estas são áreas que se individualizam pela combinação de determinados atributos geográficos sob influência da mesma dinâmica.

O conceito de unidade de paisagem pode ser entendido como sendo aquelas áreas que se constituem por certo grau de homogeneidade resultado da relação das características ecológicas de um determinado recorte espacial com as atividades antrópicas que nela se realizam (ALVES; CUNICO, SOUZA, 2019, p. 7).

Tomando como referência Vitte (2007), ao afirmar que a paisagem é uma representação do espaço e resulta da interação de diversos atributos bióticos e abióticos, compreende-se que esta demanda a necessidade de se considerar cada componente ambiental, as dinâmicas e conexões entre eles para interpretação da sua estrutura organizacional e, neste caso, o estudo pautado nas Unidades de Paisagem permitem uma individualização ou particularização das condições ambientais.

Para Correia, D`Abreu e Oliveira (2001), as Unidades de Paisagem correspondem a áreas com características relativamente homogêneas no seu interior, não sendo exatamente iguais em toda a área, mas tendo um padrão específico o qual se repete e que, portanto, permite entender a especificidade da paisagem pelas características do relevo, solo, altitude, formação geológica, clima, ação antrópica e das combinações entre eles, o que a caracteriza como um geossistema.

Martinelli e Pedrotti (2001) afirmam que o geossistema é uma construção teórica que

abarca uma realidade concreta, e, neste caso, sendo as UPs geossistemas, estas, para serem identificadas, exigem fundamentalmente, conforme afirmam Correia, D`Abreu e Oliveira (2001), um trabalho de gabinete alicerçado em bases cartográficas, que permitam mapear as Unidades de Paisagem. Assim, os estudos das paisagens, numa abordagem sistêmica a partir da identificação e delimitação do espaço em Unidades de Paisagem, são capazes de produzir resultados consistentes no sentido de evidenciar aspectos que favoreçam a compreensão da estrutura e dinâmica da paisagem, evidenciando as potencialidades, limitações e fragilidades do ambiente. Tais estudos podem embasar planejamentos da ocupação territorial, identificar o potencial de exploração biológica, e, ainda, o nível de interferência das ações antrópicas e de seus impactos. No entanto, dada sua amplitude e dinamicidade de interação, o geossistema exige uma abordagem ampla e complexa, bem como o emprego de conhecimentos interdisciplinares.

A análise geoambiental, produzida numa escala pormenorizada, por meio das Unidades de Paisagem, permite identificar até mesmo as pequenas especificidades, o que é relevante, pois “todas as partes de um sistema, por menores que sejam, participam e influenciam no todo” (TROPMAIR; GALINA, 2006, p. 86). Dedicada atenção às individualidades, os estudos possibilitam a compreensão do todo em sua complexidade.

Quando se discute os elementos que compõem e influenciam os processos de evolução das paisagens, a ação antrópica precisa ser considerada de forma relevante. Ross (1994) afirma que as sociedades humanas são parte da dinâmica e, acrescenta-se aqui, com alto potencial de interferência nos fluxos de energia e matéria, visto que são responsáveis pela emergência amplificada das fragilidades. Em períodos que antecederam o início da ação humana sobre o ambiente natural, este se apresentava em equilíbrio dinâmico, ou seja, em equilíbrio natural, característica que tem sido modificada em decorrência de processos de industrialização, urbanização e mecanização de atividades agrícolas desenvolvidos pela ação antrópica.

O homem, enquanto agente de transformação, possui elevado nível de influência e capacidade de promover desequilíbrios, desconsiderando que qualquer intervenção humana nos componentes da natureza acarretará o comprometimento funcional do sistema, alterando seu estado de equilíbrio dinâmico (SPÖRL; ROSS, 2004) e, por consequência, interfere em todos os processos produtivos que permitem o desenvolvimento econômico das sociedades, as quais se fundamentam nos potenciais ambientais. Diante disso:

Os estudos integrados ou geoambientais são importantíssimos nos trabalhos de geografia física, propiciando a síntese do espaço geográfico, pois dialeticamente permitem a elaboração de diagnósticos socioambientais, (...) citando pelo menos as demandas mais emergentes de alguns instrumentos de comando e controle do uso e ocupação da terra. Determinam zonas de uso indiscriminadas, conservação e preservação, isto é, o ecozoneamento, proporcionando o trabalho integrado de técnicos e professores de diversas áreas (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005, p. 177).

A perspectiva de análise da paisagem a partir de estudos integrados dos sistemas constituídos permite delimitar e mapear seus atributos e níveis de resiliência. Nesse sentido, torna-se possível uma contribuição desses estudos para a tomada de decisões quanto à gestão territorial, apropriação e uso do ambiente natural. Logo, a discussão converge e dialoga com a importância de se desenvolver estudos sobre bacias hidrográficas, que são formações geossistêmicas, bem como, a sua necessidade.

1.4 A análise geossistêmica em bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica compreende um conjunto de terras drenadas por um sistema de cursos d'água, que convergem para uma saída comum e que representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002; TUCCI; MENDES, 2006). As bacias hidrográficas são consideradas, do ponto de vista geoambiental, como células básicas de análise ambiental e política, como unidades de planejamento e manejo integrados dos recursos naturais (BOTELHO; SILVA, 2010; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). De acordo com Souza (2010), elas são um arranjo composto por elementos naturais e socioeconômicos, que funcionam em interação dinâmica permanente, decorrente das trocas realizadas entre seus elementos sendo, portanto, ambientes sistêmicos.

As terras delimitadas por uma bacia hidrográfica são as áreas nas quais se desenvolvem as atividades biológicas, físico-naturais e humanas, que evidenciam como importante objeto de estudo, no contexto das análises que envolvem a paisagem, ampliando a definição da bacia hidrográfica enquanto unidade geossistêmica, composta por elementos bióticos, abióticos e antrópicos que inter-relacionam em fluxo contínuo (AZEVEDO;

GOMES; MORAES, 2016).

A abordagem geossistêmica em bacias hidrográficas se traduz em importante e adequada metodologia da análise das paisagens, uma vez que visa a compreensão de que as características do ambiente resultam de processos evolutivos e de interação de diversos atributos naturais e antrópicos ocorridos, ao longo do tempo, no espaço, e, por isso, pode fundamentar processos decisórios sobre uso e ocupação do meio físico.

As bacias hidrográficas são o palco das interações bióticas e abióticas, e, nesse sentido, é importante o conhecimento das suas potencialidades e fragilidades, para se fazer o melhor uso do ambiente, respeitando suas limitações. Nesse sentido, vale salientar que, no processo de planejamento de gestão do território em bacias hidrográficas, é preciso considerar que a fragilidade dos ambientes naturais diante das intervenções humanas “é maior ou menor em função de suas características genéticas” (ROSS, 2009, p. 50) e que a intensificação da atividade humana sobre o ambiente natural amplifica essa fragilidade natural. Nesse caso, mapear as fragilidades ambientais, a partir de estudos integrados da paisagem em bacias hidrográficas e da delimitação de suas unidades de paisagem, dialoga e contribui com a necessidade humana de apropriação e ocupação do espaço que precisa se dar de forma planejada, respeitando os níveis de fragilidades e limitações do ambiente natural.

1.5 A identificação das fragilidades ambientais

Fundamentado na teoria das Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis de Tricart (1977), Ross (1994) apresenta os conceitos de fragilidade potencial e emergente. Assim, a fragilidade potencial refere-se às Unidades Ecodinâmicas Estáveis que, portanto, estão em equilíbrio, mas com características genéticas potenciais ao desequilíbrio se submetidas à ação antrópica; já a fragilidade emergente refere-se às Unidades Instáveis, que são os ambientes intensamente antropizados (ROSS, 1994; AMARAL; ROSS, 2009). No contexto das discussões sobre fragilidade ambiental, Ross (1994) afirma que os ambientes naturais em fragilidade potencial apresentam naturalmente algum grau de fragilidade decorrente das condições genéticas e estes, quando submetidos às constantes e intensas alterações em razão da intensificação das intervenções humanas, provocadas pelo complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico, evidenciam a fragilidade emergente, que são as fragilidades provocadas pela ação antrópica.

Ampliando a ideia, Spörl e Ross (2004) afirmam que qualquer alteração dos componentes do ambiente compromete a funcionalidade do sistema, provocando, com isso, a fragilidade, que é a vulnerabilidade do sistema ambiental diante das pressões as quais é submetido.

É importante considerar que as bacias hidrográficas, por serem importantes ambientes sistêmicos, devem ser estudadas sob a ótica da necessidade de se mapear os níveis de fragilidade potencial e emergente. Diante do contexto, destaca-se que a análise integrada da paisagem se configura como um importante método para se entender a dinâmica de funcionamento do ambiente natural, pois permite estudos que consideram as inter-relações dos atributos naturais e os processos de ocupação e apropriação do território (ROSS, 1994).

Outro instrumento que possibilita grandes contribuições ao processo de identificação das fragilidades ambientais são as modelagens ambientais, uma vez que estas resultam em produtos que representam em escala menor os problemas da realidade ampliada. Como exemplo de produtos gerados a partir de modelagens ambientais cita-se a produção do mapa de fragilidade ambiental, que é uma importante ferramenta utilizada no planejamento ambiental produzido por meio de dispositivos tecnológicos que possibilita avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições, definindo áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, uma vez que sua utilização de forma inadequada pode resultar no comprometimento de todo o sistema (KAWAKUBO et al., 2005; VALLE et al., 2015).

Reforça-se que a ação antrópica é cada vez mais intensa sobre o ambiente natural e intensifica o processo de transposição da instabilidade potencial para emergente e, nesse sentido, concordando com Spörl e Ross (2004), os estudos sobre fragilidade ambiental e a produção de instrumentos capazes de subsidiar as tomadas de decisões, qualificam-se como importantes para a definição de ações a serem executadas no âmbito da gestão territorial.

1.6 As possibilidades produzidas pelos Sistemas de Informações Geográficas

Diante da complexidade e dimensão espacial que envolvem as análises ambientais, no contexto das bacias hidrográficas, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) se apresentam como eficientes ferramentas capazes de contribuir no levantamento das áreas, características e diagnósticos das condições ambientais, bem como da intensidade dos

impactos da ação antrópica, permitindo diagnósticos e prognósticos com vistas à gestão e planejamento do sistema ambiental.

Um SIG pode ser definido como um sistema destinado a aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias (ROSA, 2013). As representações cartográficas elaboradas com apoio das ferramentas SIGs, que possibilitam a implementação de inúmeras técnicas, proporcionam resultados com altos níveis de qualidade que elevam o potencial de comunicação dos mapas. Os SIGs são alternativas tecnológicas que possibilitam a aplicação de novos modelos e a geração de novos produtos.

Câmara, Davis e Monteiro (2001) afirmam que a evolução tecnológica dos SIGs se intensificou a partir dos anos 70, e isso permitiu a ampliação da produção do conhecimento, nas mais variadas áreas, estando a cartografia, ciência e técnica que tem como objeto de estudo a representação das variadas situações e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, incluída nesse contexto. Logo, a partir do desenvolvimento tecnológico dos processos de produção de mapas, as possibilidades foram ampliadas e novas técnicas foram integradas como, por exemplo, as técnicas de Geoprocessamento.

Ainda para Câmara, Davis e Monteiro (2001), o Geoprocessamento é a área de conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, entre outras áreas, a partir da utilização das ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas SIGs. Neste caso, as técnicas e ferramentas agregam possibilidades de melhores resultados nos estudos de análise ambiental e em bacias hidrográficas, pois:

A eficácia no uso das ferramentas de geoprocessamento para a análise de gestão de recursos hídricos, e especificamente nas bacias hidrográficas, se dá pelo conhecimento do tema, pela aplicação da cartografia e a informática” (SANTOS; MARTINS, 2019, p. 86).

Portanto, é importante afirmar que os conceitos de Geoprocessamento e SIGs, bem como a importância destes para a ciência cartográfica podem ser integrados em estudos onde os produtos cartográficos elaborados, a partir de metodologias de naturezas qualitativas, quantitativas e ordenadas, com variadas escalas de mensuração, possibilitam a leitura, análise

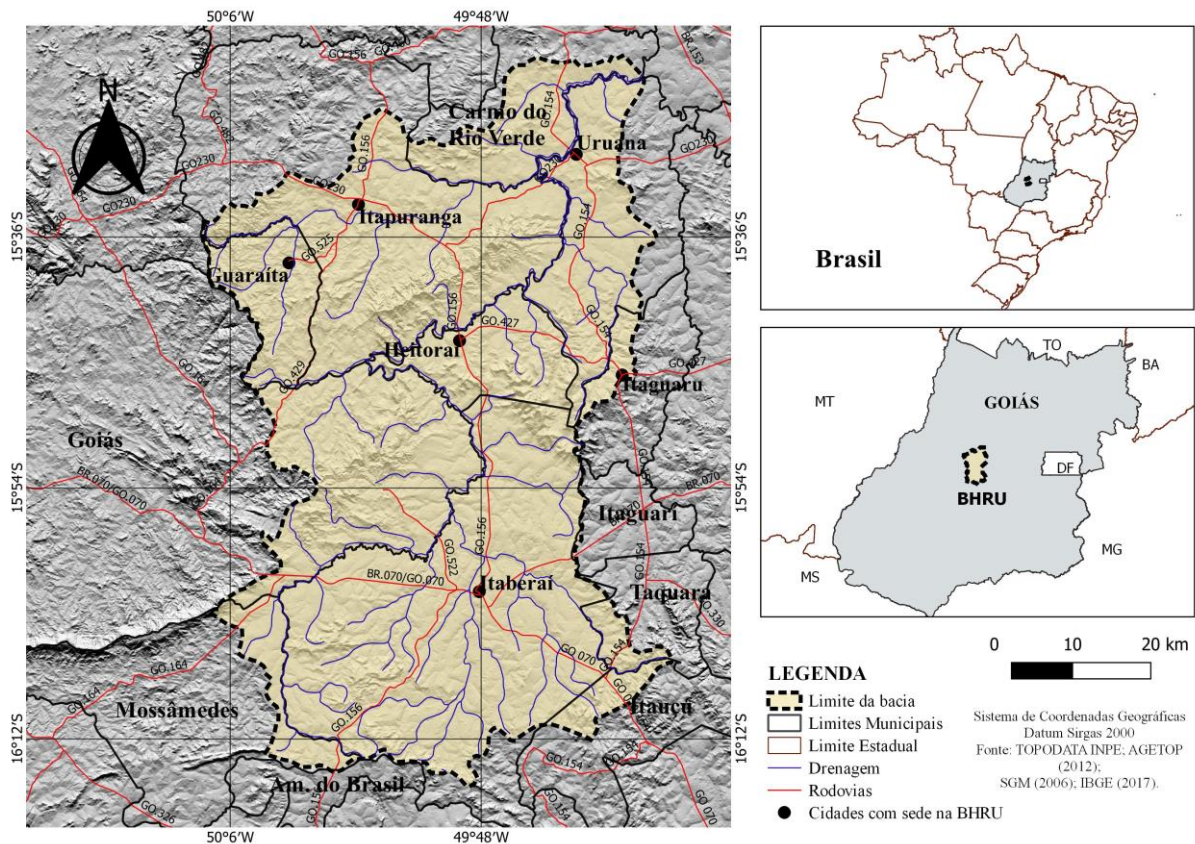
e interpretação permitindo a organização dos resultados e contribuindo substancialmente para as análises de fenômenos espaciais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

A BHRU está localizada entre as coordenadas geográficas 16°16'00" S; 15°20'00" S de Latitude Sul e 49°36'00" W; 50°08'00" W de Longitude Oeste (Figura 1). A bacia ocupa uma área de 3.868,91 km² e seu território é composto pelos municípios de Americano do Brasil, Mossâmedes, Goiás, Itaberaí, Taquaral de Goiás, Itauçu, Itaguari, Heitoraí, Itapuranga, Guaraitá, Uruana e Carmo do Rio Verde.

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás).



Fonte dos dados: AGETOP (2012); SGM (2006); IBGE (2017). Elaboração: Herculano, 2021.

2.2 Caracterização geoambiental da BHRU

Numa perspectiva macro, a metodologia para estudo da BHRU e desenvolvimento de

modelagem da fragilidade ambiental partiu da caracterização geoambiental e socioeconômica da bacia, seguida de caracterização do uso e cobertura do solo, desenvolvida através de classificação de imagens do satélite Landsat 8.

2.2.1 Aspectos climáticos

Diante do desafio da inexistência de dados específicos para cada município que tem parte de seus territórios na bacia, procurou-se analisar e compilar informações a partir do Banco de dados Normais Climatológicas, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas>, onde foi possível identificar as variações mensais dos volumes de precipitação pluvial e das temperaturas máximas, médias e mínimas, no período de 30 anos, compreendido entre 1981 e 2010. Os dados foram levantados a partir da leitura e análise de mapas temáticos elaborados e disponibilizados pelo INMET, para a região central do estado de Goiás.

Além disso, para ampliar a caracterização em relação aos volumes anuais de precipitações pluviais, buscaram-se dados de séries históricas contidas no acervo de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), onde foi possível detectar que, na BHRU, apenas os municípios de Goiás, Itaberaí, Itapuranga e Uruana possuem estações pluviométricas. Para estes, foram levantados os totais anuais de chuva do período entre 1990 e 2019 e, com estes dados, foi elaborado gráfico para análise do comportamento temporal das precipitações.

2.2.2 Aspectos demográficos e econômicos

Como metodologia para identificar e analisar a conjuntura socioeconômica dos municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Uru, utilizou-se como variáveis os aspectos demográficos e as atividades que configuram maior destaque econômico na região: as produções agrícola e pecuária.

Os dados relacionados às variáveis foram obtidos na base de dados do Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos de Goiás (IMB), que disponibiliza dados levantados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir dos dados, foi possível identificar a evolução do aumento populacional em cada município, entre os anos de

1991 e 2020, bem como, a dinâmica da população residente no espaço urbano e rural, em relação ao aumento e declínio. Ainda na base de dados do IMB, identificaram-se os principais produtos agrícolas cultivados em cada município da BHRU e o quantitativo de áreas, em hectares, ocupados por essas culturas. Da mesma forma, identificou-se, na pecuária, a evolução das principais atividades criatórias e seus quantitativos. Ainda relacionado aos aspectos econômicos, identificou-se a contribuição dos setores econômicos no Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios que compõem a região.

2.2.3 Aspectos geológicos

Para a caracterização geológica da BHRU foi produzido o mapa de unidades geológicas, a partir da base de dados da Superintendência de Geologia e Mineração do estado de Goiás, disponível em <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/geologia>. O mapa de geologia do estado de Goiás foi recortado para o limite da BHRU, que por sua vez foi identificado pela base dados Otto bacias hidrográficas do Sistema Estadual de Geoinformação do estado de Goiás disponibilizado pelo Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos (IMB). O mapa permitiu identificar as unidades geológicas que compõem a BHRU que foram, posteriormente, caracterizadas com base na literatura que apresenta aspectos da geologia do estado de Goiás. A descrição das unidades foi baseada em Lacerda Filho et al. (1999) e Moreira et al. (2008).

2.2.4 Aspectos geomorfológicos

O mapeamento e caracterização das unidades geomorfológicas da BHRU foi realizado a partir da base geomorfológica elaborada pela Superintendência de Geologia e Mineração do estado de Goiás, disponível em <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/geomorfologia>. A descrição das Unidades foi baseada em Goiás (2006), Carvalho e Bayer (2008) e Nascimento (1992).

2.2.5 Aspectos pedológicos

Para mapear e descrever os tipos de solos que compõem a BHRU, foi construído o mapa dos Tipos de Solos, a partir da base de dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) - Refinamento do mapeamento de solos para escala de 1:250.000, disponível em <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/solos>. Com estes dados, foi possível identificar os tipos de solos existentes que foram descritos com fundamento na literatura relacionada à temática, destacando, dentre essas, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), Distribuição dos Solos de Goiás (GOIÁS, 2016) e Solos do Bioma Cerrado, aspectos pedológicos (REATTO et al., 2008).

2.2.6 *Uso e cobertura do solo*

O mapeamento das classes de uso e cobertura do solo foi realizado a partir de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento empregadas em imagens do sensor OLI (*Operational Land Imager*), a bordo do satélite Landsat 8, disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS), referente a data de 07/05/2021, de onde foram extraídas as bandas 2, 5 e 6 (*Collection 2 Level-1*).

Após a obtenção dessas bandas, foi gerada uma composição colorida R2G5B6, a qual permitiu a identificação e interpretação da cena, observando o aspecto visual de formas, texturas, tonalidades e cores dos elementos que compõem a paisagem, para posterior classificação supervisionada. A classificação supervisionada foi realizada no *software* QGIS 3.16, com utilização do *plugin Semi-Automatic Classification* (SCP) e aplicação do algoritmo *Minimum Distance* que, conforme Meneses et al. (2012), calcula a distância espectral entre o vetor de medida para o pixel candidato e a média para cada assinatura de classe. O mapa foi gerado de acordo com paleta de cores proposta na coleção 5 do MapBiomias.

Uma vez gerado o mapa de uso e cobertura do solo foram realizadas expedições de campo, para conferência das classes mapeadas e registro fotográfico das mesmas. Na Tabela 3, são apresentadas as características técnicas das bandas utilizadas para a classificação supervisionada.

Tabela 3 - Características técnicas das bandas utilizadas na classificação.

Banda	Resolução Espectral (micrometros)	Resolução espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
B2 - azul	0,45 – 0,51 μm			
B5 – Infravermelho próximo	0,85 – 0,88 μm	30 metros	16 dias	16 bits
B6 – Infravermelho de ondas curtas	1,57 – 1,65 μm			

Fonte dos dados: OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Para validação das informações obtidas e verificação da exatidão da classificação supervisionada, a análise de acurácia foi realizada através da ferramenta *postprocessing/accuracy*, do plugin *Semi-Automatic Classification (SCP)*. O processo de avaliação de exatidão se deu a partir da comparação entre a classificação obtida e as amostras de referências das classes identificadas. Como resultado da avaliação, obteve-se, a partir da contagem dos pixels, uma matriz de erros e acertos, o coeficiente Kappa de cada classe classificada. A partir dos dados da matriz de erros, foram aplicadas, com auxílio do *software Excel*, as equações para identificação dos índices de exatidão, ou seja, a Acurácia Global e do Coeficiente Kappa Global. Todo o processo de verificação da exatidão foi desenvolvido com apoio teórico em Nery et al. (2013); Mangabeira, Azevedo e Lamparelli (2003); Meneses et al. (2012); Cândido, Silva e Filho (2015).

Cândido, Silva e Filho (2015), a partir da teoria de Bishop (1975), apresentam a equação 1, através da qual se identifica a acurácia global:

$$EG = \frac{A}{n} * 100$$

Onde: EG = exatidão global, A= acertos e n = números de amostras. Assim, dividindo-se o número total de pixels classificados corretamente pelo número total de pontos de validação, obtém-se um resultado em uma escala que varia de 0 a 100%.

Segundo Mangabeira, Azevedo e Lamparelli (2003), o Coeficiente Kappa, é um parâmetro muito utilizado e eficiente na verificação da exatidão. O Kappa é um índice que varia de 0 a 1, sendo: 0 = concordância nula e 1 = concordância perfeita, posto que ao longo do intervalo definem-se valores estatísticos de concordância que determinam a qualidade da

classificação: 0 - 0,2 = ruim; 0,2 - 0,4 = razoável; 0,4 - 0,6 = boa; 0,6 - 0,8 = muito boa e 0,8 - 1,0 = excelente (LANDIS e KOSCH, 1977 apud MENESES e SANO, 2012; MANGABEIRA; AZEVEDO; LAMPARELLI, 2003).

De acordo com Cândido, Silva e Filho (2015), o Kappa é identificado pela equação 2:

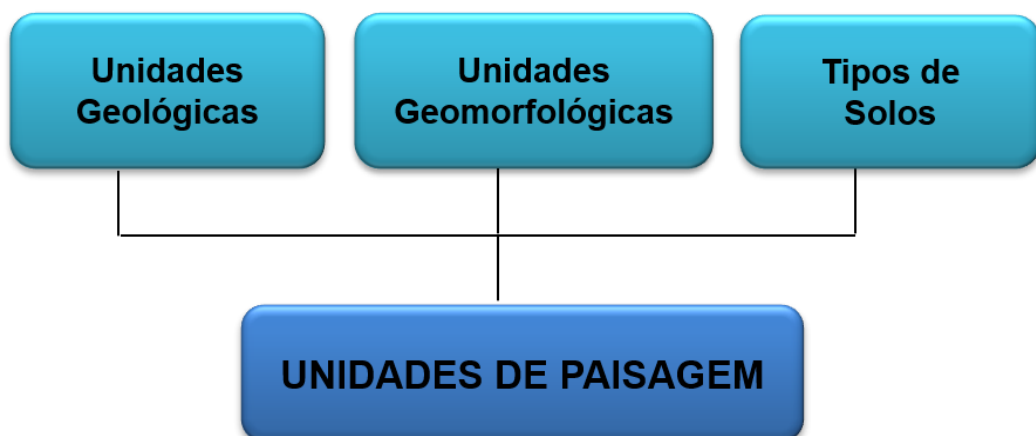
$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}$$

Onde: K = Índice de exatidão Kappa; r = número de linhas na matriz; X_{ii} = número de observações na linha [i] e coluna[i]; X_{i+} e X_{+i} = totais marginais da linha[i] e coluna[i]; N = número total de amostras. Assim, multiplica-se o total geral de amostras pelo total de amostras corretas e desse produto se subtrai a soma do produto da soma entre colunas e linhas. Em seguida, divide-se pelo total de amostras ao quadrado e subtrai pelo produto da soma de colunas e linhas.

2.3 Unidades de Paisagem

A compartimentação da BHRU em Unidades de Paisagem foi realizada a partir da sobreposição dos mapas de solo, geológico e geomorfológico, conforme apresentado no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de definição das Unidades de Paisagem



Fonte: Herculano, 2021. Organização: Herculano, 2021.

A delimitação das Unidades de Paisagem (UPs) se deu por vetorização manual, a partir da identificação de áreas relativamente homogêneas, considerando a predominância das variáveis estudadas, com o propósito de individualização das áreas para detalhamento da interpretação.

2.4 Aspectos hipsométricos e clinográficos

Os mapas hipsométricos e de declividades da BHRU foram produzidos a partir do modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros. As imagens SRTM são disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS), na plataforma <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A definição das classes de declividades, em categorias hierárquicas, foi definida com base em Ross (1994), que determina os seguintes intervalos: 0 – 6%; 6 – 12%; 12 – 20%, 20 – 30% e > 30%. Na BHRU foram identificadas as Unidades de paisagens (UPs), proposta metodológica que compõem as análises dessa pesquisa, para as quais foram caracterizadas as declividades e elevações mínimas, médias e máximas das UPs, utilizando a ferramenta Análise de dados raster/estatísticas do QGIS 3.16.

2.5 Fragilidade ambiental

A partir do embasamento teórico-metodológico de Ross (1994), o mapa das classes de fragilidade da bacia hidrográfica do Rio Uru foi elaborado tendo como foco a aplicação da análise integrada da paisagem. Apresenta-se como um produto-síntese, um diagnóstico da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, produzido a partir da apropriação das variáveis: solos, declividades, uso e cobertura do solo, para os quais foram produzidos produtos cartográficos intermediários, que foram reclassificados permitindo a identificação das classes de fragilidade potencial de cada componente.

2.5.1 Fragilidade pedológica

O mapa de fragilidade de solo foi produzido a partir do Mapa de Solos, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) - Refinamento do mapeamento de solos

para escala de 1:250.000, disponível em <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/solos>. Com base no mapeamento dos tipos de solos da BHRU, foi estruturada uma classificação, em relação aos níveis de fragilidade, com base nas propostas metrológicas de Ross (1994), Spörl e Ross (2004) e Amaral e Ross (2009). Os tipos de solos da BHRU foram associados às classes hierárquicas, gerando uma escala numérica, onde os Latossolos foram correlacionados à classe de fragilidade Muito Baixa – 1, os Argissolos à classe de fragilidade Média – 3, os Cambissolos à classe de fragilidade Alta – 4 e os Neossolos à classe Muito Alta – 5. Os dados foram acrescentados à tabela de atributos do mapa de solos, fornecendo, assim, elementos para a conversão da base vetorial para *raster*, na resolução 30x30m.

2.5.2 *Fragilidade em relação à declividade*

A construção do mapa das classes de fragilidades em relação às declividades se deu a partir do mesmo modelo digital de elevação utilizado na caracterização dos aspectos hipsométricos e clinográficos apresentado no tópico 2.4. As declividades foram classificadas em graus de fragilidade, com base na metodologia proposta por Ross (1994). O mapa de declividade foi reclassificado, no *software* QGIS 3.16, por meio do algoritmo *r.reclass*, onde foram gerados valores de 1 a 5, onde a classe de 0 – 6% refere-se ao nível de fragilidade Muito Baixo, com valor 1, de 6 – 12% ao Baixo, com valor 2; 12 – 20% ao nível Médio, com valor 3; de 20 – 30% ao nível Alto de valor 4 e > 30% ao nível Muito Alto com valor 5.

2.5.3 *Fragilidade em relação à cobertura do solo*

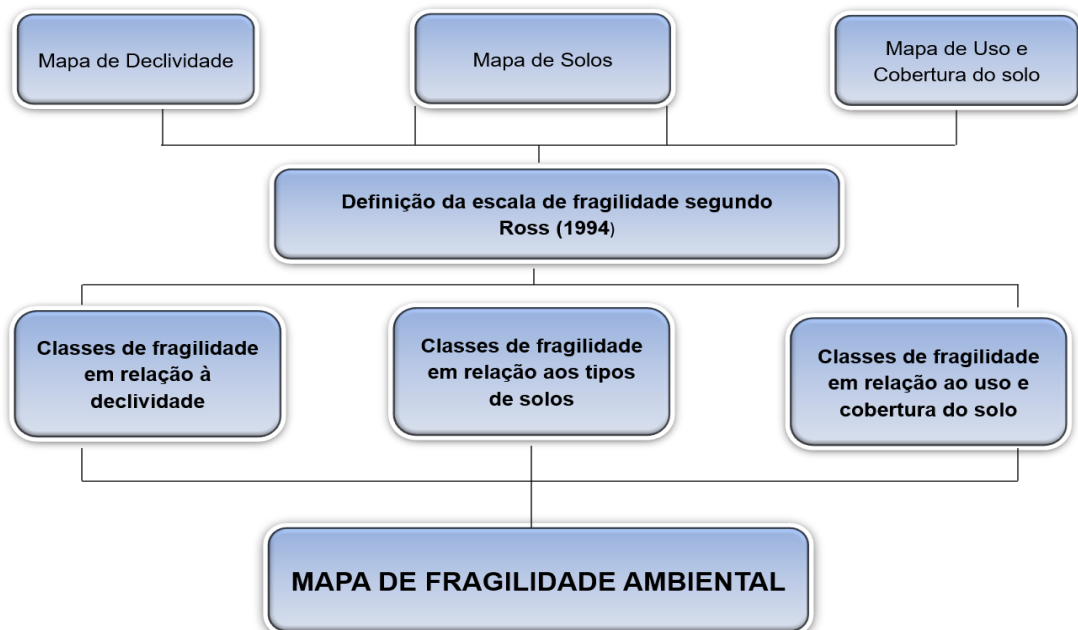
O mapa de fragilidades em relação ao uso e cobertura do solo foi gerado a partir do mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia, resultado da classificação supervisionada já descrita no tópico 2.2 – Caracterização geoambiental da BHRU, item 2.2.6. A partir da submissão das imagens ao processo de classificação supervisionada, 7 classes de uso e cobertura do solo foram identificadas, às quais foram atribuídas as nomenclaturas e valores numéricos. Com base em Ross (1994), as classes de uso e cobertura do solo foram associadas ao grau de proteção do solo, gerando 5 níveis de fragilidades, onde o Cerrado - formação florestal e hidrografia, que oferecem proteção Muito Alta tem valor 1; o Cerrado - formação savânica, com proteção Alta, valor 2; pastagens, proteção Média apresentam valor

3; agricultura, proteção Baixa, valor 4 e áreas urbanas e solo exposto, proteção Muito Baixa apresentam valor 5.

2.5.4 Integração dos mapas às classes de fragilidade

O procedimento técnico para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental foi a integração dos mapas das classes de fragilidade do solo, fragilidade em relação as declividades e grau de proteção em relação ao uso e cobertura do solo da BHRU, utilizando como ferramenta a calculadora *raster* e a técnica de álgebra de mapas, no *software* QGIS 3.16. Isso resultou, como produto, a identificação de cinco categorias de fragilidade, denominadas: (1) Muito Baixa, (2) Baixa, (3) Média, (4) Alta e (5) Muito Alta. A análise se consolidou ainda com fundamentação teórica amparada em Tricart (1977), Spörl e Ross (2004), Souza (2010), Kawakubo et al. (2005) e Valle et al. (2015). Assim, os procedimentos podem ser observados, no fluxograma metodológico da Figura 3. Logo, o mapeamento das fragilidades permitiu avaliar os impactos existentes sobre a vegetação do cerrado, bem como as condições de fragilidade morfopedológica.

Figura 3 – Fluxograma de elaboração do mapa de fragilidade ambiental.



Fonte: Herculano, 2021. Organização: Herculano, 2021

2.5.5 Fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem

Como forma de permitir a análise detalhada da fragilidade ambiental na BHRU, o mapa de fragilidade ambiental foi recortado para cada UP. A individualização da área de estudo em UPs possibilitou a observação das particularidades de cada UP quanto aos níveis de fragilidade, estabelecendo a relação desses níveis com as variáveis estudadas e, ainda, a representatividade em relação a área total da BHRU, bem como a relação das fragilidades com os aspectos morfológicos, morfométricos e de cobertura e uso dos solos.

2.5.6 Aplicação do método multicritério AHP para obtenção da fragilidade ambiental

Tomando como critérios as variáveis: solos, declividades e uso e cobertura, foi aplicado o método de Análise Hierárquica de Processos (*Analytic Hierarchy Process*), que compreende uma modelagem para elaboração de indicadores a partir da inter-relação de variáveis. Esse procedimento foi proposto por Thomas L. Saaty, em 1970, e, de acordo com Padilha, Trevisan e Cruz (2014), tem como característica e possibilidade contemplar a diversidade natural em n fatores e considerar a sua variabilidade, atribuindo a eles pesos de importância dentro da composição do modelo.

A aplicação do método AHP seguiu as seguintes etapas: atribuição de hierarquia que determinou a relação de importância entre as variáveis declividade, solos, uso e cobertura, seguida de obtenção de pesos de ponderação, que ocorreu de forma arbitrária, tendo por base análises e comparações entre trabalhos que se utilizaram do método AHP e atribuíram pesos às variáveis em questão; normalização dos dados das variáveis; geração da carta de fragilidade ambiental, a partir da Combinação Linear Ponderada - WLC, que é a técnica de agregação dos dados, onde os fatores homogeneizados são multiplicados por seus respectivos pesos e somados para obtenção do resultado final, conforme a seguinte equação:

$$FA = (Us * Pw1) + (De * Pw2) + (Pe * Pw3)$$

Onde,

FA = Fragilidade Ambiental

Pw = Pesos

Us = Uso e cobertura do solo

De = Declividade

Pe = Solo

Destaca-se que, em relação as variáveis selecionadas na pesquisa, estabeleceram-se a seguinte hierarquia e pesos: uso do solo – 0,450, declividade – 0,350 e solo – 0,200, considerando que a soma dos pesos é igual a 1,00. Os procedimentos foram realizados em ambiente SIG e a produção cartográfica realizada, no *software* de geoprocessamento QGIS 3.16.

2.5.7 Fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem da BHRU, segundo o método AHP.

Para uma observação mais detalhada da fragilidade ambiental na BHRU, identificada pela aplicação do método AHP, o mapa de fragilidade ambiental foi fragmentado em 13 UPs, possibilitando a percepção das particularidades de cada região e a associação dos níveis de fragilidades com as características das variáveis solo, declividade e uso e cobertura do solo.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BHRU

3.1 Caracterização climática da Bacia Hidrográfica do Rio Uru

A Bacia Hidrográfica do Rio Uru (BHRU) está localizada na porção central do estado de Goiás, o que permite afirmar que suas características climáticas gerais seguem o padrão climático de Goiás, uma vez que é atingida pelas mesmas variáveis climáticas atuantes sobre a região central do Brasil. Nessa perspectiva, para tornar possível a definição dos aspectos climáticos específicos da BHRU, faz-se necessário conhecer as características climáticas em escala macro, que atuam sobre a região na qual se localiza, identificando os sistemas climáticos e variáveis que a influenciam.

Dentre os fatores de significativa relevância, no contexto da caracterização climática de uma região, cita-se o regime de chuvas que, em Goiás, é caracterizado, segundo Lucena et al. (2020), Silva et al. (2006) e Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), por um período chuvoso (de outubro a abril) e outro seco (de maio a setembro), sendo que, no período chuvoso, ocorrem 95% do total de precipitação pluvial. A existência da estacionalidade relaciona-se com a localização latitudinal do estado de Goiás e, neste caso, também da BHRU, pois ambos estão inseridos na Zona Climática Intertropical. Assim, este aspecto se configura como uma variável importante na determinação das características climáticas.

Ainda segundo Cardoso, Marcuzzo e Barros (2012), de forma generalizada, a precipitação média anual em Goiás fica entre 1200 e 1800 mm. A latitude tem também influência direta na dinâmica das temperaturas, sendo considerada, por estes autores, o principal fator determinante de suas variações, uma vez que está relacionada com a quantidade de radiação recebida. Assim, “a temperatura média anual fica em torno de 22,0 e 23,0°C, sendo que as médias mensais apresentam pequena estacionalidade” (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2012, p.121). Acrescentando, Silva, Assad e Evangelista (2008) consideram que, na região central do Brasil, as temperaturas máximas variam entre 24°C e 33°C, sendo mais elevadas nas estações primavera-verão e com tendência de aumento no sentido sul-norte.

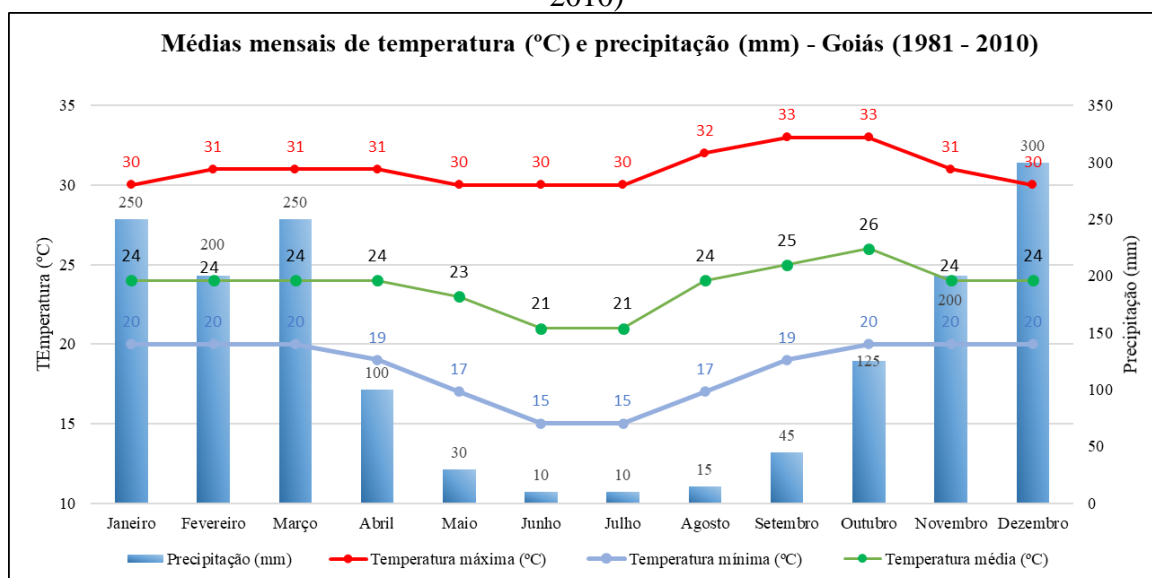
Considerando a classificação climática de Köppen (1948), o tipo climático que ocorre na região, onde a bacia está inserida, é o clima Megatérmico ou tropical úmido (A), com o subtipo clima de savana, com inverno seco e chuvas máximas de verão (w). Esse tipo de

clima (Aw) é predominante no domínio do Cerrado.

Definidos os fatores e variáveis que condicionam, de forma macro, o clima em Goiás, é importante analisar, de forma singularizada, os aspectos que caracterizam e diferenciam o clima na área da BHRU, objeto desse estudo. Nessa perspectiva, adotaram-se como variáveis, a serem analisadas, as precipitações mensais acumuladas, temperaturas máximas, médias e mínimas, no período entre 1981 e 2010, que se identifica, a partir de dados da série histórica do INMET, referente ao período de 1981 a 2010 (Figura 4), a estacionalidade do período chuvoso. Pelo gráfico, apresentado na Figura 4, observa-se que entre os meses de outubro e abril, predominam a ocorrência de chuvas, sendo que no mês de dezembro há maior concentração em milímetros. Define-se, nesses meses, o período úmido. Na posição contrária, os meses de maio a setembro apresentam menores índices de chuva, caracterizando a estação seca, sendo os meses de junho e julho os de menores índices de pluviosidade.

De acordo com os dados, a média de precipitação pluvial anual na região da bacia hidrográfica estudada é de 1.535mm, dos quais 1.425mm estão concentrados no período úmido, restando para o período seco apenas 110 mm, distribuídos nos cinco meses de estiagem. Os dados demonstram que as características do regime de chuvas da BHRU estão de acordo com as descrições de Silva et al. (2006) e de Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), em relação aos aspectos gerais do estado de Goiás.

Figura 4 - Médias de precipitação e temperaturas mínimas, máximas e médias mensais (1981 - 2010)



Fonte dos dados: INMET. Organização: Herculano, 2021.

Em relação às temperaturas, os dados revelam que os meses com maior ocorrência de chuvas (outubro a abril) são os de maiores temperaturas, e isso se aplica tanto para temperaturas mínimas, quanto para médias ou máximas, conforme pode ser observado na Figura 4. A exceção ocorre no mês de setembro, que, embora com baixos índices de chuva, apresenta temperaturas em ascensão.

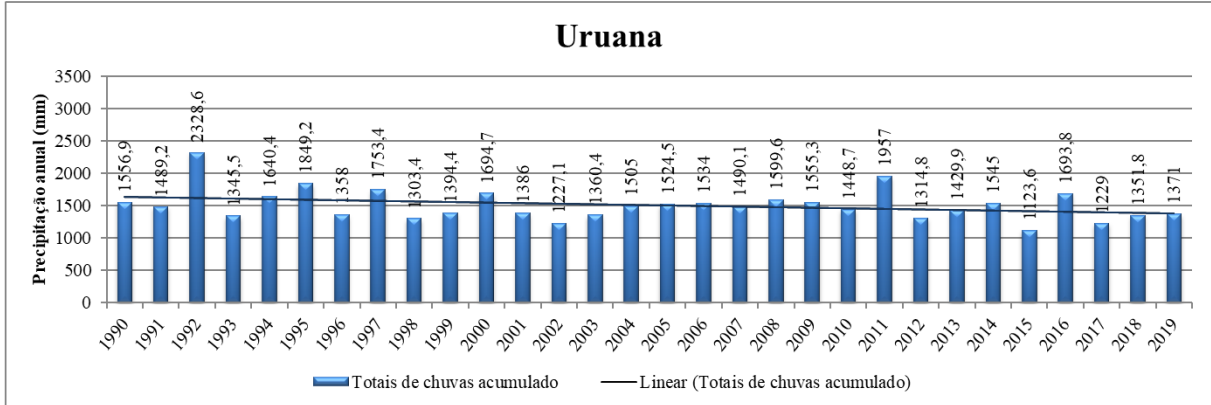
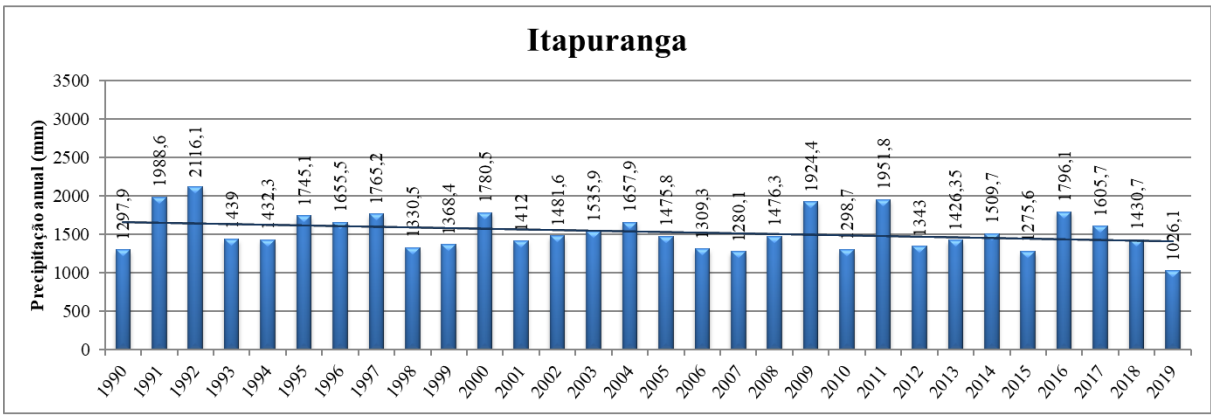
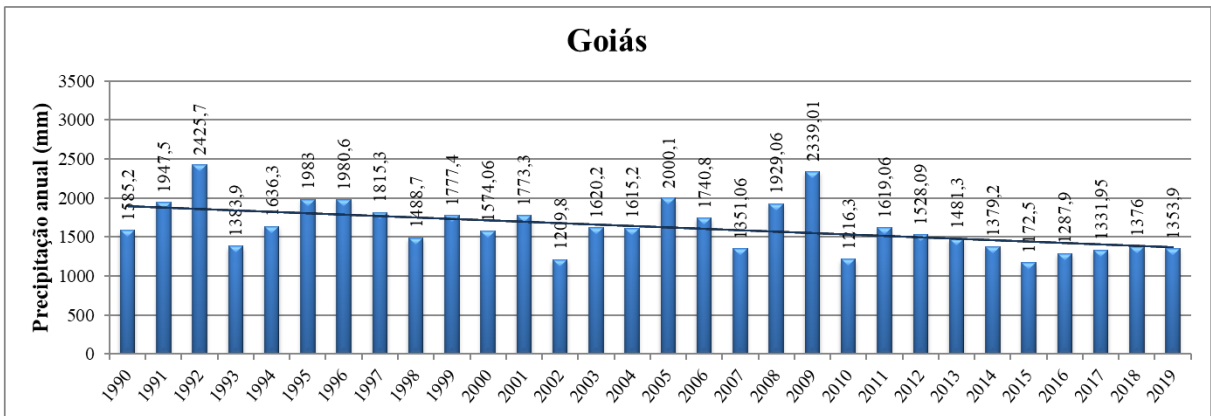
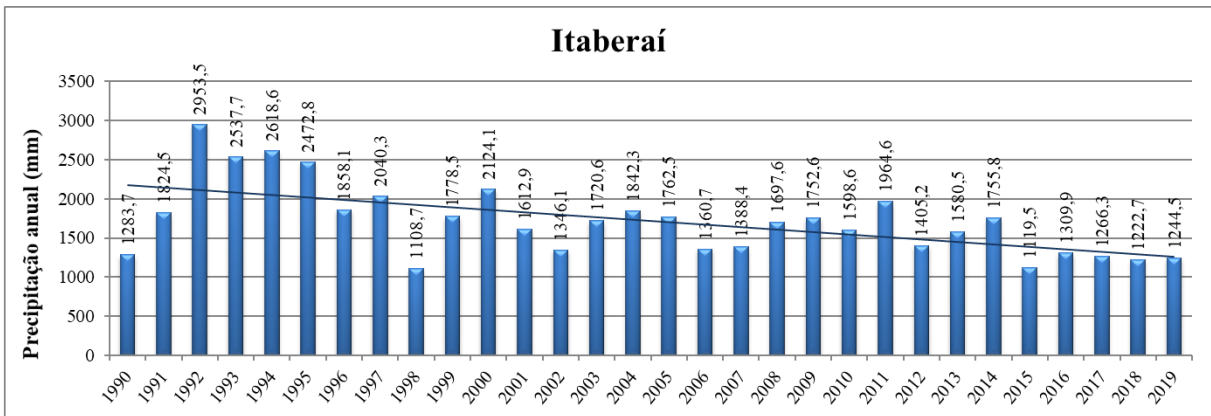
As médias mensais das temperaturas máximas variam entre 30°C e 33°C. Quanto às médias mensais de temperaturas mínimas, a variação ocorre entre 15°C e 20°C. Já em relação às médias mensais de temperaturas médias, a variação se dá entre 21°C e 26°C, conforme pode ser observado na Figura 4, com junho e julho sendo os meses que registram as menores temperaturas, enquanto outubro se revela como o mês mais quente do ano.

O gráfico da Figura 4 possibilita ainda comparar as variações das temperaturas médias, ao longo do ano, e observar que a BHRU apresenta temperaturas médias mais elevadas que aquelas entre 22°C e 23°C, apontadas por Cardoso, Marcuzzo e Barros (2012), para o estado de Goiás, e temperaturas máximas também mais elevadas que as apontadas por Silva, Assad e Evangelista (2008), entre 24°C e 33°C, para a região central do Brasil.

Um dado a ser destacado, em relação ao período de chuvas na BHRU, é que, a exemplo do que ocorre, em geral, na região central do Brasil, nos meses de dezembro e janeiro, marcados pelos maiores volumes em milímetros, é comum acontecer um fenômeno climático conhecido como Veranico. De acordo com Silva et al. (2008), este fenômeno se caracteriza por ocorrência de períodos curtos de estiagem, cerca de quinze dias, durante a estação chuvosa. Ele é bem conhecido, pois, em geral, tem capacidade para provocar prejuízos na produtividade agrícola.

O levantamento de dados de precipitação pluviométrica, contidos na série histórica sistematizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), referentes ao período de 1990 e 2019, nos municípios de Itaberaí, Goiás, Itapuranga e Uruana, sistematizados na figura 5, mostra os volumes das precipitações anuais dos municípios citados.

Figura 5 - Precipitações anuais na BHRU no período de 1990 - 2019.



Fonte dos dados: ANA (2021). Organização: Herculano, 2021.

Dessa forma, identifica-se, conforme mostrado na figura 5, que em Itaberaí os índices totais oscilaram entre 1.108,7 mm e 2.953,5 mm, sendo 1998 o ano de menor índice e 1992 o de maior índice. Já o município de Goiás apresenta menores volumes de chuvas, no período analisado, se comparado com Itaberaí, tendo os menores acumulados, no ano de 2002 e os maiores em 1992. Os dados referentes ao município de Itapuranga não mostram variações significativas e apresentam o ano de 2019 com o menor volume acumulado, 1026,1mm, e com maior acúmulo o ano de 1992, com 2.116,1mm. Já em Uruana, as variações seguem o padrão já apresentado para o município vizinho, Itapuranga, e, conforme mostra a figura 5, em 2015 foi o ano de menor volume e, a exemplo dos demais, o maior acúmulo ocorreu em 1992.

De modo geral, nota-se o ano de 1992 como um ano atípico, em relação aos acumulados de chuvas na BHRU, em razão de ter sido um ano de ocorrência de El Niño de forte intensidade, no primeiro semestre desse ano, conforme descrito em Marcuzzo e Romero (2013), e uma tendência de diminuição dos volumes de chuva no período indicado, confirmada pela linha de tendência, em razão de terem ocorrido períodos de normalidade ou com ocorrência de El Niño e La Niña com intensidade moderada. Neste caso destacam-se os municípios de Goiás e Itaberaí que apresentam redução mais acentuada.

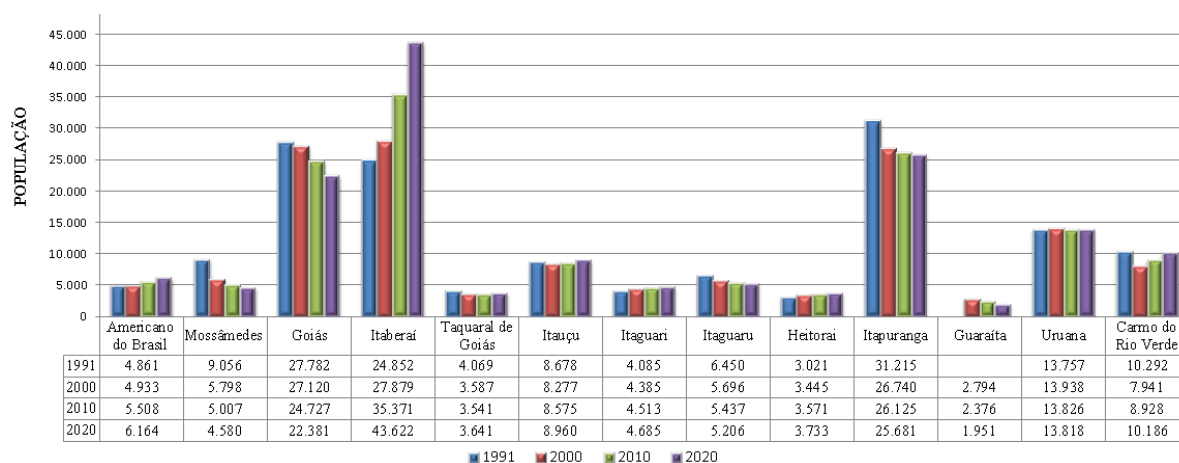
3.2 Caracterização demográfica e econômica dos municípios da BHRU

De acordo com dados do Instituto Mauro Borges (IMB), em 2010, os municípios que compõem a BHRU possuíam, no total, 147.505 habitantes. O órgão apresenta, para a região, além de dados oficializados (população censitária), estimativa de crescimento demográfico e indica, para esta, projeções de que já tenha atingido 154.608 habitantes em 2020.

A análise do gráfico da Figura 6 permite identificar que a maioria dos municípios da BHRU possui população abaixo de 10.000 habitantes. Nesse cenário, destacam-se os municípios de Goiás, Itaberaí, Itapuranga, com população acima de 20 mil habitantes. Nota-se que não há dados referentes ao número populacional de Guaraíta para o ano de 1991, pois esse município foi emancipado em 1992 como desmembramento de Itapuranga. Ainda, os dados revelam que os municípios Mossâmedes, Goiás, Itaguaru, Itapuranga e Guaraíta vêm sofrendo redução populacional nos últimos 30 anos. Em sentido contrário, nos municípios de Americano do Brasil, Itaberaí, Taquaral de Goiás, Itauçu, Itaguarí, Heitorá, Uruana e Carmo

do Rio Verde, a população é crescente, com destaque para o município de Itaberaí que apresenta crescimento significativamente superior aos demais.

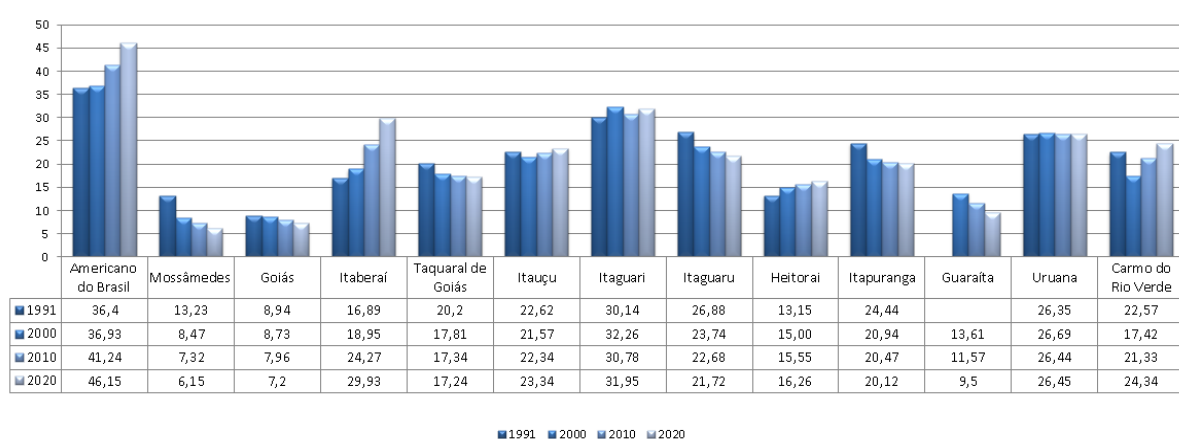
Figura 6 - População censitária dos municípios que compõem a BHRU.



Fonte dos dados: Instituto Mauro Borges (2021). Organização: Herculano, 2021.

Em consonância com os dados populacionais dos municípios da BHRU, apresenta-se a evolução dos dados de densidade demográfica que, conforme a Figura 7, acompanham proporcionalmente o crescimento ou a diminuição da população em cada município da região.

Figura 7 - Evolução da densidade demográfica dos municípios da BHRU.



Fonte dos dados: Instituto Mauro Borges (2021). Organização: Herculano, 2021.

A situação de crescimento ou retração populacional descrita pode estar relacionada às atividades econômicas desenvolvidas em cada município. A vocação agropecuária associada às indústrias voltadas para o agronegócio existente, na região da BHRU, cria quantitativo

significativo de postos de trabalho, condição que intensifica processos migratórios que elevam crescimento populacional, a exemplo do que ocorre em Goiás, pois, segundo dados do Instituto Mauro Borges (2018), entre 2010 e 2017, houve crescimento absoluto de 12,9% em Goiás, maior que o nacional (8,8%) e igual ao do Centro-Oeste (12,9%), e, neste caso, o crescimento acima da média nacional deve-se à atração de migrantes para o estado.

Seguindo com a análise em relação aos aspectos demográficos, nota-se, a partir dos dados apresentados na Tabela 2, que a população urbana está em crescimento, na grande maioria dos municípios, entre 1991 e 2010. Apenas os municípios de Mossâmedes, Goiás e Guaraíta estão em declínio. Nesse caso, não se identificaram dados projetados para 2020. Os dados relativos à população rural revelam que apenas o município de Americano do Brasil registrou crescimento, para o ano de 2000.

Tabela 4 - População censitária urbana e rural dos municípios da BHRU.

Municípios	População urbana			População rural		
	1991	2000	2010	1991	2000	2010
Americano do Brasil	4.132	4.116	4.718	729	817	790
Carmo do Rio Verde	4.759	5.182	7.054	5.533	2.759	1.874
Goiás	20.140	19.801	18.638	7.642	7.319	6.089
Guaraíta	-	1.479	1.442	-	1.315	934
Heitorai	1.940	2.289	2.645	1.081	1.156	926
Itaberaí	17.255	21.249	29.789	7.597	6.630	5.587
Itaguarí	3.023	3.508	3.968	1.062	877	545
Itaguaru	3.940	4.571	4.521	2.510	1.125	916
Itapuranga	19.885	19.905	21.235	11.330	6.835	4.890
Itauçu	5.912	6.157	6.461	2.766	2.120	2.114
Mossâmedes	4.802	3.595	3.275	4.254	2.203	1.732
Taquaral de Goiás	2.361	2.367	2.881	1.708	1.220	660
Uruana	9.397	10.919	11.232	4.360	3.019	2.594

Fonte dos dados: Instituto Mauro Borges (2021). Organização: Herculano, 2020.

Diante disso, apresentadas as características demográficas, faz-se necessária a análise dos aspectos econômicos nos municípios analisados. Os dados referentes ao ano de 2018, apresentados na Tabela 3, mostram que, embora o setor de serviços tenha maior participação no Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios que compõem a BHRU, a agropecuária se apresenta como atividade de significativa importância econômica desenvolvida na região. Apresenta-se como a segunda atividade de maior contribuição para o PIB dos municípios

analisados, excluindo dessa afirmação os municípios de Itaberaí, Carmo do Rio Verde e Itauçu, onde é superada pela indústria.

Tabela 5 - Participação dos setores da economia no PIB dos municípios da BHRU.

Municípios	Produto Interno Bruto 2018		
	Agropecuária	Indústria	Serviços
Americano do Brasil	11.897,93	5.289,96	44.114,56
Carmo do Rio Verde	43.428,05	83.109,68	102.837,10
Goiás	82.817,36	31.063,56	316.564,28
Guaraíta	9.452,48	1.306,06	21.235,51
Heitoraí	16.056,00	2.233,07	34.694,52
Itaberaí	175.748,44	235.017,83	726.161,23
Itaguari	14.315,25	3.702,49	47.881,47
Itaguaru	15.948,84	3.759,59	53.812,52
Itapuranga	73.927,78	25.405,05	296.036,85
Itauçu	14.721,88	22.197,12	93.548,12
Mossâmedes	28.746,00	4.465,18	41.633,54
Taquaral de Goiás	16.661,24	7.075,14	37.257,90
Uruana	52.741,78	9.461,50	138.085,92

Fonte: IBGE (2018) apud Instituto Mauro Borges (2020). Elaboração: Herculano2021

Dados referentes à produção agrícola, do período entre os anos 2000 e 2018, apresentados na Tabela 4, revelam que entre os principais produtos cultivados destaca-se o milho, produzido em todos os municípios analisados, porém com diminuição dos hectares ocupados, ao longo do tempo analisado. A soja também é um produto de destaque, sendo possível notar, considerando a região analisada, o aumento significativo em áreas cultivadas, nos municípios de Itaberaí, Goiás e Uruana, a exemplo do que ocorre em Goiás, a qual, conforme dados do IMB (2018), possui a mais expressiva importância econômica, visto que os produtos do complexo soja (grão, farelo e óleo) se destacam nas exportações estaduais. A cana de açúcar, produzida em parte significativa dos municípios analisados, apresenta, ao longo do tempo, diminuição em áreas ocupadas.

As demais culturas produzidas, em menores áreas, variam de um município para outro, mas um aspecto interessante é que municípios próximos e com aspectos quantitativos

demográficos e econômicos semelhantes, tendem a cultivar o mesmo produto. Como exemplo, cita-se a banana, produzida nos municípios de Taquaral, Itaguari, Itaguaru, Itauçu, Heitorai, Guaraíta, Uruana e Carmo do Rio Verde.

Tabela 6 - Principais produtos agrícolas cultivados nos municípios da BHRU.

Município	Produto	Área Cultivada (ha)		
		2000	2010	2018
Americano do Brasil	Cana - de açúcar	2.437	2.102	432
	Milho	1.000	1.000	550
	Soja	-	200	270
	Arroz	330	250	55
Mossamedes	Cana - de açúcar	-	735	8.000
	Milho	1.060	1000	435
	Soja	-	250	1.150
	Arroz	400	650	20
Goiás	Milho	5.000	3.500	2.000
	Soja	300	500	3.100
	Arroz	3.500	2.500	-
	Feijão	320	200	950
Itaberaí	Milho	10.000	7.000	9.600
	Soja	3.000	12.000	13.500
	Sorgo	3.800	2.000	5.150
	Cana de açúcar	1.778	8.515	1500
	Feijão	6.000	1.300	4.200
Taquaral de Goiás	Banana	15	120	230
	Mandioca	25	50	171
	Milho	1.000	1.500	65
	Soja	-	400	363
Itauçu	Milho	1.300	800	650
	Soja	60	-	690
	Banana	22	80	538
	Café	67	90	94
Itaguari	Banana	40	80	104
	Milho	2.200	3.000	320
	Soja	-	300	250
	Melancia	40	80	156
Itaguaru	Banana	900	1.100	730
	Milho	2.000	2.000	155
	Soja	-	200	135
	Melancia	96	-	105

Heitoraí	Banana	34	400	320
	Milho	800	2.500	516
	Melancia	40	150	83
	Soja	-	50	150
Itapuranga	Cana-de-açúcar	20	3.415	7.800
	Melancia	400	445	200
	Milho	6.000	1.100	550
	Palmito	100	130	380
Guaraíta	Milho	1.000	250	200
	Maracujá	10	18	6
	Banana	10	80	2
	Arroz	200	340	50
Uruana	Melancia	3.500	4.000	3.000
	Milho	2.200	3.200	1.500
	Banana	30	500	1.500
	Cana-de-açúcar	50	1.500	3.500
	Soja	220	300	1.000
Carmo do Rio Verde	Banana	-	320	150
	Cana-de-açúcar	1.200	4.300	8.270
	Maracujá	-	200	110
	Milho	4.000	1.200	1.200
	Melancia	500	420	480

Fonte dos dados: Instituto Mauro Borges (2021). Organização: Herculano, 2020.

Em relação à pecuária, destaca-se a criação de galináceos e bovinos. Os dados da Tabela 5 revelam crescimento do efetivo de aves, na maioria dos municípios analisados, com destaque para o município de Itaberaí, que apresenta um crescimento superior aos demais, em razão da existência de indústria desse setor implantada, no município, e que influencia o crescimento dessa atividade criatória nos municípios vizinhos. Em posição contrária, em Guaraíta e Uruana, a avicultura apresenta declínio, no período analisado.

Quanto ao efetivo de cabeças de bovinos, apenas o município de Taquaral de Goiás não apresenta crescimento no período analisado, confirmando a importância da criação de bovinos para a economia de todo o estado de Goiás, pois:

O efetivo de bovinos no estado se alterna na 3º e 4º posição nacional. O abate desses animais também figura nessas colocações no ranking nacional. Vale ressaltar que Goiás se destaca na criação de bovinos de corte em confinamento, que é intensiva em tecnologia. Isso é relevante para o mercado de boi gordo, pois coloca o estado como importante praça de

comercialização no período da seca, quando a oferta de boi gordo convencional é reduzida (IMB, 2018, p. 26)

Tabela 7 - Efetivo de galináceos e bovinos dos municípios da BHRU.

	Galináceos			Bovinos		
	1998	2008	2018	1998	2008	2018
Am.do Brasil	10.060	14.900	137.500	13.870	18.040	22.550
C. Rio Verde	21.500	15.400	29.040	32.000	35.600	49.425
Goiás	109.920	131.200	800.000	207.140	245.100	296.499
Guaraíta	13.300	10.800	12.750	18.000	20.600	29.250
Heitoraí	9.800	12.500	1.050.000	20.500	25.000	31.200
Itaberaí	1.131.300	3.057.000	12.530.400	120.900	135.000	154.200
Itaguari	28.000	36.000	615.200	17.500	23.000	24.800
Itaguaru	21.700	30.000	675.500	26.600	25.000	32.500
Itapuranga	103.000	85.150	334.990	120.000	122.000	167.980
Itauçu	19.809	25.220	32.905	36.864	45.310	52.500
Mossâmedes	157.650	191.470	750.000	74.160	86.700	95.713
Taquaral	23.700	30.200	396.500	26.100	24.950	25.800
Uruana	51.000	39.050	33.600	52.500	59.800	68.900

Fonte dos dados: Instituto Mauro Borges (2021). Organização: Herculano, 2020.

Com base em todos os dados demográficos e econômicos dos municípios que compõem a BHRU, é possível caracterizar a região identificando o comportamento demográfico, no qual se percebe o crescimento populacional da maioria dos municípios, bem como estabelecer a relação deste crescimento com os aspectos produtivos desenvolvidos em cada região. Portanto, nota-se evidente relação entre o crescimento populacional de alguns municípios e o desenvolvimento das atividades econômicas praticadas.

3.3 Caracterização geológica da BHRU

A Bacia Hidrográfica do Rio Uru está localizada na Província Estrutural do Tocantins, que se caracteriza como uma “estrutura geotectônica, posicionada entre os crátons do São Francisco e Amazônico, composta por terrenos de diversas idades, do Arqueano ao Neoproterozóico, estabilizada no final do ciclo Brasiliano” (LACERDA FILHO et al., 1999, p. 15). Definindo uma localização mais específica a partir de aspectos geológicos, e de acordo com estudos realizados por Lacerda Filho et al. (1999), a BHRU estende-se por área da faixa Brasília/Araguaia/Paraguai, representados por espessas sequências de rochas supracrustais

dobradas e metamorfisadas e por terrenos formados por fragmentos arqueanos de composição essencialmente granítico-gnáissica, que abrange ainda sequências vulcanossedimentares, tipo *greenstone belt*, e por terrenos antigos granulitizados no Brasiliano. A Tabela 6 apresenta a área ocupada por cada Unidade Geológica e os percentuais da área de cada unidade em relação a área total da BHRU.

Tabela 8 - Área das unidades geológicas da BHRU.

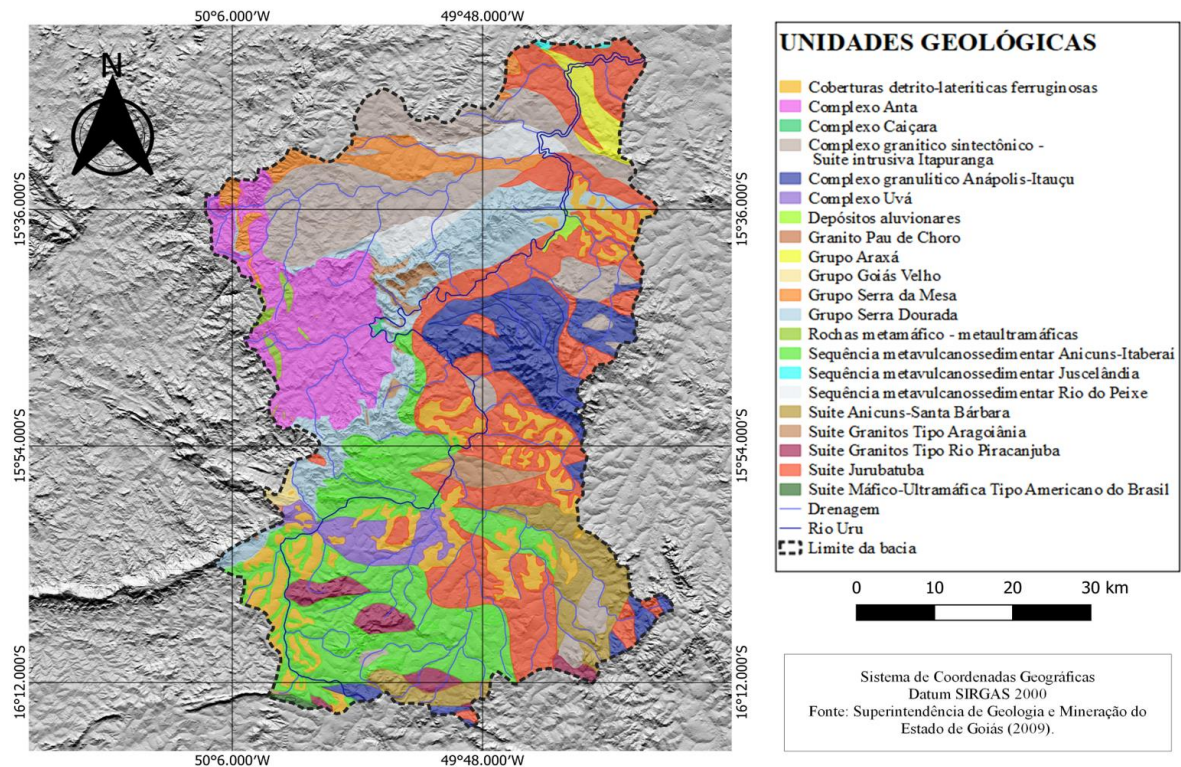
Unidade Geológica	Área (km²)	Área (%)
Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (CDLF)	306,07	7,91%
Complexo Anta - Unidade Granito Gnáissica (CA)	374,62	9,68%
Complexo Caiçara (CC)	1,73	0,04%
Complexo sintectônico - Suíte intrusiva Itapuranga (CGSSII)	521,73	13,49%
Complexo granulítico Anápolis-Itauçu (CGAI)	299,72	7,75%
Complexo Uvá (CU)	80,09	2,07%
Depósitos Aluvionares (DA)	8,67	0,22%
Granito Pau de Choro (GPC)	0,83	0,02%
Grupo Araxá (GA)	50,57	1,31%
Grupo Goiás Velho (GGV)	10,29	0,27%
Grupo Serra da Mesa (GSM)	121,42	3,14%
Grupo Serra Dourada (GSD)	326,51	8,44%
Massa de água	27,11	0,70%
Rochas metamáfico-metaultramáficas (RMM)	20,1	0,52%
Sequência metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí (SMAI)	580,72	15,01%
Sequência metavulcanossedimentar Juscelândia (SMJ)	3,97	0,10%
Sequência metavulcanossedimentar Rio do Peixe (SMRP)	84,57	2,19%
Suíte Anicuns-Santa Bárbara (SMSB)	175,97	4,55%
Suíte Granitos Tipo Aragoiânia (SGTA)	74,96	1,94%
Suíte Granitos Tipo Rio Piracanjuba (SGRP)	83,3	2,15%
Suíte Jurubatuba (SJ)	709,96	18,35%
Suíte Máfico-Ultramáfica Americano do Brasil (SMUAB)	6	0,15%
TOTAL	3.868,91	100%

Fonte dos dados: Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás. Organização: Herculano, 2021.

No mapa de unidades geológicas da BHRU da Figura 8, é possível perceber a ocorrência de grande variação geológica, permitindo caracterizar a BHRU como região de terrenos Granito-Greenstones, que são embasamentos da Faixa Brasília que é uma unidade

geotectônica formada por complexos ortognáissicos, tonalítico-granodioríticos e graníticos, com ocorrência de faixas de rochas supracrustais tipo *greenstone belts* e sequências vulcanossedimentares (LACERDA FILHO et al., 1999).

Figura 8 - Mapa de unidades geológicas da BHRU.



Fonte dos dados: Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (2009). Organização: Herculano, 2021.

Assim sendo, na BHRU há a ocorrência de fragmento do Complexo Uvá, a sudoeste e de significativa ocorrência do complexo Anta, que ocupa 9,69% da área da bacia. O Complexo Anta “é um conjunto de tonalitos, granodioritos e granitos homogêneos e/ou gnaissificados” (MOREIRA, et al., 2008, p. 45), que, na BHRU, ocorre limitando-se também com o Grupo Serra Dourada e com a Suíte Intrusiva Itapuranga. Segundo Moreira et al. (2008), o Complexo Uvá localiza-se no extremo sul dos Terrenos Granito-*Greenstones* e, limita-se a norte com os *greenstone belts* de Serra de Santa Rita e Faina por falha inversa de mergulho para sudoeste e vergência para nordeste, a sul está coberto, limita-se com a Sequência Serra Dourada por falha de empurrão, e a oeste com gnaisses paleoproterozóicos pela Zona de Cisalhamento Moiporá-Novo Brasil (MOREIRA, et al., 2008, p. 43). Na BHRU

o Complexo Uv ocorre em maior parte adentrando  Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí.

Na BHRU, pode ser identificada a ocorrência de fragmento a oeste do Grupo Goiás Velho, que ocupa apenas 0,27% da área da bacia e prolongamento N-S do Suíte Jurubatuba, este se apresentando numa significativa porcentagem, de 18,35%, da área total, na região leste da bacia. As rochas do Grupo Goiás Velho compreendem uma associao do tipo *greenstone belt* que está cavalgada por rochas metassedimentares do Grupo Serra Dourada (MOREIRA et al., 2008, p. 45). Já a unidade Suíte Jurubatuba que, de acordo com estudos de Piuzana (2002) e Oliveira et al. (1997) apud Moreira et al. (2008), é uma unidade que inclui o Granito Jurubatuba e rochas da Associao Ortognssica Migmtica composta de gnaisses e migmatitos paleoproterozóicos, a qual apresenta ocorrência significativa.

As rochas metassedimentares estão representadas, na BHRU, pelas Unidades Grupos Serra Dourada, que se prolongam na direo SW-NE, ocupando 8,44% da área total, e pela ocorrência do Grupo Serra da Mesa que, embora seja predominante na região norte de Goiás, aparece como um corpo alongado no norte da bacia, abrangendo uma área de 3,14%. O Grupo Serra Dourada constitui uma sequência de metassedimentos psamíticos da fcies xisto verde, caracterizada por uma sucessão de xistos, quartzitos e conglomerados associados a granito-gnássico arqueano, enquanto o Grupo Serra da Mesa é representado por xistos feldspáticos, micaxistos, quartzitos, calcixistos, calcários e mármore (LACERDA FILHO et al., 1999).

Nota-se que as Unidades Metavulcanossedimentares estão representadas, na BHRU, pela Sequência Juscelândia, Anicuns-Itaberaí e Rio do Peixe. No extremo norte da bacia, identifica-se fragmento da Sequência Metavulcanossedimentar Mesoproterozica de Juscelândia que constitui uma faixa composta por anfibolitos finos, metatufos ácidos, *metacherts*, metassedimentos pelíticos e rochas calcissilicáticas (LACERDA FILHO et al., 1999). É importante afirmar que a Sequência Anicuns-Itaberaí ocupa 15,01%, sendo a segunda maior unidade da bacia hidrográfica.  tpica do Arco Magmático de Goiás, estendendo-se pelo centro-sul da bacia, sendo constituída por rochas máficas e ultramáficas metamorfizadas, associadas a *cherts*, formaoes ferríferas, mármore e micaxistos (LACERDA FILHO et al., 1999).

Já no norte da BHRU, identifica-se a Sequência Metavulcanossedimentar Rio do Peixe, composta por dois grupos litológicos, o inferior, vulcânico, formado por anfibolitos, rochas ultramáficas e intercalaoes de rochas calcissilicáticas e *metacherts*, e o superior,

sedimentar, composto de quartzo xistos, quartzitos, xistos feldspáticos, micaxistos e anfibolitos (MOREIRA et al., 2008). Nesse caso, o percentual dessa unidade é de 2,19% da área da bacia.

Fragmento da Unidade Granito Pau de Choro pode ser identificado a oeste, na BHRU, limitando-se ao Grupo Goiás Velho. Segundo estudos de Jost et al. (2005) apud Moreira et al. (2008), essa unidade é formada por muscovita granitos que ocorrem em corpo tabular irregular, exposto logo a sul da cidade de Goiás.

No que tange às Intrusões Máfico-Ultramáficas, na BHRU, ocorrem no extremo sul, com a presença de fragmento do Suíte Máfico-Ultramáfica Tipo Americano do Brasil e ocorrência da Suíte Anicuns-Santa Bárbara no SE da bacia, sendo que esta última compreende um conjunto de corpos plutônicos, de natureza básico-intermediária, compostos por litótipos gabróticos e dioríticos (LACERDA FILHO et al., 1999).

A Unidade Suíte Máfico-Ultramáfica Tipo Americano do Brasil compreende um corpo diferenciado e acamadado, encaixado em rochas do Complexo Granito-Gnáissico e em micaxistos da Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí (LACERDA FILHO et al., 1999).

Observa-se que o Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu apresenta ocorrência significativa na porção leste da BHRU, região do município de Itaguaru, e pequenos fragmentos no S-SE e compreende um conjunto de rochas gnáissicas, orto e paraderivadas, envolvendo lentes de granulitos anfibolitizados em meio às faixas granulíticas e imbricadas tectonicamente com os metassedimentos do Grupo Araxá (LACERDA FILHO et al., 1999).

No nordeste da bacia hidrográfica, tem-se a ocorrência da Unidade Grupo Araxá que, segundo Moreira et al. (2008), ocupa áreas descontínuas na porção sul e centro sul da bacia e é composta por psamitos, psamo-pelitos e pelitos metamorfisados (MOREIRA et al., 2008).

Na BHRU, há, ainda, a ocorrência das unidades Granitóides, que estão representadas pela ocorrência de Suíte Granitos Tipo Aragoiânia, abrangendo 1,94% da área total, Piracanjuba, ocupando 2,15%, e extensa área, de 13,49%, ocupada por Suíte Intrusiva Itapuranga, ao norte da bacia. Segundo Lacerda Filho et al. (1999), o granito Aragoiânia recebe essa denominação por ter sido encontrado pela primeira vez próximo a cidade homônima e são corpos graníticos.

Verifica-se que os Granitos do Tipo Rio Piracanjuba, na BHRU, podem ser identificados ao S e SW, próximo à sede do município de Americano do Brasil, reúnem vários

corpos de metagranito, metagranodiorito e metatonalito porfiríticos (MOREIRA et al., 2008).

Ainda, tendo como área de predominância a região do município homônimo e localizado ao noroeste da bacia em estudo, a Suíte Intrusiva Itapuranga tem ocorrência em todo o norte, prolongando-se no sentido NO-L, mas aparece também como manchas ao leste e sul da bacia. As rochas que compõem essa unidade são protomilonito e milonitos a ultramilonitos (LACERDA FILHO et al., 1999).

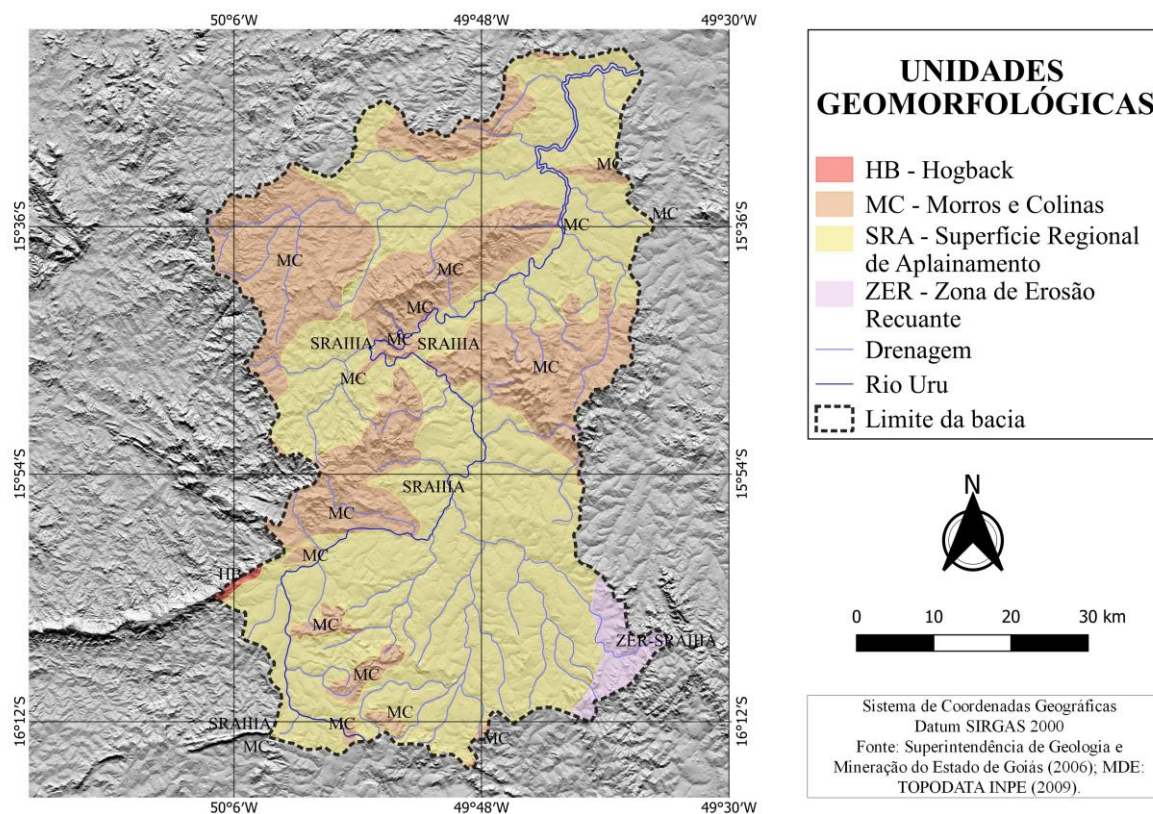
É importante salientar que, a exemplo do que acontece em todo o estado de Goiás, com a distribuição das Coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas, em superfícies de aplainamento, essa unidade apresenta significativa ocorrência nas regiões leste, sudeste e sudoeste, abrangendo o total de 7,91% da área da bacia hidrográfica, principalmente recobrando às Unidades Anicuns-Itaberaí e Jurubatuba, que são zonas de interflúvios. As Coberturas detrítico-lateríticas são sedimentos aluviais ou coluviais constituídos por conglomerados oligomíticos com seixos de quartzito e lateritos com carapaças ferruginosas (MOREIRA et al., 2008).

Por fim, identifica-se, ao norte, uma ocorrência de Depósito aluvionares, formações datadas do quaternário, que são caracterizadas por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos com cascalhos e lentes de material silto-argiloso e turfa (MOREIRA et al., 2008).

3.4 Caracterização geomorfológica da BHRU

Na Figura 9 são apresentadas as Unidades Geomorfológicas e na Tabela 7 estão as áreas ocupadas por cada unidade e os percentuais em relação a área total da BHRU. Com base no sistema classificatório do mapeamento geomorfológico do estado de Goiás, estruturado em níveis e descrito por Goiás (2006), observa-se que a morfogênese das Unidades Geomorfológicas da BHRU é oriunda do sistema denudacional. Nesse caso, a área da bacia apresenta geoformas, com fraco ou sem controle estrutural, que permitem dissecação e aplainamentos; e de forte controle estrutural se apresentando como estruturas dobradas.

Figura 9 - Mapa de unidades geomorfológicas da BHRU.



Fonte dos dados: Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (2006). Organização: Herculano, 2021.

Tabela 9 - Área das unidades geomorfológicas na BHRU.

Unidade Geológica	Área (km ²)	Área (%)
Hogback	8,0	0,2%
Massa de água	27,0	0,7%
Morros e Colinas	1326,0	34,3%
Superfície Regional de Aplainamento IIIA	2420,91	62,6%
Zona de Erosão Recuante	87,0	2,2%
TOTAL	3868,91	100%

Fonte dos dados: Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás (2006). Organização: Herculano, 2021.

Associada à SRAIIIA, ocorre, a sudeste da área, uma Zona de Erosão Recuante (ZER), com forte dissecação, ocupando uma área de 87 Km². As Zonas de Erosão Recuante são superfícies erodidas pela rede de drenagem em relevos mais acidentados.

Ao observar o mapa de unidades geomorfológicas, na Figura 9, identifica-se a ocorrência de contato entre as SRAIII A e os Morros e Colinas (MC), ao norte, leste, oeste e sudoeste da BHRU, sendo esta unidade a segunda maior em ocupação de área da BHRU, uma vez que abrange o percentual de 34,3% da região. De acordo com Goiás (2006), as áreas de Morros e Colinas resultam da preservação de litologias mais resistentes, em processo de evolução das Superfícies Regionais de Aplainamento com tendência recuante. Os Morros e Colinas existentes, na BHRU, possuem padrão de dissecação variando entre forte e muito forte controle estrutural.

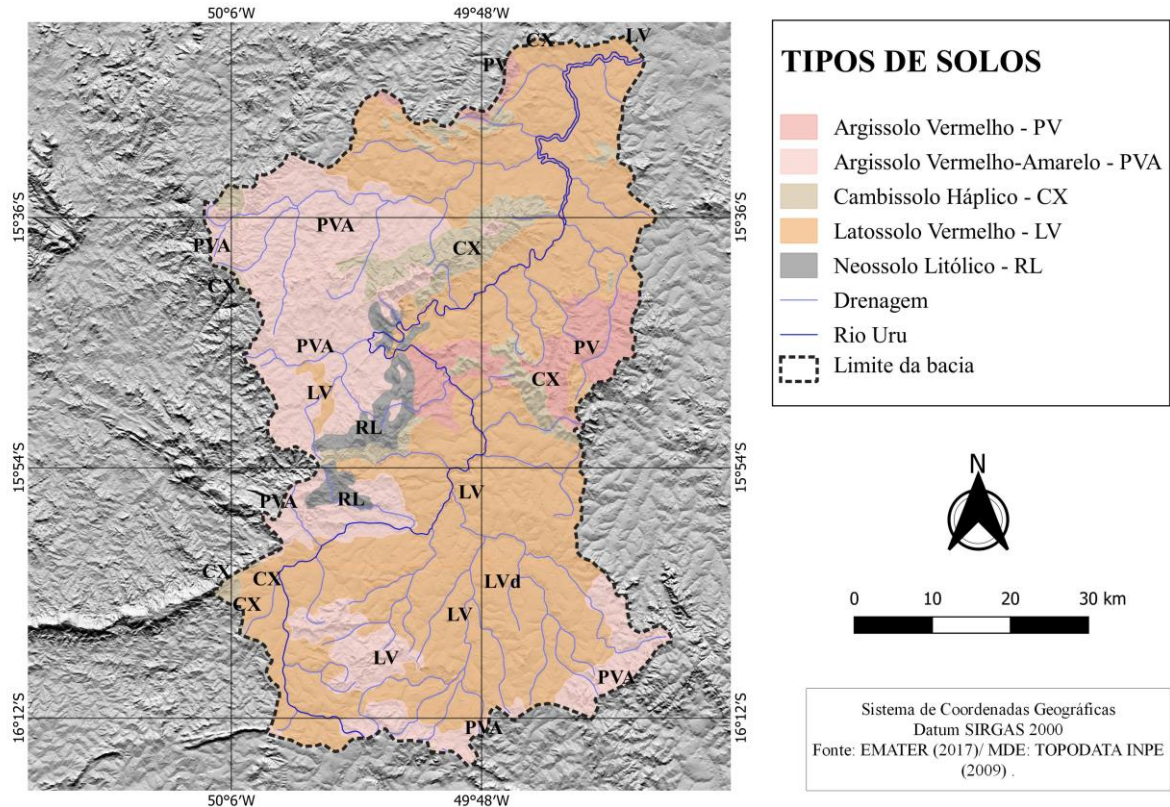
Nota-se que o *Hogback* (HB) está associado a Morros e Colinas. “*Hogbacks* e cristas são definidos como colinas formadas por rochas apresentando mergulhos fortes, maior que 20°” (GOIÁS, 2006, p. 49). Logo, trata-se de uma Unidade Geomorfológica formada por estrutura dobrada pertencente a conjunto da Serra Dourada, informação corroborada por Goiás (2006), que especifica que as cristas de quartzito da Serra Dourada de Goiás possuem mergulho geral entre 30° e 40°.

Portanto, uma observação global sobre a distribuição das Unidades Geomorfológicas, na BHRU, evidencia uma divisão, no território da bacia hidrográfica, com a predominância de relevo aplainado ao sul e de Morros e Colinas ao norte. Nota-se, ainda, nos limites da bacia hidrográfica, os divisores de águas. Nesse caso, limitam-se ao oeste, com a Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, afluente do Rio Araguaia; a Leste, com a Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, e ao sul, com a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois.

3.5 Caracterização pedológica da BHRU

A Figura 10 e a Tabela 8 apresentam, respectivamente, a espacialização dos tipos de solos identificados, na BHRU, e os quantitativos de áreas ocupadas por cada tipo de solo. Os dados mostram a ocorrência de cinco tipos de solos na BHRU: Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico.

Figura 10 - Mapa dos tipos de solos da BHRU.



Fonte dos dados: EMATER (2017). Organização: Herculano, 2021.

Tabela 10 - Dados dos tipos de solos da BHRU.

TIPOS DE SOLOS	Área (km ²)	Área (%)
Argissolo Vermelho	218	5,6%
Argissolo Vermelho-Amarelo	1029	26,6%
Cambissolo Háplico	296	7,7%
Latossolo Vermelho	2205,91	57,0%
Neossolo Litólico	103	2,7%
Massa de água	17	0,4%
TOTAL	3868,91	100%

Fonte dos dados: EMATER (2017). Organização: Herculano, 2021.

Na BHRU, predomina o Latossolo Vermelho, uma vez que 57% da área é recoberta por essa classe de solo. Os Latossolos são solos muito intemperizados, profundos, que se estendem por áreas de relevo aplainado, com textura homogênea ao longo do perfil e coloração que varia do vermelho escuro ao amarelado (REATTO; MARTINS, 2005). Segundo Jacomine (2009) os Latossolos “são virtualmente desprovidos de minerais primários ou secundários menos

resistentes ao intemperismo, e tem capacidade de troca de cátions da fração argila, inferior a 17cmol/kg de argila sem correção para carbono”. Portanto, eles podem ser distróficos, àqueles bastante ácidos de média ou baixa fertilidade, condição que predomina no Cerrado, ou eutróficos, solos férteis, com elevada saturação por bases. A predominância de Latossolo Vermelhos, em Superfície de Aplainamento, na maior parte da região da BHRU, indica condições favoráveis ao desenvolvimento da agropecuária.

É importante salientar que os Argissolos ocupam 32,2% da área da bacia, ocorrendo o Argissolo Vermelho, em 5,6% de área, no Centro, Norte e no Leste da bacia, e o Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupa 26,6% ao Sul, Sudeste, Sudoeste, Oeste e Noroeste da bacia hidrográfica. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (BRASIL, 2018), a classe dos Argissolos se diferencia pela presença de argila no horizonte B textural, possuem profundidade, cores e drenagem variável e podem ser distróficos ou eutróficos.

Ademais, ocupando uma área de 7,7% da bacia, identifica-se, ao norte e na região central da bacia, a ocorrência de Cambissolos Háplicos, classe que, segundo Brasil (2018), caracteriza-se por serem pouco desenvolvidos e por apresentarem horizonte B incipiente. Na BHRU, os Cambissolos Háplicos coincidem com a ocorrência de Morros e Colinas, situação que confirma a afirmação de Reatto et al. (2008), que os associam aos relevos mais movimentados.

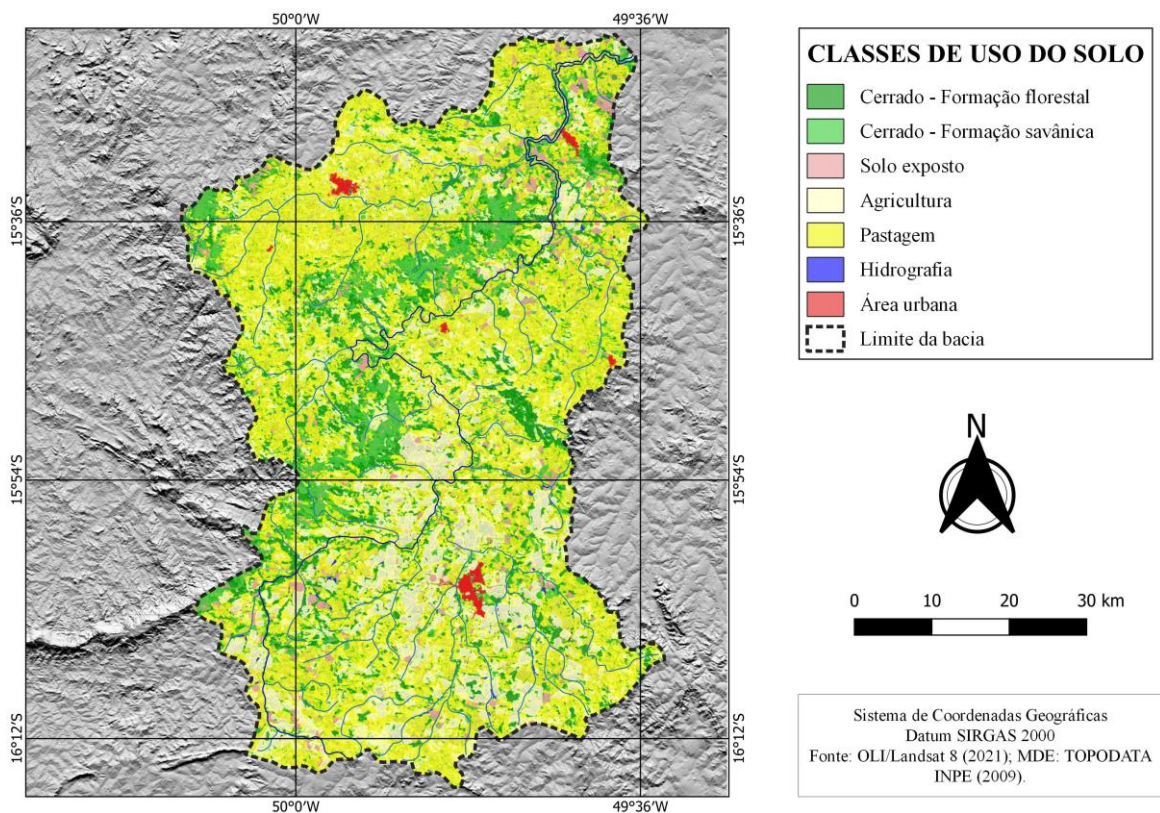
Já na região central da BHRU, identifica-se uma faixa, no sentido W-NO recoberta por Neossolo Litólico que, de acordo com os dados, ocupa 2,7% da área da bacia. De acordo com Brasil (2018), os Neossolos Litólicos são distróficos, associados a afloramento de rochas, possuem pouca espessura e apresentam ausência de horizonte B. Estabelecendo relação entre a localização geográfica da ocorrência dos Neossolos Litólicos e o mapa de unidades geomorfológicas, é possível notar que a classe de solos ocupa superfície de topografia movimentada.

3.6 Caracterização do uso e cobertura do solo da BHRU

Em relação a estudos desenvolvidos sobre bacias hidrográficas, mapear o uso e cobertura do solo é fundamental, uma vez que expressa parte do conjunto de atividades de uma sociedade, sendo a expressão espacial da reprodução social (SCHLINDWEIN et al., 2007). Nesse sentido, o mapeamento das classes de uso do solo da BHRU, realizado neste trabalho a

partir de imagens orbitais, permitiu a identificação de resultados muito precisos e atualizados, revelando uma região intensamente antropizada, situação que resulta dos processos de expansão das atividades do agronegócio. A Figura 11 - Mapa das classes de uso e cobertura do solo na BHRU. e a Tabela 9 apresentam as classes de uso e ocupação do solo e sua distribuição espacial na área da BHRU.

Figura 11 - Mapa das classes de uso e cobertura do solo na BHRU.



Fonte dos dados: OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

Tabela 11 - Dados das formas de uso e ocupação dos solos da BHRU.

Classe de Uso e Ocupação do Solo	Área (km²)	Área (%)
Cerrado - formação florestal	473,68	12,24%
Cerrado - Formação savânica	575,83	14,90%
Solo exposto	260,44	6,73%
Agricultura	1.048,38	27,10%
Pastagem	1.471,10	38,02%
Hidrografia	9,29	0,20%
Área Urbana	30,19	0,80%
Total	3868,91	100%

Fonte dos dados: OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

A análise dos dados apontaram a ocorrência de sete classes de uso e ocupação do solo: Cerrado, nas formas florestal e savânica, solo exposto, agricultura, pastagem, hidrografia e área urbana, predominando na paisagem as pastagens plantadas (38%) e as atividades agrícolas (27,1%).

Dentre as formações florestais de Cerrado, definidas por Ribeiro e Walter (2008) como sendo aquelas compostas predominantemente de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo, na bacia, são identificadas as fitofisionomias Matas Ciliares e de Galeria, que compreendem fitofisionomias associadas a cursos de água, e Mata Seca e Cerradão, que são formações que ocorrem nos interflúvios, sobre solos profundos, sem associação a cursos de água (EITEN, 1977; RIBEIRO; WALTER, 2008).

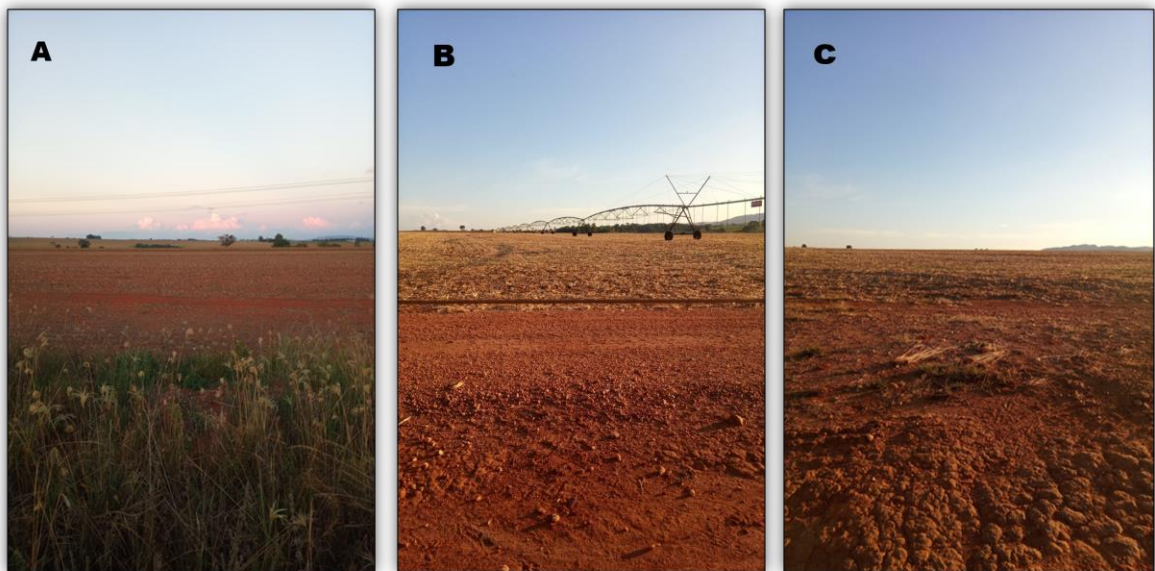
As formações savânicas, que ocorrem na bacia, compreendem as tipologias do Cerrado Sentido Restrito que, segundo Ribeiro e Walter (2008), caracterizam-se pela presença dos estratos arbóreos e arbustivo-herbáceo definidos, com árvores baixas, com troncos tortos, de ocorrência espaçada, sem dossel contínuo, variando entre Cerrado Típico, Denso e Ralo, que se diferenciam, sobretudo, pela densidade arbóreo-arbustiva. Assim, o Cerrado Denso, com predominância arbórea e com cobertura de 50 a 70%, representa a forma mais densa e alta de Cerrado Sentido Restrito, o Cerrado Típico, predominantemente arbóreo-arbustivo, apresenta cobertura arbórea entre 20 e 50%, já o Cerrado Ralo apresenta cobertura arbórea de 5 a 20%, com estaturas que não ultrapassam 3 m (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Em relação as áreas ocupadas pelas fitofisionomias originais da região, observa-se que os percentuais ocupados por essas formações vegetais são reduzidos, restando apenas 12,24% de Cerrado, na sua forma florestal, e apenas 14,9% de Cerrado-formação savânica. Destaca-se que das formas florestais restam apenas manchas em meio as pastagens, lavouras e corredores ao longo dos cursos d'água e de estradas, testemunhas das formas originais pretéritas. As formas savânicas também se apresentam como manchas, mas, nesse caso, são predominantes sobre feições de relevo de maiores índices clinográficos, inadequados para cultivos ou pastagens.

Os solos expostos, que correspondem a 6,73% da área da BHRU, compreendem áreas descobertas identificadas em áreas de cultivo agrícola, sobretudo em razão da data de coleta das imagens, que coincidiu com período de finalização das colheitas e início de período seco na

região, conforme pode ser observado na Figura 12. Esta classe também compreende áreas de pastagens degradadas.

Figura 12 – Registro fotográfico da classe solo exposto identificado na BHRU.



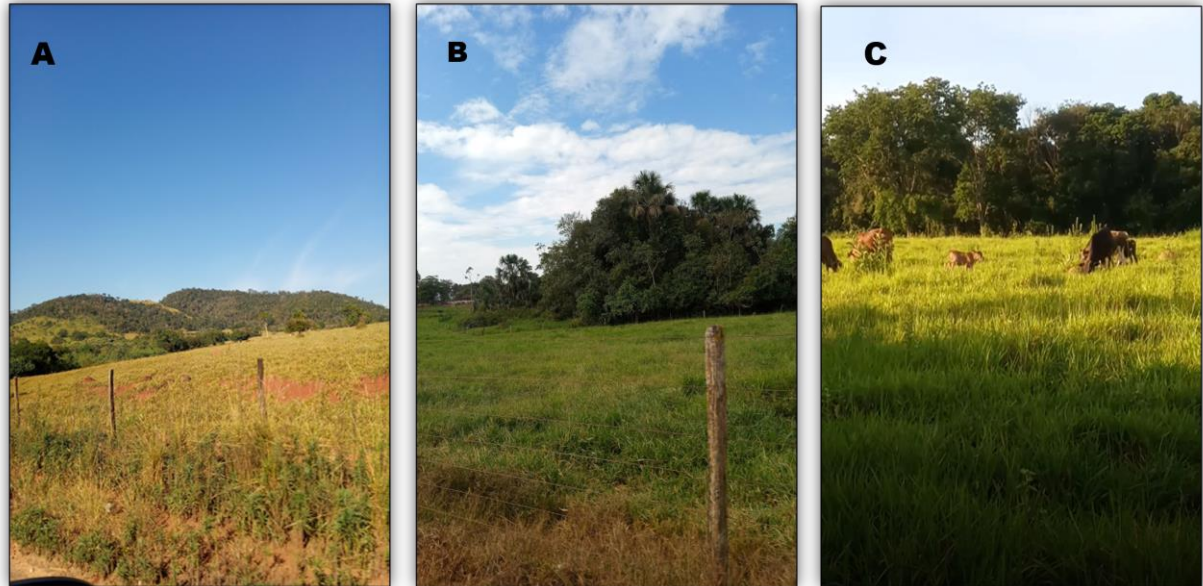
Solo exposto: A – solo exposto após colheita; B – solo exposto em pivô central; C – área de cultivo exposta.

Fonte: Herculano, 2021.

Toda a análise e interpretação dos dados evidenciam a predominância de áreas ocupadas pela agropecuária, e isso se justifica pela ocorrência de extensas áreas de Superfície Regional de Aplainamento e predominância de Latossolos, que produzem condições favoráveis para que a região apresente grande potencial agropecuário. Para detalhar a análise, é importante destacar que, conforme pode ser observado no mapa da Figura 11, as áreas de pastagens se estendem por toda a área da BHRU, abrangendo, inclusive, regiões de feições mais elevadas de Morros e Colinas e, por sua vez, predomina nas regiões centro-sul, estendendo-se também a nordeste da bacia hidrográfica, em razão das condições favoráveis das feições geomorfológicas.

Para complementar e corroborar os dados obtidos, as observações em campo evidenciaram que a pecuária (Figura 13) é uma atividade econômica predominante na bacia hidrográfica, praticada em propriedades de variados portes, tanto nas suas formas intensiva e extensiva, no caso da pecuária de bovinos para produção de carne e leite, que utilizam extensas áreas de pastagens plantadas. Destaca-se também, nesse campo de atividade, a avicultura, como descrito e analisado no subtítulo 3.2 desta dissertação.

Figura 13 - Áreas de pastagens na BHRU.



Área de pastagem: A e C- pastagem em morros e colinas; B – pastagem próxima à vereda.

Fonte: Herculano, 2021.

Diante disso, observa-se que as pastagens plantadas são formadas por espécies exóticas. As mais comuns, cultivadas na região, são o capim *Brachiaria* e o campim Mombaça. Conforme Braz et al. (2007):

O capim *Brachiaria brizantha*, cv. *Marandu* é uma forrageira perene de origem africana, de ampla adaptação climática, boa tolerância ao sombreamento, grande produtora de massa verde, de bom valor nutritivo e boa aceitação por bovinos. A forrageira *Panicum maximum* cv. Mombaça, também de origem africana, perene, de crescimento cespitoso, possui 12% a 16% de proteína bruta na matéria seca e é utilizado para pastoreio ou silagem (BRAZ et al., 2007).

Logo, na região estudada, predomina a *Brachiaria*, que ocupa maiores quantitativos de áreas cultivadas, uma vez que é utilizada como base alimentar para a prática da pecuária extensiva. O capim Mombaça pode ser encontrado, em menores quantitativos de áreas, em pequenas propriedades produtoras de leite.

Na BHRU, a prática agrícola se subdivide em culturas temporárias e culturas permanentes, sendo a primeira predominante na região. Segundo IBGE (2013), as culturas temporárias caracterizam-se pelo cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano. Dentre as culturas temporárias destacam-se: soja, milho,

sorgo, cana de açúcar, melancia. As culturas permanentes caracterizam-se pelo cultivo de plantas perenes, isto é, de ciclo vegetativo de longa duração como a banana, o café e a laranja.

Ainda sobre a agricultura, identifica-se a predominância da prática intensiva mecanizada que, de acordo com Araújo et al. (2010), é um sistema produtivo do agronegócio, orientado pelo mercado e que executa técnicas agrícolas modernas tais como: sementes melhoradas, máquinas agrícolas, combustíveis fósseis, fertilizantes, agrotóxicos etc., ocupando grandes extensões de terra para priorizar as práticas da monocultura e impactando de forma mais intensa os sistemas naturais, elucidando as condições ambientais atuais da região da BHRU.

A agricultura irrigada é praticada em períodos secos, com a implementação da tecnologia de pivôs centrais, que foi identificada através do mapeamento, em toda a extensão mais aplainada e de práticas agrícolas da BHRU. Em geral, associado à instalação dos pivôs centrais, são construídas barragens para represamento de água, mas é comum também a captação diretamente nos córregos, no rio principal da bacia hidrográfica, o Rio Uru, e, ainda, de águas subterrâneas. Um aspecto que se destaca na imagem da Figura 14, além da comprovação da existência de lavouras irrigadas, é o contraste entre a vegetação seca e o verde da lavoura, dada as condições climáticas do período seca na qual a imagem foi registrada.

Figura 14 – Agricultura de irrigação na BHRU

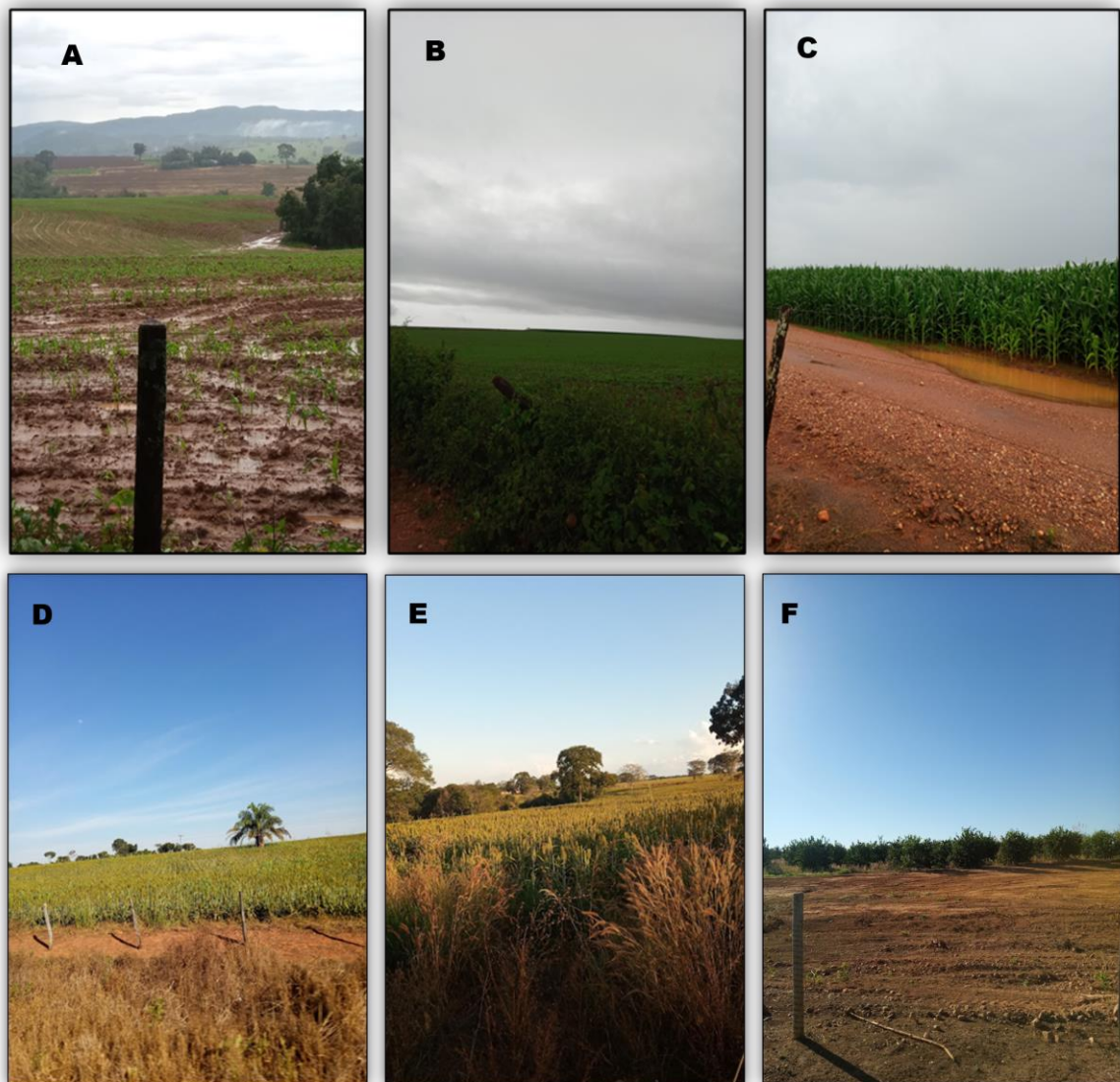


Agricultura irrigada: Lavoura de feijão irrigado em pivô central.

Fonte: Herculano, 2021.

É importante considerar que, em períodos úmidos, a agricultura se estende por áreas que não são aptas para instalação de pivôs centrais, conforme pode ser visto nas imagens da Figura 15 e 16. Nesse caso, é prática comum a rotação de culturas que, em geral, após o plantio e colheita da soja, são plantadas, como segunda safra, o milho ou sorgo para a produção de grãos e silagem.

Figura 15 - Áreas agrícolas na BHRU



Agricultura: A, B e C – Lavouras de milho em diferentes estágios; D e E - Lavoura de sorgo; F – lavoura de laranja.

Fonte: Herculano, 2021.

Figura 16 - Áreas de cultivo de soja na BHRU.

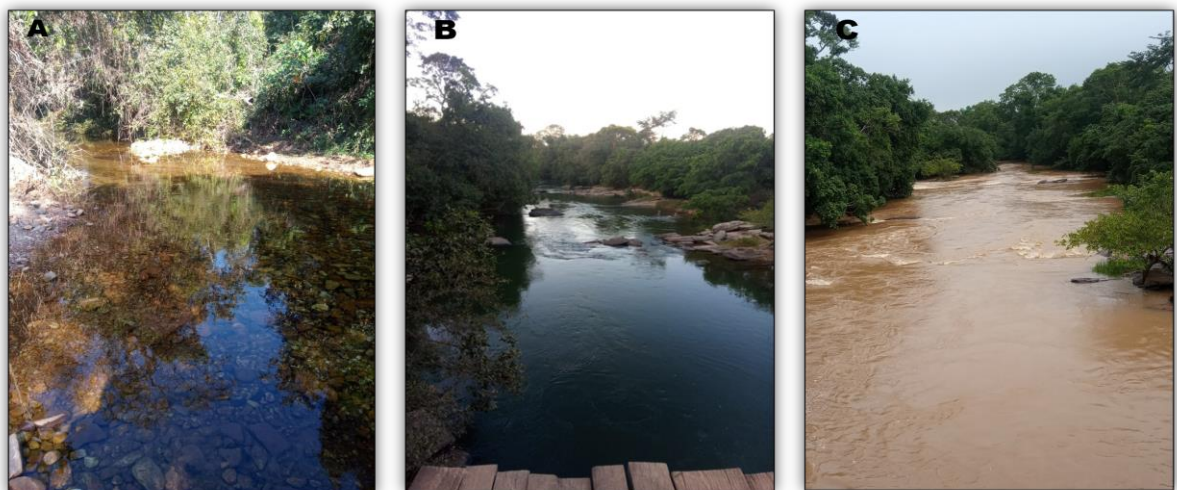


Agricultura: A – Lavoura de soja em região aplainada; B – Lavoura de soja em região de Morros e Colinas.

Fonte: Herculano, 2021.

É importante mencionar que a hidrografia compreende 9,29 Km² e se destaca com a ocorrência de cursos d'água de significativo volume de vazão, como o rio principal da bacia, o rio Uru (Figura 17) e seus principais tributários: Rio das Pedras, José Manoel, Córrego Frio, Noronha, Brumado, Rio Bugre, Rio Cabrinha, Palmital. A classe correspondente a estes, massas d'água, está distribuída por toda a bacia, sendo que aquelas com maiores volumes se localizam próximas às áreas de ocorrência da agricultura, uma vez que estas possuem barragens e têm, como objetivo principal, a irrigação desenvolvida em pivôs centrais que ocorrem em grande quantidade na bacia.

Figura 17 - Hidrografia da BHRU.



Hidrografia: A – Ribeirão Brumado, afluente do Rio Uru; B – Rio Uru ponte Contendas período seco; C – Rio Uru ponte Contendas período chuvoso.

Fonte: Herculano, 2021.

Compreende-se que as áreas urbanas são as sedes dos municípios de Itaberaí, Itaguaru, Heitorai, Guaraíta, Itapuranga e Uruana e abrangem a extensão de 30,19 Km² de áreas ocupadas.

3.7 Avaliação de acurácia da classificação do uso e cobertura do solo da BHRU

O mapeamento de uso e cobertura do solo desenvolvido apresenta diversas vantagens, como a eficiência técnica, a redução de custos e de tempo. Mas, para que tenha confiabilidade e possa ser utilizado adequadamente, exige-se que seja submetido à verificação da acurácia do mapeamento resultante. A acurácia foi desenvolvida como última etapa do processo de classificação digital de imagens, uma vez que consiste numa técnica multivariada discreta de validação dos resultados e é expressa em índices calculados a partir de matrizes de erros/confusão que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência, onde se compara cada uma das classes aos dados de referência e ao resultado da classificação (CÂNDIDO; SILVA; FILHO, 2015; NERY et al., 2013; MENESES; SANO, 2012).

Diante da necessidade de se verificar a exatidão da classificação do uso e cobertura do solo na BHRU, identificou-se a partir do processo de acurácia a matriz de erros (Tabela 12). A verificação da acurácia através da matriz de erros, da classificação de uso e cobertura do solo da BHRU permitiu identificar para cada classe um Coeficiente Kappa e posteriormente o Kappa Global do processo de classificação supervisionada.

Tabela 12 - Matriz de erros referente à classificação de uso e cobertura do solo na BHRU.

CLASSES	1	2	3	4	5	6	Total
1 - Cerrado formação florestal	9710	955	42	0	6	321	11034
2 - Cerrado formação savânica	751	6702	1265	1	0	286	9005
3 - Solo exposto e área urbana	29	1649	9965	4	0	57	11704
4 - Hidrografia	0	0	0	1066	0	0	1066
5 - Agricultura	154	1	0	0	14334	2492	16981
6 - Pastagem	351	56	122	0	1038	14410	15977
Total	10995	9363	11394	1071	15378	17566	65767
Kappa das classes	0,86	0,72	0,85	1,0	0,83	0,86	

Fonte dos dados: OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

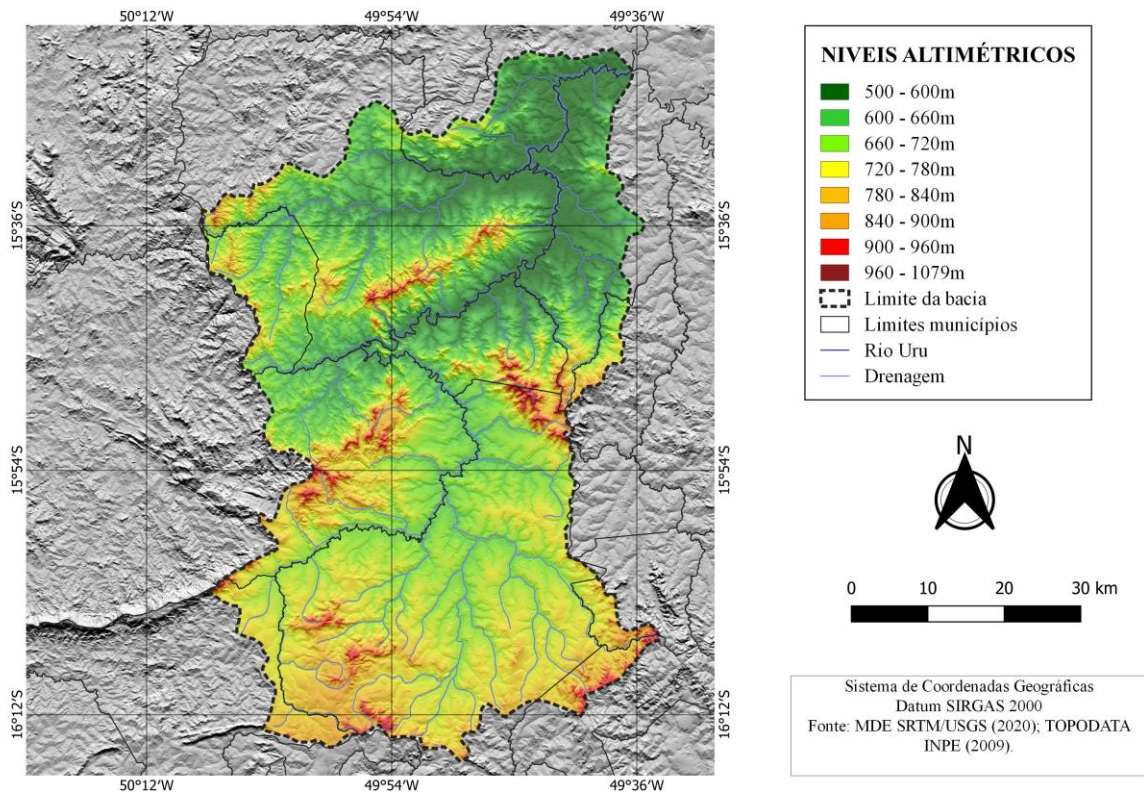
Observa-se que as classes de vegetação, solo exposto/urbanização, agricultura e pastagem estão situadas entre 0,6 e 0,8, que definem a concordância como muito boa, embora seja possível notar alguma confusão significativa entre o Cerrado - formação savânica e solo exposto, em razão da semelhança espectral, entre essas classes, existente na imagem. Ainda, em relação aos solos expostos, verifica-se que as áreas urbanas foram agregadas nessa classe, em razão da impossibilidade do classificador em distingui-las e considerando que a não distinção não implicará em prejuízos ao objetivo final do trabalho. Além disso, um aspecto de destaque é a hidrografia, que apresenta concordância excelente. É importante afirmar que os dados de erros e acertos obtidos foram aplicadas as equações 1, descrita no tópico 2.2.6, desta dissertação, para identificação da Acurácia Global, e 2, também descrita no tópico 2.2.6, para a identificação do Coeficiente Kappa Global, onde obteve-se os resultados: 85,43% de Acurácia e 0,81 de Coeficiente Kappa Global, o que permite concluir que a classificação apresentou resultados de concordância muito bons.

3.8 Caracterização hipsométrica e Clinográfica da BHRU

Os aspectos hipsométricos de uma bacia hidrográfica são importantes indicadores da direção dos fluxos superficiais, da estruturação dos sistemas de drenagem, da definição de compartimentos, de dissecação/deposição, bem como da identificação de subsistemas ou sub-bacias. A caracterização hipsométrica da BHRU apresentada, no mapa da Figura 18 e nos dados da Tabela 11, indica elevações que variam de 500m a 1104m, com média de 724m e amplitude de 604m.

Ademais, os dados de altimetria da BHRU revelam a predominância de altitudes entre 600 e 780m. Há ocorrências pontuais de altitudes acima de 900m, mas, neste caso, as maiores elevações estão relacionadas aos divisores de água da bacia, e, também, com feições geomórficas existentes em suas áreas centrais, onde ocorrem relevos de Morros e Colinas. As altitudes mais baixas, entre 500 e 600m ocorrem, no baixo curso e nas proximidades da desembocadura do Rio Uru.

Figura 18 - Mapa hipsométrico da BHRU.



Fonte dos dados: Imagens SRTM, 2020. Organização: Herculano, 2021.

Tabela 13 - Dados Altimétricos da BHRU.

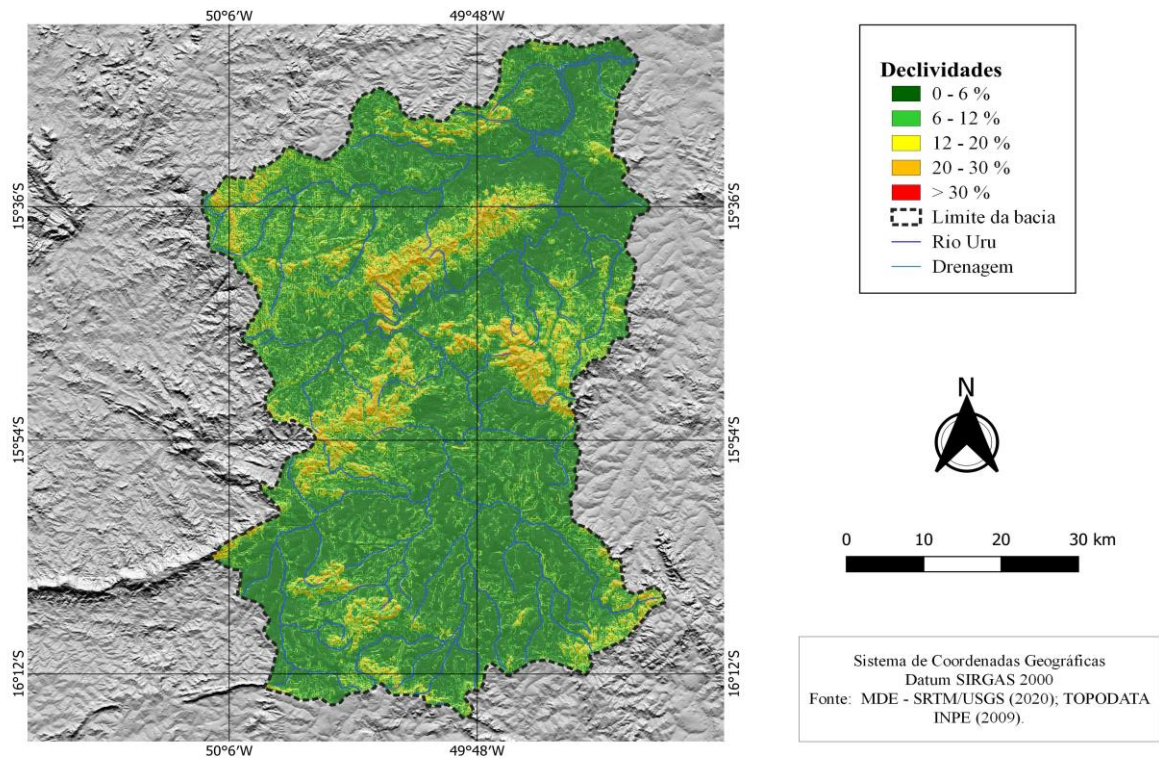
Hipsometria (m)	Área (km ²)	Área (%)
500 - 600m	253,76	7%
600 - 660m	767,43	20%
660 - 720m	847,25	22%
720 - 780m	1059,62	27%
780 - 840m	589,24	15%
840 - 900m	234,81	6%
900 - 960m	84,18	2%
960 - 1104m	32,62	1%
Total	3868,91	100%

Fonte dos dados: Imagens SRTM, 2021. Organização: Herculano, 2021.

A declividade constitui uma importante variável quando se pretende avaliar a fragilidade ambiental, pois pode determinar níveis potenciais de processos erosivos em maiores ou menores proporções, a depender dos níveis de inclinação do relevo, uma vez que estes

relacionam-se diretamente com a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais (ROSA et al., 2017; FLORENZANO, 2008). Na Figura 19 estão espacializadas as declividades da BHRU. Já a Tabela 12 apresenta as classes de declividades e as respectivas áreas ocupadas na bacia hidrográfica.

Figura 19 - Mapa de declividades da BHRU.



Fonte dos dados: Imagens SRTM, (2020). Organização: Herculano, 2021.

Tabela 14 - Dados de declividade e elevação da BHRU.

Declividades (%)	Área (km ²)	Área (%)
0 - 6%	1.846,59	48%
6 - 12%	1.161,17	30%
12 - 20%	527,42	14%
20 - 30%	208,12	5%
> 30%	125,61	3%
Total	3868,91	100%

Fonte dos dados: Imagens SRTM, 2021. Organização: Herculano, 2021.

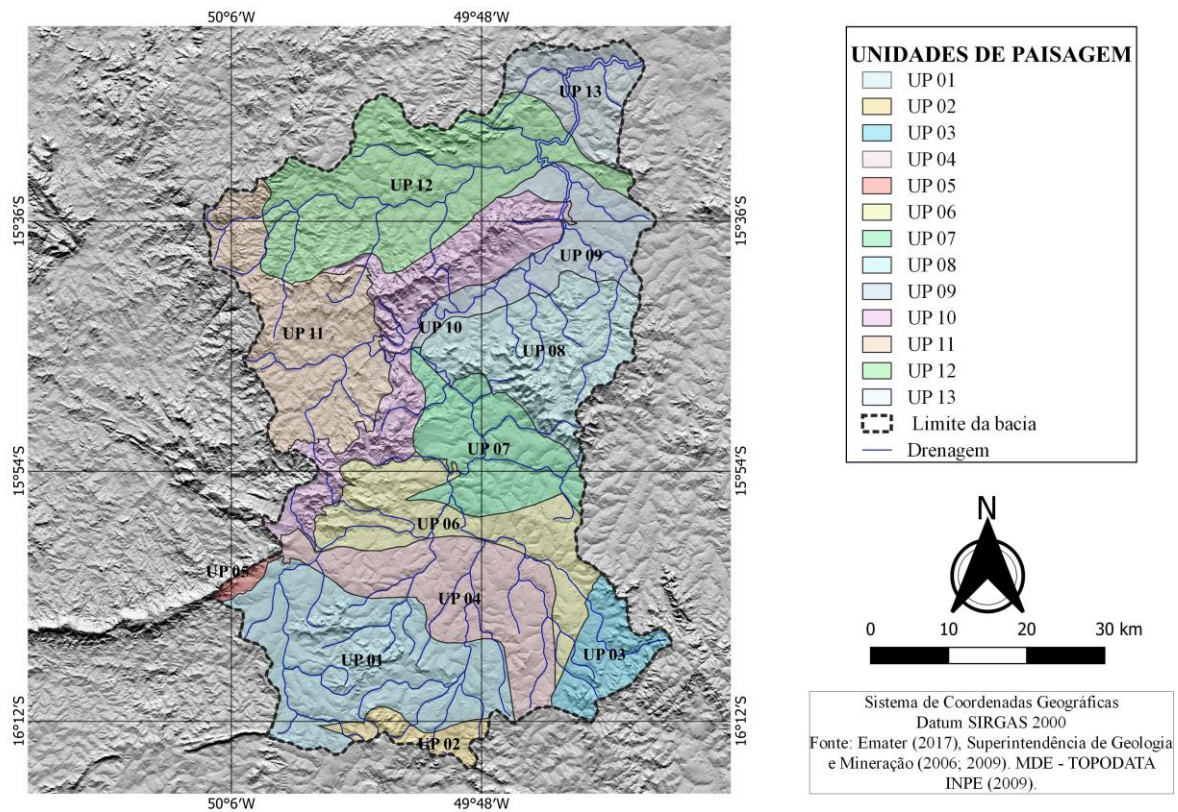
Observa-se que predominam as declividades entre 0 a 12%, ou seja, trata-se de uma

região predominantemente aplainada. Mas, em toda a extensão da bacia, há a ocorrência de classes de declividades entre 12% e 30%, coincidindo com as regiões de Morros e Colinas, que ainda apresentam ocorrências pontuais de declividades acima de 30%, as quais demandam atenção quanto à gestão das formas de uso e ocupação do solo, tendo em vista que elevadas declividades caracterizam maiores níveis de vulnerabilidade.

3.9 Caracterização das Unidades de Paisagem da BHRU

Considerando as bases teóricas e cartográficas, a Bacia Hidrográfica do Rio Uru foi compartimentada em Unidades de Paisagem, conforme apresentado no mapa de Unidades de Paisagem da Figura 20 e na Tabela 13.

Figura 20 – Unidades de Paisagem na BHRU.



Fonte dos dados: Emater - GO (2017), Superintendência de Geologia e Mineração (2006; 2009).
Organização: Herculano, 2021.

Tabela 15 - Áreas, composição geoambiental e antrópica das Unidades de Paisagem da BHRU.

UPs	Área (km ²)	Área (%)	Geologia	Geomorfologia	Solos	Uso e cobertura do solo
UP 01	536,55	13,9%	SMUAB; CDLF; SMAI; SGTA	SRA IIIA e MC	PVA	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, agricultura e pastagem
UP 02	64,61	1,7%	CGAI; SASB; SJ	SRA IIIA e MC	PVA	Cerrado - formação florestal, agricultura e pastagem.
UP 03	134,77	3,5%	CGSSII; CGAI; SJ; SGRP; SASB	ZER-SRA IIIA	PVA	Cerrado - formação florestal e savânica, agricultura e pastagem.
UP 04	362,47	9,4%	CU; CDLF; DA	SRA IIIA	LV	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, área urbana, agricultura e pastagem.
UP 05	17,08	0,4%	GSD; GSM; GPC	<i>Hogback</i>	CX, LV	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto.
UP 06	315,59	8,2%	SASB; CDLF; SJ; SMAI	MC e SRA IIIA	LV, PVA	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, agricultura e pastagem.
UP 07	278,79	7,2%	SJ; SGTA; CDLF	SRA IIIA	LV	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, agricultura e pastagem.
UP 08	353,49	9,1%	CGSSII; CGAI; SJ	MC	PV, CX	Cerrado - formação florestal e savânica, área urbana, agricultura e pastagem.
UP 09	233,32	6,0%	SJ; CDLF; DA	SRA IIIA	LV	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, agricultura e pastagem.
UP 10	371,85	9,6%	GGU; GSD; SGTA	MC	PVA, RL, CX	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto e pastagem.

UP 11	425,56	11,0%	CC; GSM; RMM	SRA IIIA e MC	PVA, LV	Cerrado - formação florestal e savânica, agricultura e pastagem.
UP 12	599,15	15,5%	CGSSII; GSM; SMRP	SRA IIIA e MC	LV, PVA	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, área urbana, agricultura e pastagem.
UP 13	175,69	4,5%	GA; SJ; SMJ	SRA IIIA e MC	LV, PV, CX	Cerrado - formação florestal e savânica, solo exposto, área urbana, agricultura e pastagem.
TOTAL	3868,91	100%				

Fonte dos dados: Superintendência de Geologia e Mineração de Goiás (2006; 2009), Emater-Goiás (2017) e Imagens OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

Os resultados possibilitam uma observação detalhadas de cada uma das UPs da BHRU e indicam uma relação dinâmica e dialética existente entre as características geológicas, geomorfologias e pedológicas e as atividades antrópicas. Assim, observa-se que, nas UPs localizadas em áreas de Superfície Regional de Aplainamentos e Latossolos Vermelhos, ocorre manchas de formações florestais, savânicas e predominância de atividades agrícolas e pastagens. Já, nas regiões de Morros e Colinas, predominam as formações savânicas, sobretudo em áreas de ocorrência de cambissolos e neossolos, e pastagens. Todas as UPs apresentam elevado grau de antropização, com exceção das UPs 5 e 10 onde as características geomorfológicas e de declividade favorecem a permanência do Cerrado na forma savânica. A

Tabela 16 apresenta os valores de declividade e elevação para cada Unidade de Paisagem (UP) da BHRU.

Tabela 16 - Dados de declividade e elevação das UPs da BHRU.

Unidades de paisagem	DECLIVIDADES			ELEVAÇÃO		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
UP 01	0%	7,82%	71%	706m	799m	1021m
UP 02	0%	11,44%	80%	755m	855m	1010m
UP 03	0%	11,07%	84%	727m	834m	1057m
UP 04	0%	6,11%	48%	675m	750m	910 m
UP 05	0,01%	14,92%	117%	738m	835m	1052m
UP 06	0%	7,58%	81,6%	662m	749m	943m
UP 07	0%	6,57%	61%	628m	709m	834 m
UP 08	0%	0,14	90%	596m	737m	1081m

UP 09	0%	4,91%	40%	564m	610m	730 m
UP 10	0,30%	17,86%	101%	571m	758m	1044m
UP 11	0%	10,60%	63,5%	615m	712m	936 m
UP 12	0%	8,18%	83%	555m	653m	847 m
UP 13	0%	6,83%	51%	539m	602m	791 m

Fonte dos dados: Imagens SRTM, 2020. Organização: Herculano, 2021.

Destaca-se que nas UP 02, 03, 05, 10 e 11, regiões de Morros e Colinas, as declividades médias são superiores a 10%, sendo que, nas três primeiras citadas, as altitudes médias são superiores a 800m e, nas duas últimas acima, de 700m. Já, nas demais Unidades de Paisagem, localizadas em Superfície Regional de Aplainamento IIIA, as declividades médias variam entre 4,91% e 8,18%, sendo as altitudes médias entre 602m e 799m.

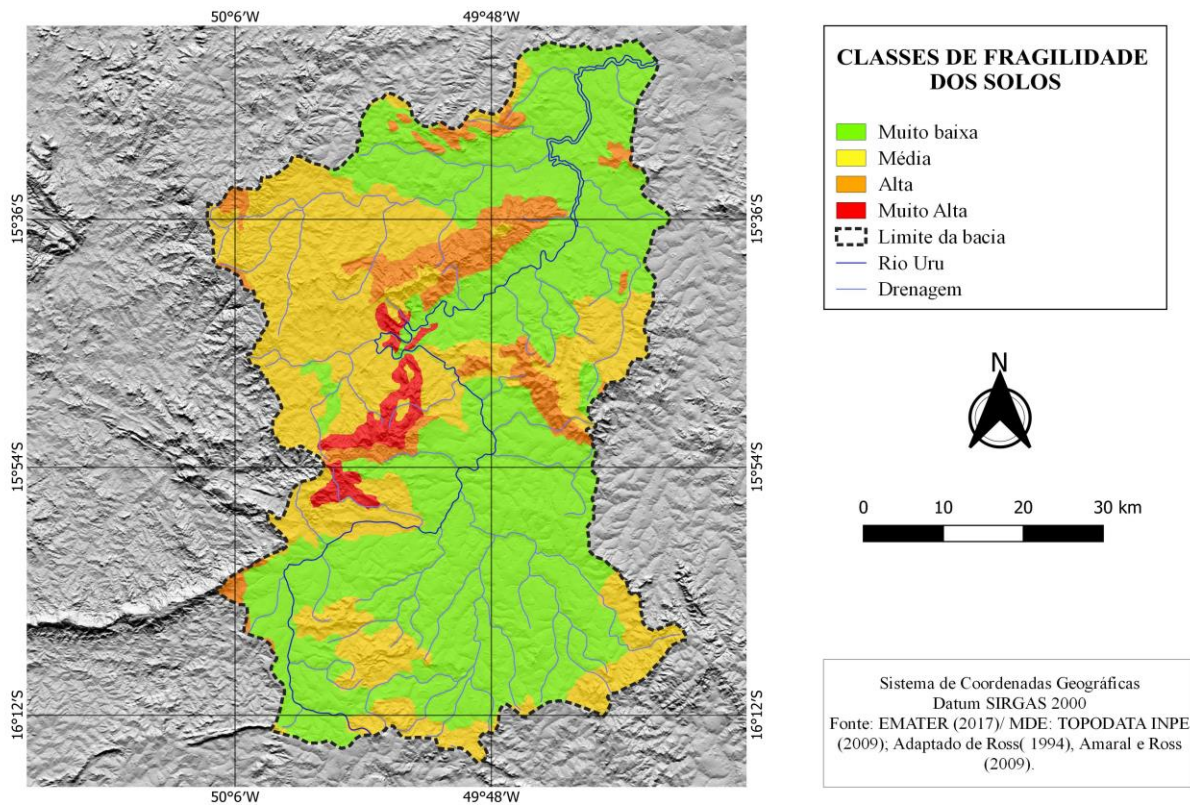
4 A FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BHRU

4.1 Caraterização e análise da fragilidade pedológica na BHRU

No mapa da Figura 21 são apresentadas as classes de fragilidades dos solos da BHRU e na Tabela 17 a descrição de cada classe em relação ao tipo de solos, aspectos texturais e áreas de cada classe.

A partir do conceito de fragilidade, e entendendo que o mesmo se aplica aos variados elementos do meio físico, Ross (1994) classifica os níveis de fragilidade do solo, em relação ao escoamento das águas pluviais, em cinco classes hierárquicas. Fundamentado nessa classificação, foi possível identificarr que, na BHRU, ocorrem quatro classes de fragilidade: Muito baixa, Média, Alta e Muito Alta.

Figura 21 - Mapa das classes de fragilidades dos solos na BHRU.



Fonte dos dados: Ross (1994), Amaral e Ross (2009). EMATER (2017). Organização: Herculano, 2021.

Tabela 17 - Classes de fragilidade em relação aos tipos de solo na BHRU

Atributo	Classe de fragilidade	Grupo de solos	Área (km ²)	Área (%)
	Muito baixa			
1	baixa	Latossolo Vermelho - textura argilosa	2.222,91	57,45%
2	Baixa	-	-	-
		Argissolo Vermelho - textura média a argilosa	218,0	5,63%
3	Média	Argissolo Vermelho-Amarelo - textura média a argilosa	1029,0	26,59%
4	Alta	Cambissolo Háptico - textura média	296,0	7,65%
5	Muito Alta	Neossolo Litólico - textura média a arenosa	103,0	2,68%
Total			3.868,91	100%

Fonte dos dados: Ross (1994), Amaral e Ross (2009). EMATER (2017). Organização: Herculano, 2021.

Os dados possibilitam a observação de que a classe de fragilidade Muito Baixa e Média são as de maiores ocorrências, ocupando aproximadamente 57% e 32,2%. As classes Alta e Muito alta, que requerem maior atenção, em relação às formas de manejo, compreendem cerca de 10,3%. Observa-se que a classe de fragilidade Muito Baixa está associada a ocorrência de Latossolos, a Média aos Argissolos e a Alta e Muito Alta aos Cambissolos e Neossolos Litólicos, respectivamente.

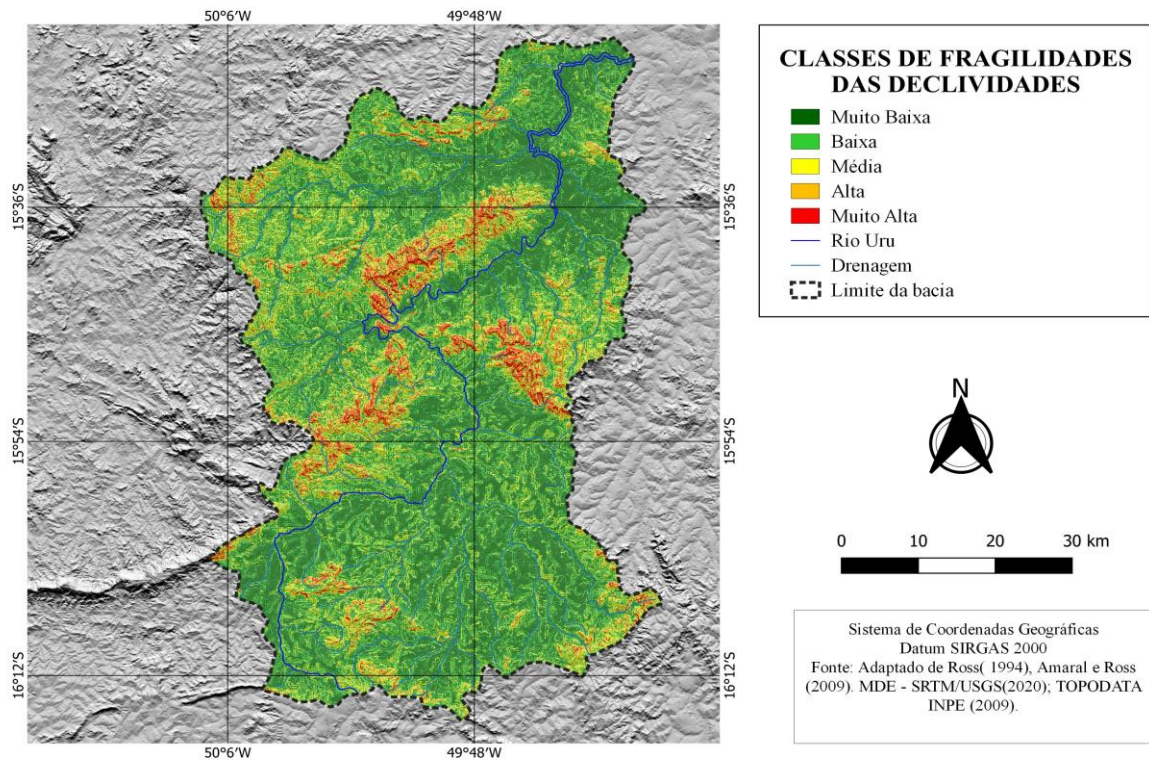
Destaca-se que, em relação aos tipos de solo com ocorrência na BHRU, os Latossolos, seguidos pelos Argissolos, são predominantes e neste caso, os Latossolos apresentam Muito Baixa fragilidade e os Argissolos apresentam fragilidade Média, o que justificam os dados identificados. As áreas de maiores fragilidades em regiões de Cambissolos e Neossolos Litólicos caracterizam-se como áreas de fragilidade potencial. Em ambos os casos, a condição das áreas pode avançar para o estado de fragilidade emergente, a depender das formas de manejo do solo.

4.2 Caracterização e análise da fragilidade das declividades na BHRU

Os percentuais de declividade são elementos importantes, na análise da fragilidade ambiental, pois quanto mais acentuados e sob intensa ação antrópica, mais a superfície se torna suscetível aos processos erosivos hídricos e mais riscos a escorregamentos e deslizamentos. Logo, por determinar a velocidade do escoamento (CRUZ; PINESE JUNIOR; RODRIGUES, 2010), podem provocar importantes perdas de solo e degradação dos recursos hídricos (IBGE,

2009). Além disso, as declividades também se constituem variável determinante para influenciar na indicação de áreas com aptidão agrícola (KAWAKUBO et al., 2005). No mapa da Figura 22 estão espacializadas as classes de fragilidade da BHRU em relação às declividades e, na Tabela 18, há descrição quantitativa das classes.

Figura 22 - Mapa das Classes de fragilidades da declividade na BHRU.



Fonte: Adaptado de Ross (1994), SRTM (2020). Organização: Herculano (2021).

Tabela 18 - Classes de fragilidades da declividade na BHRU.

Atributo	Classes de fragilidade	Declividades	Área (km ²)	Área (%)
1	Muito Baixa	0 - 6%	1686,06	43,6%
2	Baixa	6 - 12%	1252,58	32,4%
3	Média	12 - 20%	569,35	14,7%
4	Alta	20 - 30%	220,12	5,7%
5	Muito Alta	> 30%	140,80	3,6%
Total			3.868,91	100%

Fonte: Adaptado de Ross (1994), SRTM (2021). Organização: Herculano (2021).

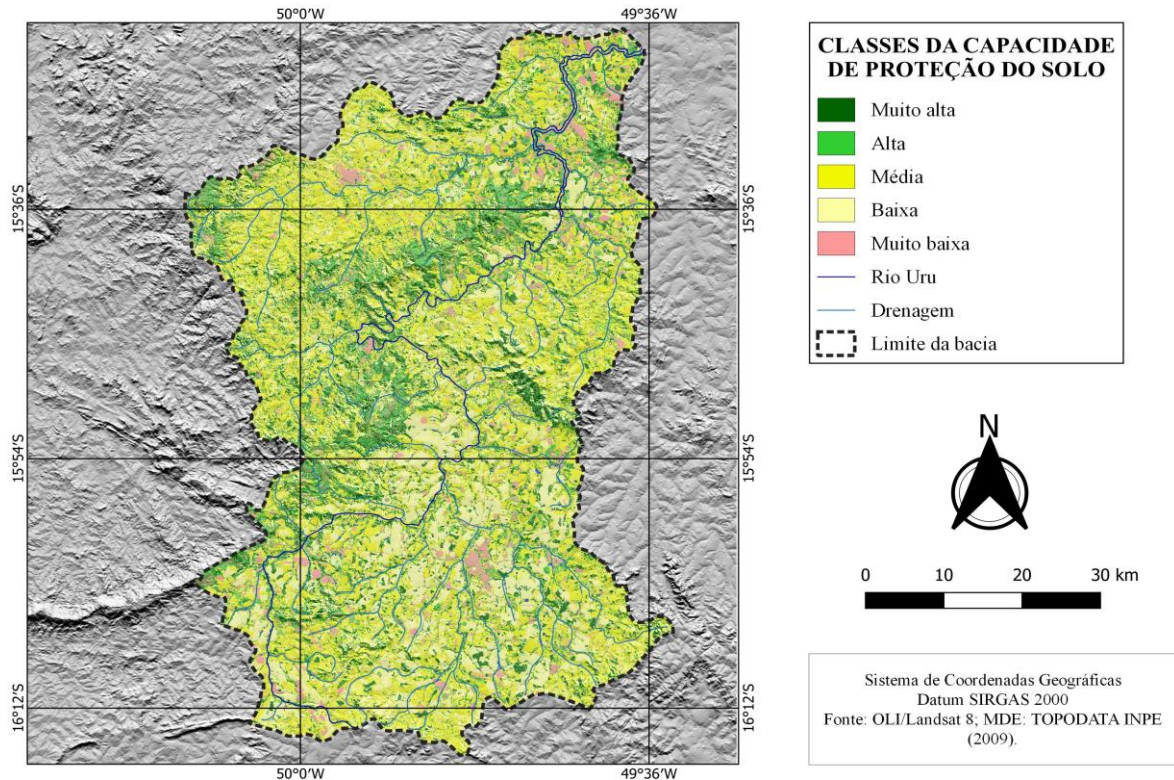
Observa-se, por meio dos dados, a predominância das classes de fragilidades Muito Baixa e Baixa, que, juntas, ocupam 76% da área da bacia hidrográfica e distribuem-se nas regiões de Superfície Regional de Aplainamento IIIA. Destaca-se, no entanto, que as classes de declividades Média, Alta e Muito Alta abrangem 24% da BHRU, em regiões de Morros e Colinas, e que, portanto, fundamentado nos conceitos de Ross (1994), caracterizam uma condição de Fragilidade Potencial, que oportunizam a Fragilidade Emergente.

4.3 Caracterização da capacidade de proteção em relação ao uso e cobertura do solo na BHRU

Os tipos de uso do solo e a cobertura vegetal caracterizam-se como variáveis importantes no processo de análise da fragilidade ambiental, pois determinam a fragilidade emergente de uma área. Esta variável indica o grau de proteção do solo e relevo frente às dinâmicas ambientais e processos humanos de uso e ocupação dos territórios (NAKASHIMA, 2001). Assim, áreas com coberturas naturais mais densas apresentam níveis maiores de proteção e áreas de atividades humanas intensivas, como agricultura e ocupação urbana, apresentam níveis muito baixos de proteção (CREPANI et al., 2001; KAWAKUBO et al., 2005), explicitando que os processos de degradação do ambiente têm origem na intensa ação antrópica.

A partir da identificação das classes de uso e ocupação do solo da BHRU, fundamentada na metodologia de Ross (1994), a qual define os graus de proteção de solo para cada classe, foi possível mapear as fragilidades ambientais em relação a esta variável. Os dados e informações apresentados, no mapa da Figura 23 e na Tabela 17, permitem evidenciar cinco classes de proteção do solo, sendo: Cerrado - formação florestal e hidrografia, que oferecem proteção Muito Alta; o Cerrado - formação savânica, com proteção Alta; pastagens, proteção Média; agricultura, proteção Baixa e áreas urbanas e solo exposto, proteção Muito Baixa.

Figura 23 - Mapa das classes da capacidade de proteção do uso e cobertura do solo na BHRU.



Fonte dos dados: Ross (1994), Amaral e Ross (2009). OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Tabela 19 - Classes de fragilidades em relação aos tipos de uso e cobertura do solo na BHRU

Atributo	Grau de proteção do solo	Classe de ocupação	Área (km ²)	Área (%)
1	Muito alta	Cerrado - formação Florestal/hidrografia	482,97	12,5%
2	Alta	Cerrado - Formação savânica	575,83	14,9%
3	Média	Pastagem	1.471,10	38,0%
4	Baixa	Agricultura	1.048,38	27,1%
5	Muito baixa	Solo exposto/área urbana	290,63	7,5%
Total			3868,91	100%

Fonte dos dados: Ross (1994), Amaral e Ross (2009). OLI/ Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Os dados relacionados aos tipos de uso do solo e cobertura vegetal na BHRU evidenciam a predominância de níveis médios e baixos de proteção do solo, uma vez que 65,28% da área da bacia hidrográfica é ocupada por pastagem e agricultura. Conforme Faria, Vecchiato e Salomão (2013) e Bertoni e Lombardi Neto (2014), os processos erosivos, em áreas de atividades agropecuárias, ocorrem em razão do uso do solo sem critérios técnicos

relacionados ao meio físico, como, por exemplo, práticas inadequadas de manejo do solo, associadas à ausência de medidas conservacionistas.

Observa-se que as formações vegetais de Cerrado, na forma florestal e a hidrografia oferecem grau de proteção muito alto e a formação savânica oferece alta proteção. As citadas classes juntas ocupam 27,40% da região. As formações vegetais florestais apresentam-se em formas de manchas, nas áreas aplainadas e as savânicas estão concentradas nos Morros e Colinas. Amaral e Ross (2009) afirmam que, nas áreas cobertas por matas naturais, o grau de proteção é muito alto e alto em razão da densidade da vegetação e presença de serrapilheira, que impedem que o solo seja atingido diretamente pelas águas pluviais, evitando a ação do salpicamento, além de dissipar a energia do escoamento superficial.

Os dados ainda mostram que as áreas urbanas e os solos expostos, que são resultado direto da ação antrópica, oferecem muito baixa proteção e abrangem 7,52% da área em questão. Conforme Ross e Amaral (2009), a ação antrópica, na busca pelo retorno econômico imediato sem previsão das consequências relacionadas às intervenções, induzem aos processos degenerativos.

Além disso, nas áreas urbanas, em função da impermeabilização do solo, tem-se a ruptura do processo hidrogeológico de absorção da água, com consequências na recarga do lençol freático e potencialização de enchentes e contaminação dos recursos hídricos. Nas áreas de solos expostos, há a potencialização de processos erosivos, também com redução de recarga no lençol freático e potencial, enchentes, assoreamento e contaminação dos recursos hídricos, além da aceleração do processo de lixiviação.

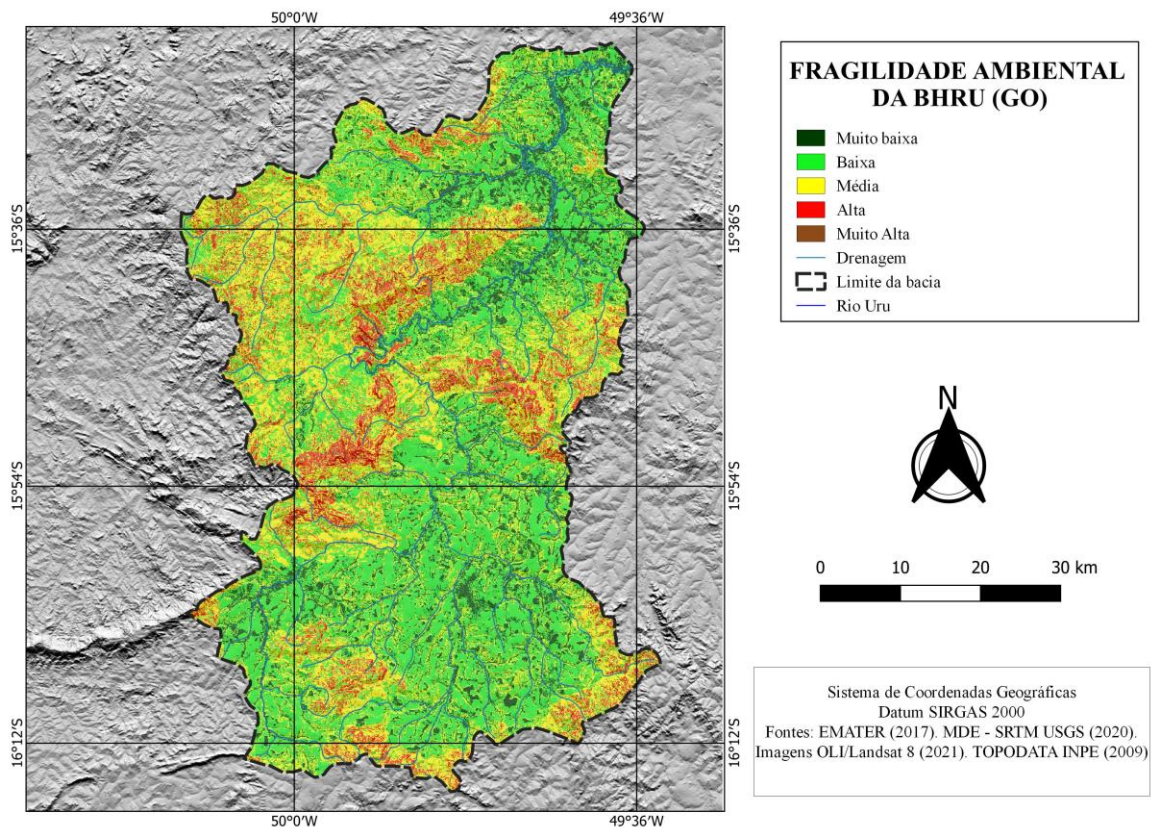
4.4 Caracterização das classes de fragilidades da BHRU.

O mapa da Figura 24 e a Tabela 20 apresentam as classes de fragilidades da BHRU e seus respectivos quantitativos de áreas, na região da bacia hidrográfica. Fundamentado em Ross (1994) afirma-se que a fragilidade é a vulnerabilidade natural do ambiente provocadas por suas condições genéticas, que pode ser amplificada em detrimento das interferências humanas no equilíbrio dinâmico. Completando a ideia, Crepani et al (2001), afirma que “a atuação do homem sobre o meio ambiente, sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes (...) pode levar a situações desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico”. A análise dos dados referentes a BHRU evidencia a ocorrência das

cinco classes de fragilidades que, descritas nas suas individualidades e sob a ótica da análise sistêmica, explicam as condições de fragilidade da bacia hidrográfica.

A identificação das classes se deu a partir da álgebra de mapas, onde correlações entre as variáveis foram estabelecidas, determinando o nível de fragilidade. Assim, regiões de solo vulneráveis, altas declividades e ausência de cobertura vegetal apresentaram altas fragilidades. Já em regiões de latossolos, relevo aplainado e vegetação florestal de cerrado as fragilidades tendem a serem menores.

Figura 24 - Mapa de fragilidade ambiental da BHRU.



Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

A partir das ideias de Crepani et al. (2001) justifica-se a escolha das variáveis solo, geomorfologia e uso e cobertura, visto que estes aspectos influenciam de maneira marcante os processos ecodinâmicos, e a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo.

Tabela 20 - Classes de fragilidade ambiental da BHRU e respectivas áreas.

Atributo	Classe de fragilidade	Área (km²)	Área (%)
1	Muito baixa	474,19	12,3%
2	Baixa	1606,68	41,5%
3	Média	1403,80	36,3%
4	Alta	363,01	9,4%
5	Muito Alta	21,23	0,5%
Total		3868,91	100%

Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

A análise permitiu identificar que a classe de fragilidade Muito Baixa abrange o percentual de 12,3% da BHRU e mostra-se particularizada pela ocorrência de manchas de áreas cobertas pelas formações florestais, em superfícies regionais de aplainamento e Latossolos, ou seja, em condições de cobertura vegetal de maior proteção, baixas declividades, solos mais desenvolvidos, planos e que limitam a ocorrência de processos de degradação dos recursos naturais.

Destaca-se, no entanto, que as condições apontadas são também propícias ao desenvolvimento de atividades agropecuárias, o que coloca essas áreas, já em quantidades muito reduzidas, em situação de vulnerabilidade, sobretudo por estarem ameaçadas pelo desmatamento, que visa a expansão das áreas agrícolas. Verifica-se que a prática do desmatamento é comum em períodos de preparação do solo para o plantio, em muitos casos por conta do objetivo de expansão das áreas das lavouras de grãos na região, conforme mostrado nas imagens da Figura 25, que puderam ser observadas no início da pesquisa com a vegetação preservada e a ocorrência do desmatamento ao longo do estudo.

Figura 25 - Desmatamento na BHRU.

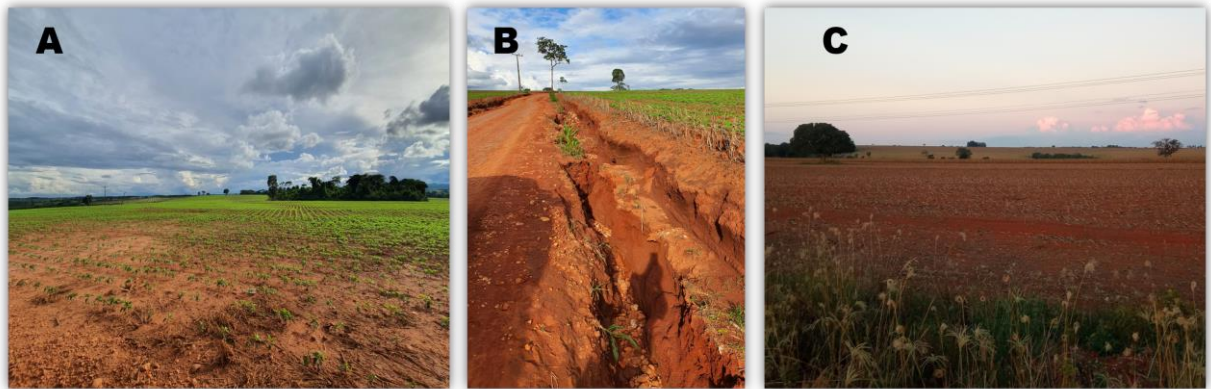


Desmatamento na BHRU: A – Área desmatada em mata ciliar para abertura de estrada; B – Desmatamento em borda de formação florestal; C – Mancha de formação florestal em processo de

desmatamento. Fonte: Herculano, 2021.

Observa-se que, na BHRU, ocorre a predominância das classes de fragilidade Baixa e Média, que, juntas, ocupam 77,8% da área da bacia hidrográfica. A classe de Baixa fragilidade se evidencia nas áreas ocupadas também por Latossolos, em superfícies de aplainamento, predominantemente ocupadas pelas atividades agrícolas e pastagens plantadas que, em razão das formas de uso e ocupação do solo, estão sujeitas a processos de degradação ambiental, como processos erosivos capazes de provocar a perda de solos, conforme Figura 26, assoreamento dos cursos d'água e contaminação por agrotóxicos e fertilizantes químicos sintéticos, além de estarem muito sujeitas ao desmatamento.

Figura 26 - Áreas de lavoura suscetíveis a processos erosivos e perda de solo na BHRU.



A – Área de lavoura temporária suscetível a perda de solo; B – Erosão identificada entre estrada e área de lavoura de soja; C - solo exposto suscetível aos processos erosivos. Fonte: Herculano, 2021.

É importante afirmar que as áreas de fragilidade Média se distribuem pelas regiões de Morros e Colinas e Zona de Erosão Recuante, constituídas pelos Argissolos e ocupadas predominantemente por pastagens. Isso revela a suscetibilidade aos processos de compactação pelo pisoteio de animais, conforme apresentado, na Figura 27, que dificulta a infiltração da água e favorecem a erosão dos solos pelo escoamento superficial. Compreende-se que “o pisoteio animal do rebanho sempre no mesmo local, acaba promovendo uma compactação do solo e propiciando um local para o escoamento da água assim, acarretando uma causa de erosão” (PORTUGAL, 2016). Estas condições também comprometem as áreas de nascentes e recarga do lençol freático, em razão do desmatamento, do soterramento destas pelo assoreamento e avanço das pastagens. Assim, frente às fragilidades identificadas, na BHRU,

observa-se que as situações descritas demandam planejamento sistematizado das formas de uso e ocupação do solo, nas regiões analisadas, que permitam a implementação de práticas e o manejo adequados do solo, capazes de minimizar os impactos negativos da ação antrópica.

Figura 27 - Processos erosivos e solos compactados pelo pisoteio de animais na BHRU.



A – Erosão provocada pelo pisoteio de gado para acesso ao Rio Uru ; B e C – Área de pastagem degradada impactada pelo pisoteio de animais; C – Erosão em trilha de animais em área florestada.

Fonte: Herculano, 2021.

Observa-se que as classes de fragilidade Alta e Muito Alta, embora em menores valores percentuais, 9,9% da área, coincidem com regiões de Morros e Colinas de maiores altitudes, nas cabeceiras de drenagem, compostas por Cambissolos e Neossolos Litólicos, significativamente mais suscetíveis aos processos erosivos, em razão do baixo grau de desenvolvimento desses solos e também por Argissolos, que, associados aos maiores índices de declividade, justificam os níveis de fragilidades. As áreas de maiores declividades, por serem impróprias para a agricultura, se mantêm favorecidas pela permanência da cobertura vegetal, nesse caso, composta pelo Cerrado na formação savânica, situação que ameniza os processos de degradação ambiental e mantém a área na condição de fragilidade potencial. No entanto, é possível perceber que as pastagens avançam por significativas áreas dessas regiões e estão associadas aos maiores índices de fragilidades dos solos, favorecendo a ocorrência de processos erosivos, pois, conforme Crepani et al. (2001), quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transformam-se em energia cinética e maior a capacidade de transporte de partículas do solo.

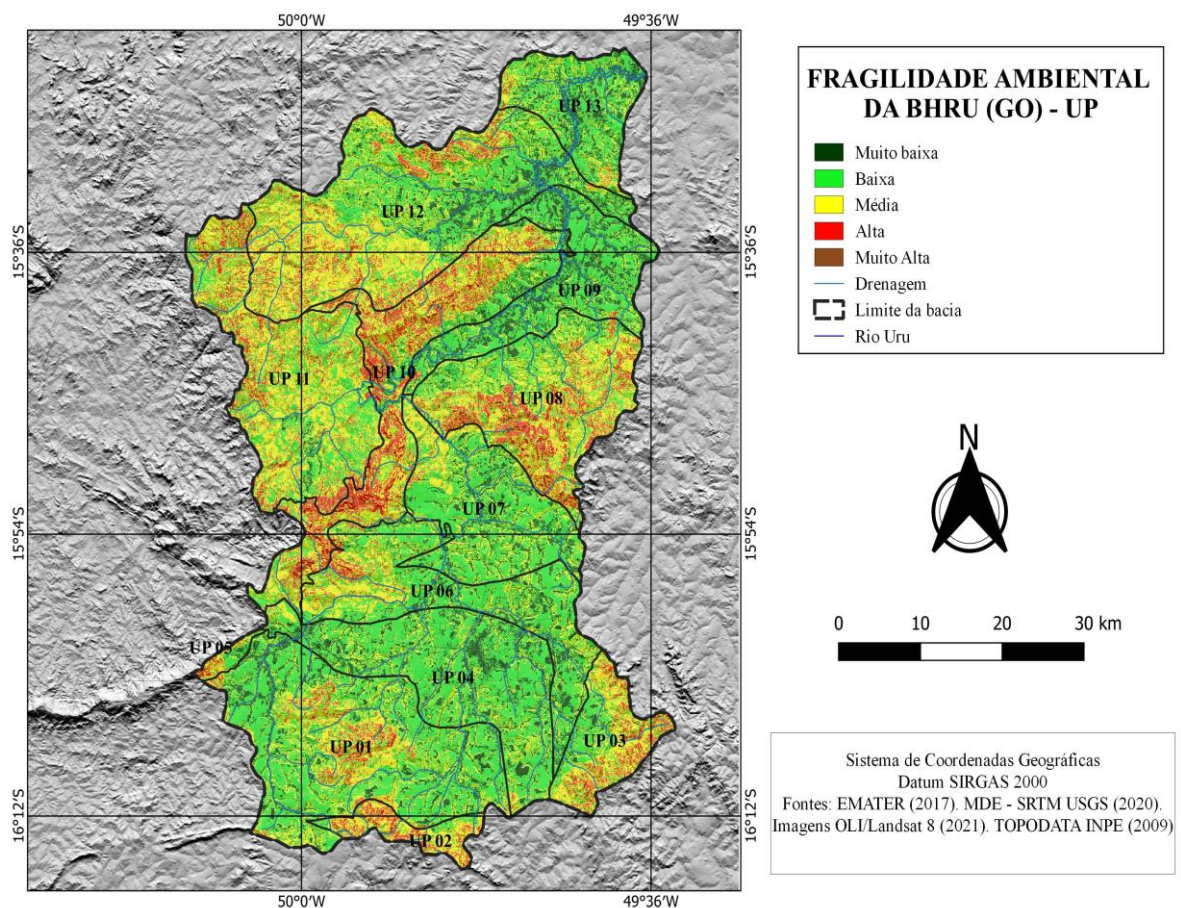
Dessa forma, as descrições permitem a interpretação de que, embora prevaleçam as classes de Baixa e Média fragilidade, na BHRU, as formas de uso e ocupação do solo desprovidas de planejamento para o direcionamento para práticas adequadas de manejo do solo,

colocam toda a região da bacia em condição de vulnerabilidade, uma vez que a classe de fragilidade Muito Baixa está ameaçada, sobretudo pelo desmatamento, e as classes de Alta e Muito Alta fragilidade apresentam elevada fragilidade potencial em razão das suas condições genéticas.

4.5 Caracterização das classes de fragilidades das Unidades de Paisagem na BHRU

No mapa da Figura 28 são apresentadas as classes de fragilidade de cada Unidade de Paisagem, nas Tabela 21 e gráfico da Figura 29 são apresentadas a quantificação em área das fragilidades para cada UP, em relação à área da BHRU.

Figura 28 - Mapa de fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem na BHRU.



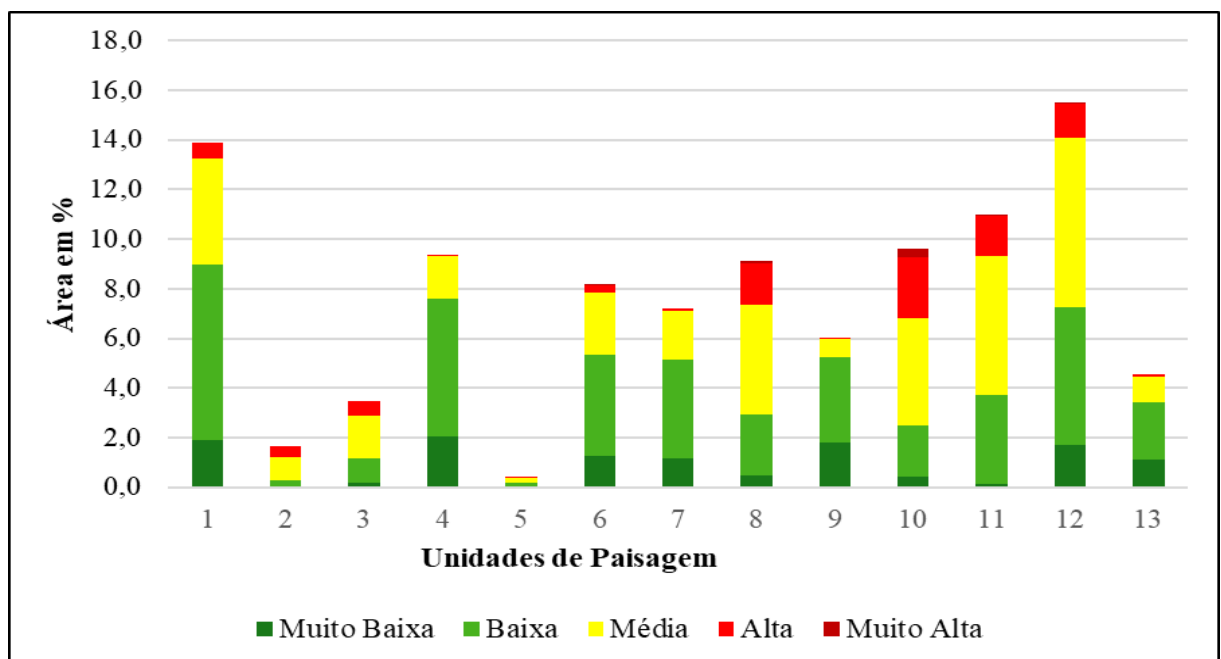
Fonte: EMATER (2017), SRTM (2020), Imagem OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Tabela 21 - Área em Km² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, das UPs em relação à área da BHRU.

UP	<i>Muito Baixa</i>		<i>Baixa</i>		<i>Média</i>		<i>Alta</i>		<i>Muito Alta</i>		<i>Área total da UP (Km²)</i>	<i>Área da UP na BHRU (%)</i>
	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)		
1	73,86	1,91%	274,06	7,08%	163,64	4,23%	24,99	0,65%	0	0	536,55	13,9%
2	0,76	0,02%	10,69	0,28%	35,67	0,92%	17,49	0,45%	0	0	64,61	1,67%
3	6,44	0,17%	39,48	1,02%	65,05	1,68%	23,8	0,62%	0	0	134,77	3,5%
4	78,65	2,03%	215,49	5,57%	67,47	1,74%	0,86	0,02%	0	0	362,47	9,4%
5	1,65	0,04%	5,35	0,14%	7,6	0,20%	2,32	0,06%	0,16	0,00%	17,08	0,4%
6	47,94	1,24%	158,46	4,10%	96,92	2,51%	11,75	0,30%	0,52	0,01%	315,59	8,2%
7	45,12	1,17%	154,06	3,98%	75,82	1,96%	3,7	0,10%	0,09	0,00%	278,79	7,2%
8	17,95	0,46%	95,69	2,47%	170,89	4,42%	64,16	1,66%	4,8	0,12%	353,49	9,1%
9	68,93	1,78%	133,62	3,45%	29,69	0,77%	0,96	0,02%	0,12	0,00%	233,32	6,0%
10	17,39	0,45%	79,00	2,04%	167,98	4,34%	95,23	2,46%	12,25	0,32%	371,85	9,6%
11	5,82	0,15%	138,71	3,59%	216,05	5,58%	62,98	1,63%	2	0,05%	425,56	11,0%
12	66,07	1,71%	213,82	5,53%	265,49	6,86%	52,59	1,36%	1,18	0,03%	599,15	15,5%
13	43,61	1,13%	88,25	2,28%	41,53	1,07%	2,18	0,06%	0,11	0,00%	175,68	4,5%
Total	474,19	12,3%	1606,68	41,5%	1403,8	36,3%	363,01	9,4%	21,23	0,5%	3868,91	100%

Fonte: EMATER (2017), SRTM (2020), Imagem OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Figura 29 - Gráfico da fragilidade ambiental das Unidades de Paisagem na BHRU.



Fonte: EMATER (2017), SRTM (2020), Imagem OLI/Landsat 8. Organização: Herculano, 2021.

Observa-se, de modo mais específico, através do gráfico da Figura 29, que a classe Baixa apresenta maior ocorrência nas UPs 1, 4, 6, 7, 9 e 13. A classe Média se destaca nas UPs 2, 3, 8, 10, 11 e 12. As UPs 8, 10, 11 e 12 possuem o maior percentual da classe Alta. A classe Muito Baixa se destaca nas UPs 1, 4, 9, 12 e 13, mas não ultrapassando 7,11% da área da BHRU. Destaca-se ainda, como aspecto positivo, a classe Muito Alta que apresenta pouca ocorrência na BHRU. A UP 05 ocupa apenas 0,40% da área da BHRU e, portanto, os percentuais das classes de fragilidades também são muito pequenos, prevalecendo as fragilidades Baixa e Média que juntas ocupam 0,34% da BHRU. Para complementar a informação os dados da tabela 20 apresentam os percentuais de cada classe de fragilidade em relação as áreas das UPs.

Tabela 20 - Área em Km² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, em relação as áreas das UPs na BHRU.

UP	<i>Muito baixa</i>		<i>Baixa</i>		<i>Média</i>		<i>Alta</i>		<i>Muito alta</i>		<i>Área total da UP (Km²)</i>	<i>Área da UP na BHRU (%)</i>
	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)		
1	73,86	13,77%	274,06	51,08%	163,64	30,50%	24,99	4,66%	0	0	536,55	13,9%
2	0,76	1,18%	10,69	16,55%	35,67	55,21%	17,49	27,07%	0	0	64,61	1,67%
3	6,44	4,78%	39,48	29,29%	65,05	48,27%	23,8	17,66%	0	0	134,77	3,5%
4	78,65	21,70%	215,49	59,45%	67,47	18,61%	0,86	0,24%	0	0	362,47	9,4%
5	1,65	9,66%	5,35	31,32%	7,6	44,50%	2,32	13,58%	0,16	0,94%	17,08	0,4%
6	47,94	15,19%	158,46	50,21%	96,92	30,71%	11,75	3,72%	0,52	0,16%	315,59	8,2%
7	45,12	16,18%	154,06	55,26%	75,82	27,20%	3,7	1,33%	0,09	0,03%	278,79	7,2%
8	17,95	5,08%	95,69	27,07%	170,89	48,34%	64,16	18,15%	4,8	1,36%	353,49	9,1%
9	68,93	29,54%	133,62	57,27%	29,69	12,73%	0,96	0,41%	0,12	0,05%	233,32	6,0%
10	17,39	4,68%	79,00	21,25%	167,98	45,17%	95,23	25,61%	12,25	3,29%	371,85	9,6%
11	5,82	1,37%	138,71	32,59%	216,05	50,77%	62,98	14,80%	2	0,47%	425,56	11,0%
12	66,07	11,03%	213,82	35,69%	265,49	44,31%	52,59	8,78%	1,18	0,20%	599,15	15,5%
13	43,61	24,82%	88,25	50,23%	41,53	23,64%	2,18	1,24%	0,11	0,06%	175,68	4,5%
Total	474,19	12,3%	1606,68	41,5%	1403,8	36,3%	363,01	9,4%	21,23	0,5%	3868,91	100%

Fonte: EMATER (2017), SRTM (2020), Imagem OLI/Landsat 8. Organização: Herculan, 2021.

Seguindo a análise, observa-se que a UP 01 ocupa 13,9% da área da BHRU, em região de cabeceira de drenagem. Predomina, em 51,08% da UP 01, a ocorrência de baixas fragilidades, situação provocada pela influência dos Latossolo Vermelho, relevos aplainados e baixas declividades. Destaca-se, ainda, área com significativa ocorrência de Média fragilidade, 30,50% da UP, fragmentada por manchas de áreas com Altas fragilidades, em 4,66% de área,

no centro, ao sul e a oeste da UP, regiões ocupadas por Morros e Colinas e Argissolos Vermelho-Amarelo (ver Tabela 13). Há ainda a ocorrência da classe de fragilidade Muito Baixa, ocupando 13,77% da região, que se apresentam como manchas distribuídas por toda a UP. A classe de fragilidade Muito Alta não ocorre. A área da UP 01 é significativamente antropizada, com predomínio da agricultura, pastagem e apenas manchas de Cerrado na forma florestal, situação que justifica as características descritas.

Embora compreenda apenas 1,67% da área da BHRU, na UP 02 predomina a classe de fragilidade Média, que ocupa 55,21% da sua área. Esta UP apresenta significativa área de Alta fragilidade, ocupando 27,07%. Observa-se a ocorrência de Baixa fragilidade, situadas a nordeste e a oeste da unidade, onde também ocorrem pequenas manchas da classe de fragilidade Muito Baixa. A classe Muito Alta é ausente. As características descritas estão relacionadas à ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelo, ocupação da área por pastagens e significativa supressão da vegetação original. Destaca-se, assim, que se trata de uma região importante para o sistema de drenagem da bacia, por estar localizada a montante da bacia.

A UP 03 ocupa 3,5% da área da BHRU e apresenta predominância da classe de fragilidade Média, que ocupa 48,27% dessa área, permeada de fragmentos da classe Alta que ocupam a 17,66% da UP. Estas classes estão distribuídas em Zonas de Erosão Recuante e Argissolos Vermelho-Amarelo, onde as pastagens plantadas são a principal forma de uso do solo. Observa-se, ainda, a ocorrência da classe de Baixa fragilidade, ocupando 29,29% da área, como, também, fragmentos da classe Muito Baixa, em 4,78% da UP, neste caso, predominando sobre Latossolo Vermelho, Superfície Regional de Aplainamento e atividades agrícolas. Portanto, nota-se um limite bem definido entre as formas de relevo e de solos, que, por consequência, determinam as formas de ocupação do solo e condicionam os níveis de fragilidades.

Ademais, situada sobre Superfície Regional de Aplainamento, Latossolos Vermelho e ocupada principalmente pela agricultura e ocorrência de área urbana, a UP 04, que ocupa 9,4% da BHRU, apresenta condições mais favoráveis em relação aos níveis de fragilidade, quando comparada as demais UPs. Observa-se a ocorrência da classe Muito Baixa em 21,70% da área e da classe Baixa em 59,45%, sendo esta predominante. Há fragmentos da fragilidade Média distribuídas por toda a UP, ocupando 18,61% da área, ocorrência da Alta fragilidade a nordeste e a sudeste, que correspondem a 0,24% da área da UP, e ausência da classe Muito Alta fragilidade.

Localizada sobre *Hogback*, na região da Serra Dourada, no município de Goiás, onde predominam Cambissolos e elevadas declividades, a UP 05 apresenta cobertura de vegetação de Cerrado, na forma savânica, em razão das formas de relevo mais movimentados, que tornam a região inapta para as práticas agropecuárias. Verifica-se que a UP 05 representa apenas 0,4% da área total da BHRU e, destes, 44,50% apresentam Média fragilidade e 31,32% são de Baixa fragilidade. Há ainda a ocorrência das classes Muito Baixa, Alta e Muito Alta, em menores proporções.

Ocupando 8,2% da área da BHRU, em regiões com predominância de Superfície Regional de Aplainamento, Latossolos e atividades agropecuárias, a UP 06 apresenta predomínio das classes de fragilidade Baixa e Média, que, juntas, somam 80,92% da unidade. Verifica-se que há ocorrência da classe Muito Baixa, ocupando 15,19% desta UP. Destaca-se que, a noroeste, há ocorrência das classes Alta e Muito Alta, ocupando 3,88% de área, em razão de relevos de Morros e Colinas, com ocorrência de Argissolos.

A UP 07 ocupa 7,2% da área da BHRU sobre Superfície Regional de Aplainamento, onde predominam Latossolos Vermelho onde os principais usos do solo são a agricultura e as pastagens plantadas. Em razão das características descritas, a UP 07 apresenta melhores condições em relação aos níveis de fragilidade, uma vez que 71,44% da área são de muito Baixa a Baixa fragilidades. Destaca-se que, localizado a noroeste, sobre Argissolo Vermelho, ocorre um significativo percentual, de 27,20%, de área de Médias fragilidades e, ainda nessa região, 1,33% de área de Altas fragilidades e 0,03% de Muito Alta fragilidade.

Localizada sobre Morros e Colinas, Argissolos Vermelho, Cambissolos e áreas de pastagens, numa região de destaque na área da BHRU, por apresentar altitudes mais elevadas e maiores declividades, a UP 08, que ocupa 9,1% da BHRU, apresenta predominância da classe de fragilidade Média, 48,34% da área. Ocorre ainda significativa área, 18,15%, de Alta fragilidade e, associada a esta, em 1,36% da área identifica-se a classe de Muito Alta fragilidade. Em 32,15% da área ocorrem as classes Baixa e Muito Baixa.

Já a UP 09, situada a nordeste da BHRU e ocupando 6% de área, compreende uma região de relevo mais aplainado, altitudes mais baixas em relação as regiões vizinhas, e ocupada por Latossolos. Tais características explicam os baixos níveis da fragilidade da UP, onde 86,81% são de classes Baixa e Muito Baixa. Ao longo dos limites da UP, identificam-se pequenas áreas com Média fragilidade, que, ao todo, compõem 12,73% da área da UP. As

classes Alta e Muito Alta apresentam ocorrência a nordeste e a sudeste, mas, juntas, compreendem apenas 0,46% da área.

Os dados revelam, ainda, que na UP 10 se configuram níveis de fragilidade mais elevados, com 74,07% da área sendo ocupada por fragilidades de níveis médio a muito alto e apenas 25,93% ocupadas por níveis baixos e muito baixos. A UP 10 se apresenta como de destaque quando comparada as demais UPs da BHRU, pois está delimitada em 9,6% da bacia, de oeste para nordeste, interceptando uma região de Morros e Colinas, com altitudes que chegam a 1.104 m. Os solos predominantes são os Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos. O Cerrado na forma savânica predomina na UP, sobretudo em razão dos limites impostos pela geomorfologia, mas é possível observar o avanço das pastagens sobre essa vegetação natural, conforme a Tabela 13.

Localizada na porção oeste da BHRU, e ocupando 11% da área, a UP 11 se estende sobre região onde predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo, mas que apresentam fragmentos de Latossolos. O relevo predominante é a Superfície Regional de Aplainamento ao centro e de Morros e Colinas no noroeste da UP. Trata-se de uma área bastante antropizada onde a pecuária é a principal atividade econômica, dividindo espaço com áreas de lavouras. Observa-se que, nessa UP, a classe de fragilidade Média é a de maior proporção, pois ocupa 50,77% da área. Ainda, como classes de maiores percentuais, destaca-se o percentual de 14,80% ocupado pela classe Alta e 32,59% ocupado pela classe Baixa.

É importante considerar na análise do mapa que a UP 12, sob a ótica das classes de fragilidades, evidencia uma estrutura delimitada em três regiões distintas. A sudoeste, sobre Argissolos Vermelho-Amarelo, Morros e Colinas com predomínio de pastagens e com a presença de área urbana, uma extensa área com predomínio de fragilidades Médias, Altas e Muito Altas. Já ao centro, e seguindo em direção a leste, sobre Latossolos Vermelho e relevo aplainado com predomínio de lavouras e pastagens, área de 46,72% com predomínio de Baixas e Muito Baixas fragilidades, e ao norte, sobre Cambissolos e Argissolo Vermelho, uma área de Morros e Colinas coberta por pastagens, com Altas e Muito Altas fragilidades. Destaca-se que as classes Média, Alta e Muito Alta ocupam 53,29% da área UP 12.

Além disso, localizada, em região que compreende a desembocadura da BHRU, com Latossolo Vermelho, relevo aplainado e predomínio de pastagens, a UP 13 apresenta predominância das classes de fragilidade Muito Baixa e Baixa, que juntas ocupam 75,05% da

área da UP. Identifica-se, no entanto, a noroeste e a sudeste, ocorrência das classes Média, Alta e Muito Alta que juntas somam 24,96% de UP.

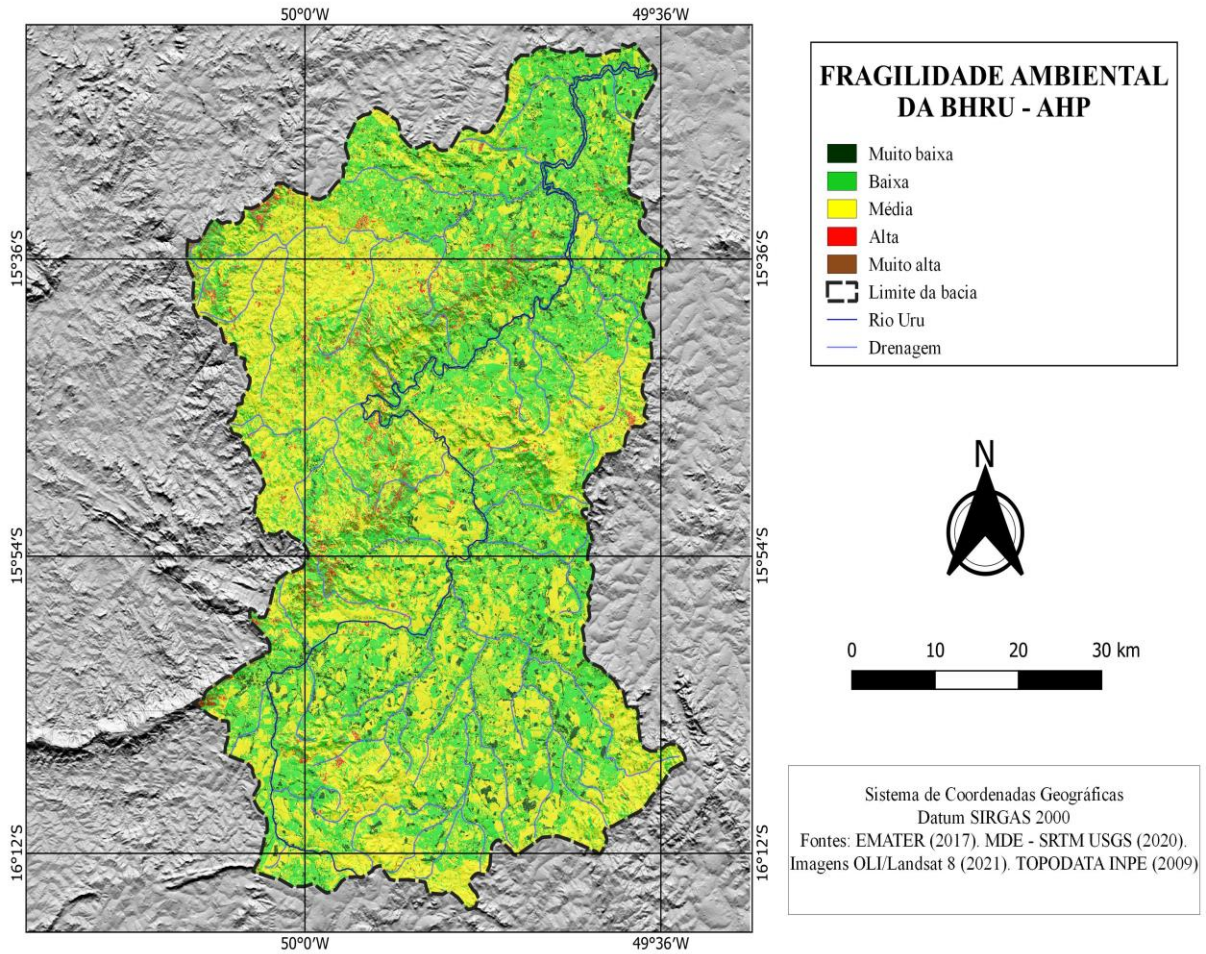
Portanto, consideradas as individualidades de cada UP delimitada, na BHRU, observa-se que, em geral, as UPs localizadas nas regiões de Morros e Colinas, solos mais vulneráveis, como os Argissolos, Cambissolos e Neossolos e com elevados níveis de antropização, apresentam classes de fragilidade que evoluem de Média a Muito Alta. As classes Muito Baixa e Baixa são identificadas, predominantemente, nas regiões de Latossolos Vermelho e de relevo aplainados.

4.6 Caracterização das classes de fragilidades na BHRU por meio do método multicritério AHP

A aplicação do método multicritério AHP se apresenta no contexto desse estudo como uma metodologia de identificação das condições de fragilidade ambiental da BHRU que permitiu a comparação dos resultados da aplicação desse método com aqueles obtidos pelo método tradicional, pois, segundo Padilha, Trevisan e Cruz (2014), em estudos específicos realizados em escala de bacias hidrográficas, a utilização dessas metodologias tem buscado minimizar possíveis erros que ocorrem no momento de determinar a importância de cada aspecto que irá compor a avaliação, que neste caso objetiva identificar a fragilidade ambiental. Padilha, Trevisan e Cruz (2014) afirmam ainda que uma das características da Avaliação Multicritério (AMC) para modelos ambientais é a de contemplar a diversidade natural em n fatores e considerar a sua variabilidade, atribuindo a eles pesos de importância dentro de cada composição do modelo.

No mapa da Figura 30, produzido a partir da combinação das variáveis uso e cobertura do solo, declividades e solos, são apresentadas as classes de fragilidade da BHRU, identificadas por meio do método multicritério AHP e na tabela 21 são apresentadas a quantificação das áreas de cada classe de fragilidade.

Figura 30 - Mapa de fragilidade da BHRU produzido pelo método AHP



Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021).
Organização: Herculano, 2021.

Tabela 22 - Área em Km² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada classe de fragilidade da BHRU, segundo o método AHP.

Atributo	Classe de fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
1	Muito baixa	265,12	6,85%
2	Baixa	1.645,13	42,52%
3	Média	1.850,71	47,84%
4	Alta	107,63	2,78%
5	Muito alta	0,318	0,01%
TOTAL		3.868,91	100%

Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021).
Organização: Herculano, 2021.

A observação dos dados mostra que a classe de fragilidade Muito Baixa ocupa 6,85% da área da BHRU e pode ser identificada em forma de manchas distribuídas por toda a área da bacia hidrográfica.

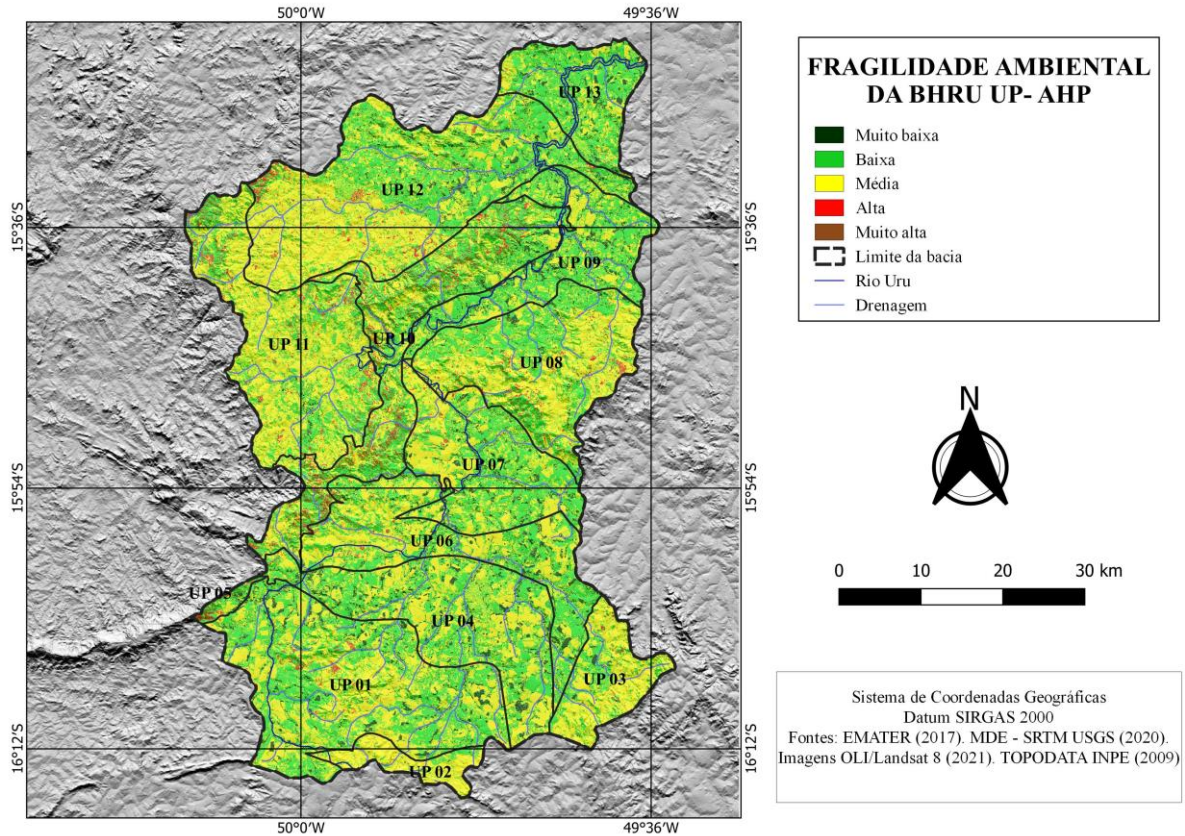
Em relação a ocorrência das classes de fragilidade Baixa e Média, observa-se a predominância destas que juntas ocupam 90,36 % da área da BHRU. Neste caso, a classe de fragilidade Baixa ocupa, predominantemente, áreas aplainadas da Superfície Regional de Aplainamento – SRA III e Latossolos, onde a principal atividade de uso e ocupação do solo é a agricultura. A classe de fragilidade Média se estende por regiões de Zona de Erosão Recuante e Morros e Colinas, onde as pastagens plantadas se apresentam como principal atividade de uso e ocupação do solo. Ressalta-se que, em ambas as classes, as formas de uso e ocupação do solo, associadas as condições geomorfológicas e tipos de solos podem ter seus níveis de fragilidade aumentados com a ocorrência de práticas inadequadas de manejo do solo.

As classes de fragilidade Muito Alta e Alta, que juntas ocupam 2,78% da área da BHRU, podem ser percebidas nas regiões de morros e colinas de maiores altitudes, onde há ocorrência de maiores percentuais de declividade e de solos mais fragilizados como Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos. Nota-se, neste caso e em detrimento das formas de relevo, regiões com predomínio da vegetação savânica natural, mas já ameaçadas pelo desmatamento para prática da agropecuária.

4.7 Caracterização das classes de fragilidades das UPs na BHRU, segundo o método AHP.

No mapa da Figura 31, são apresentadas as classes de fragilidade de cada Unidade de Paisagem identificadas pelo método AHP e, na Tabela 22 e gráfico da Figura 32, a quantificação em área das fragilidades para cada UP, em relação a área total da BHRU.

Figura 31 - Mapa de fragilidade ambiental das UPs, na BHRU produzido pelo método AHP.



Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021).
Organização: Herculano, 2021.

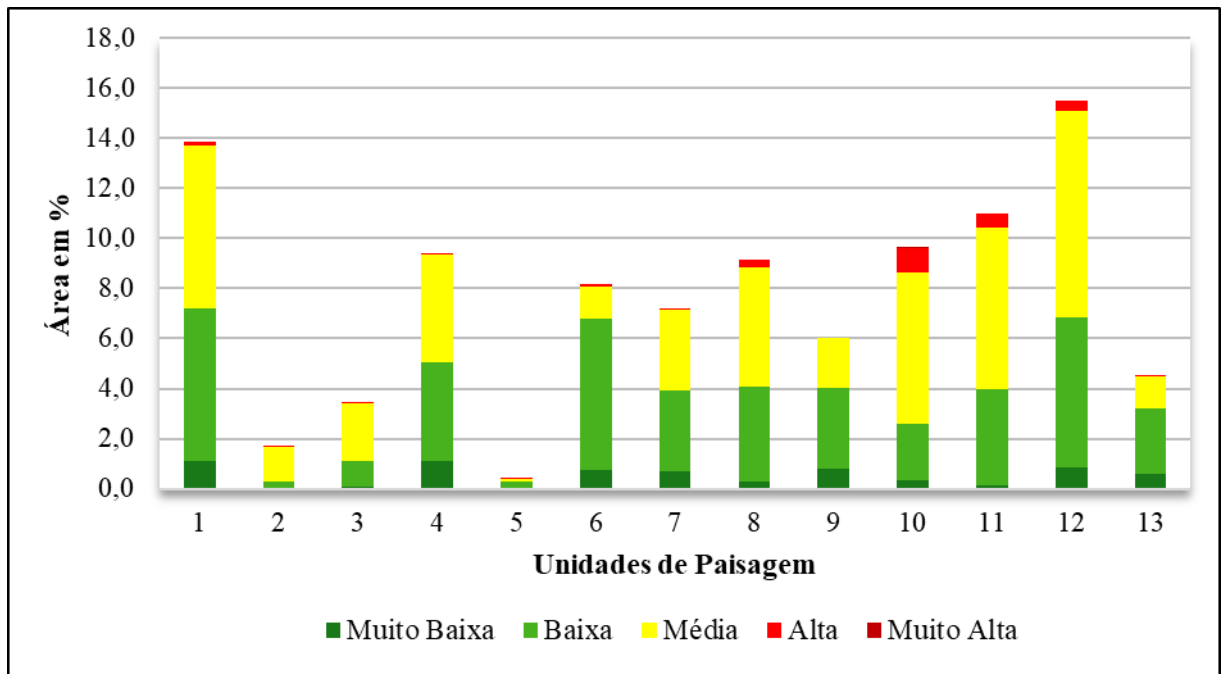
Tabela 232 - Área em Km² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada UP, em relação a área total da BHRU, segundo o método AHP.

UP	<i>Muito Baixa</i>		<i>Baixa</i>		<i>Média</i>		<i>Alta</i>		<i>Muito Alta</i>		<i>Área total da UP (Km²)</i>	<i>Área da UP na BHRU (%)</i>
	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)		
1	43,14	1,12%	235,93	6,10%	251,01	6,49%	6,46	0,17%	0,01	0,00%	536,55	13,9%
2	0,95	0,02%	10,22	0,26%	52,97	1,37%	0,47	0,01%	0,00	0	64,61	1,67%
3	4,27	0,11%	39,11	1,01%	89,05	2,30%	2,34	0,06%	0,00	0	134,77	3,5%
4	42,07	1,09%	153,6	3,97%	166,1	4,29%	0,70	0,02%	0,00	0	362,47	9,4%
5	1,7	0,04%	8,93	0,23%	3,72	0,10%	2,73	0,07%	0,00	0	17,08	0,4%
6	28,23	0,73%	234,57	6,06%	48,72	1,26%	4,07	0,11%	0,00	0,00%	315,59	8,2%
7	26,93	0,70%	125,44	3,24%	124,6	3,22%	1,82	0,05%	0,00	0,00%	278,79	7,2%
8	10,51	0,27%	146,61	3,79%	184,05	4,76%	12,3	0,32%	0,02	0,00%	353,49	9,1%
9	31,82	0,82%	124,31	3,21%	77	1,99%	0,19	0,00%	0,00	0,00%	233,32	6,0%
10	13,61	0,35%	86,90	2,25%	232,52	6,01%	38,55	1,00%	0,27	0,01%	371,85	9,6%
11	5,70	0,15%	148,03	3,83%	250,32	6,47%	21,5	0,56%	0,01	0,00%	425,56	11,0%

12	33,52	0,87%	230,45	5,96%	319,85	8,27%	15,33	0,40%	0,00	0,00%	599,15	15,5%
13	22,67	0,59%	101,03	2,61%	50,8	1,31%	1,17	0,03%	0,01	0,00%	175,68	4,5%
Total	265,12	6,85%	1645,13	42,52%	1850,71	47,84%	107,63	2,78%	0,318	0,01%	3868,91	100%

Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021).
Organização: Herculano, 2021.

Figura 32 - Gráfico da fragilidade ambiental das UPs na BHRU, segundo o método AHP,



Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021).
Organização: Herculano, 2021.

A observação dos dados mostra que a classe de fragilidade Muito Baixa se distribui por todas as UPs, apresentando maiores valores percentuais, nas UPs 01 e 04. A classe de fragilidade Alta se distribui em pequenos percentuais por todas as UP, exceto na UP 09. A classe de fragilidade Muito Alta ocupa apenas 0,01% da área da BHRU, identificado na UP 10.

Por meio do gráfico da Figura 32 observa-se que a fragilidade Muito Baixa ocorre de forma significativa nas UPs 1, 4, 6, 7, 9 e 12. Em relação à predominância, a fragilidade Baixa se destaca nas UPs 6, 9 e 13 e a fragilidade Média predomina nas UPs 1, 2, 3, 5, 8, 10, 11. A classe de fragilidade Alta tem destaque nas UPs 10 e 11 e a Muito Alta nas UPs 8 e 10.

Tabela 243 - Área em Km² e em porcentagem das classes de fragilidade ambiental, para cada UP, em relação as áreas das UPs na BHRU, segundo o método AHP.

UP	Muito baixa		Baixa		Média		Alta		Muito alta		Área total da UP	Área da UP na BHRU (%)
	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)	Área Km ²	Área (%)		
01	43,14	8,0%	235,93	44,0%	251,01	46,8%	6,46	1,2%	0,01	0,0%	536,55	13,9%
02	0,95	1,5%	10,22	15,8%	52,97	82,0%	0,47	0,7%	0	0,0%	64,61	1,7%
03	4,27	3,2%	39,11	29,0%	89,05	66,1%	2,34	1,7%	0	0,0%	134,77	3,5%
04	42,07	11,6%	153,6	42,4%	166,1	45,8%	0,7	0,2%	0	0,0%	362,47	9,4%
05	1,70	10,0%	8,93	52,3%	3,72	21,8%	2,73	16,0%	0	0,0%	17,08	0,4%
06	28,23	8,9%	234,57	74,3%	48,72	15,4%	4,07	1,3%	0	0,0%	315,59	8,2%
07	26,93	9,7%	125,44	45,0%	124,6	44,7%	1,82	0,7%	0	0,0%	278,79	7,2%
08	10,51	3,0%	146,61	41,5%	184,05	52,1%	12,3	3,5%	0,02	0,0%	353,49	9,1%
09	31,82	13,6%	124,31	53,3%	77	33,0%	0,19	0,1%	0	0,0%	233,32	6,0%
10	13,61	3,6%	86,9	23,4%	232,52	62,5%	38,55	10,4%	0,27	0,1%	371,85	9,6%
11	5,70	1,3%	148,03	34,8%	250,32	58,8%	21,5	5,1%	0,01	0,0%	425,56	11,0%
12	33,52	5,6%	230,45	38,5%	319,85	53,4%	15,33	2,6%	0	0,0%	599,15	15,5%
13	22,67	12,9%	101,03	57,5%	50,8	28,9%	1,17	0,7%	0,01	0,0%	175,68	4,5%
Total	6,9%	6,9%	1645,13	42,5%	1850,71	47,8%	2,78%	2,78%	0,32	0,0%	3868,91	100%

Fonte dos dados: EMATER (2017). MDE - SRTM USGS (2020). Imagens OLI/Landsat 8 (2021). Organização: Herculano, 2021.

Observando os dados de forma individualizada, nota-se que a UP 01, que abrange 13,9% da BHRU, apresenta ocorrência das classes Baixa e Média, que somam 90,8% de área ocupada, predominando nas áreas de relevo aplainado, baixas declividades e Latossolos Vermelhos. No entanto, é possível notar ao centro, em região de Morros e Colinas, a concentração das Médias fragilidades e manchas de altas fragilidades, que ocupam 1,2% de área da UP. Além disso, a classe Muito Baixa, a qual ocupa 8,0% da UP, apresenta-se também como manchas distribuídas por toda a área da UP 01.

A UP 02 delimitada em 1,7% da área da BHRU, sobre Argissolos Vermelho amarelo, apresenta fragilidade Média, bem distribuída por toda a área da UP, uma vez que essa classe ocupa 82,0% de área. Há, no entanto, a ocorrência da classe de fragilidade Baixa concentrada a nordeste e oeste e, ainda, manchas por toda a UP que somam 15,8% da área. As classes de fragilidade Muito Baixa e Alta, que juntas ocupam 2,23% da área da UP 02, apresentam-se como fragmentos pontuais distribuídos pela área da UP.

A observação da UP 03, localizada em Zona de Erosão Recuante e em 3,50% da área da BHRU, permite a percepção de uma delimitação natural promovida pelas variáveis analisadas.

Ou seja, nas regiões de Morros e Colinas, com predomínio de pastagens plantadas ocorre também o predomínio da classe de fragilidade Média, ocupando 66,1% de área e manchas da classe Alta, ocupando 1,7% de área. A oeste e sudoeste, em regiões de SRA III e Latossolos Vermelhos, ocorre a concentração da classe de fragilidade Baixa, que também apresenta manchas isoladas por toda a UP, somando 29% de área e fragmentos da classe de fragilidade Muito Baixa que ocupam 3,2% da área da UP. A classe Muito Alta é ausente.

Além disso, a UP 04, localizada em SRA III, Latossolo Vermelho e que tem como principal atividade de uso solo a agricultura, apresenta predomínio das classes de fragilidade Baixa e Média, que juntas ocupam 88,2% da área da BHRU, bem distribuídas por toda a área da UP. A classe Muito Baixa que ocupa 11,6% de área se apresenta como manchas distribuídas pela UP e a classe Alta se mostra concentrada a noroeste e sudeste, ocupando 0,2% de área. A classe de fragilidade Muito Alta é ausente.

Localizada sobre *HogBack*, Cambissolos, em região de elevadas declividades com predomínio de Cerrado savânico, nota-se, na UP 05, que ocupa apenas 0,4% da área da BHRU, a ocorrência bem distribuída da classe de fragilidade Baixa que ocupa 52,2% da área da UP. A classe de fragilidade Muito Baixa se concentra a sudeste, em 10,0% de área. A classe Média se concentra ao sul da UP, em 21,8% de área, e a classe de fragilidade Muito Alta se distribui por toda a UP, ocupando 16,0% de área.

Além disso, observando a UP 06, nota-se ocorrência bem distribuída da classe de fragilidade Baixa, que ocupa 74,3% da área e ainda da classe Média de fragilidade, com ocupação de 15,4% de área. Na parte leste da UP, região de SRA III, Latossolo Vermelho, ocorrem manchas da classe de fragilidade Muito Baixa, a qual abrange 8,90% de área, e na parte oeste, de Morros e Colinas, Argissolos, ocorre a classe de fragilidade Alta em 1,3% da área da UP. A classe Muito Alta é ausente.

Verifica-se que, situada em região de SRA III e Latossolos, a UP 07 apresenta predominância das classes de fragilidade Baixa e Média, com ocupação de 89,6% de área. Apresenta ainda manchas da classe de fragilidade Muito Baixa, com 9,7% de área e manchas da classe Alta, concentradas a noroeste, que ocupam 0,7% da UP. A classe Muito Alta é ausente.

Na UP 08, onde ocupa 9,1% da BHRU, as classes de fragilidade Baixa e Média se distribuem por toda a região ocupando 93,5% de área sobre Morros e Colinas e Argissolos Vermelhos. Então, observa-se que há ocorrência da classe Muito Baixa em 3,0% de área. A

classe Alta é significativa, se apresentando como manchas em 3,5% da UP que também apresenta a ocorrência da classe Muito Alta, a qual podem estar associadas à ocorrência de Cambissolos e maiores declividades.

A UP 09, que ocupa 6% da BHRU, apresenta as classes Muito Baixa e Baixas fragilidades predominantes e bem distribuídas ocupando 66,9% de área. Também ocorrem manchas da classe Média de fragilidade, dispersas em 33% de área. A fragilidade Alta ocupa 0,1% de área. As condições favoráveis da UP 09 podem estar associadas a ocorrência de Latossolos e relevos aplainados.

Averigua-se, ainda, a UP 10, que ocupa 9,6% da BHRU, apresenta condições menos favoráveis em relação aos níveis de fragilidade, uma vez que está situada em região de Morros e Colinas, com maiores declividades, solos mais vulneráveis como Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, onde a vegetação do Cerrado na forma savânica prevalece. A classe de fragilidade Média ocupa 62,5% da área da UP. Já as classes Alta e Muito Alta ocorrem em toda a extensão da UP e somam 10,5 % de área. Ocorre ainda fragmentos da classe Muito Baixa que ocupam 3,6% de área e manchas da classe Muito Baixa em 23,4% da UP.

Verifica-se que a UP 11 se localiza em 11 % da área da BHRU, sobre Argissolo Vermelho – amarelo e fragmento de latossolo ao centro da UP, relevo aplainado predominante e ocorrência de morros e colinas, onde a pecuária é a principal atividade. As condições descritas justificam a ocorrência das classes de fragilidade Baixa e Média em toda a área da UP, cobrindo o total de 93,60%, manchas de Altas e Muito Alta fragilidade, em 5,01% de área e ainda machas da classe Muito Baixa em 1,3% de área da UP.

Localizada em 15,5% da área da BHRU, ao norte da BHRU, a UP 12 apresenta feições distintas quanto à fragilidade. Em razão da localização geográfica e das condições das variáveis, a UP se mostra dividida, uma vez que no centro a nordeste, em relevos mais aplainados, baixas declividades, predominam as fragilidades Muito Baixa, Baixa ocupando 44,01% de área. A sudoeste, região de Morros e Colinas, Argissolo Vermelho – Amarelo, predominam as fragilidades Médias que ocupam no total 53,3% da UP, e ainda, manchas da fragilidade Alta que somam 2,6% de área. A classe de fragilidade Muito Alta é ausente.

A UP 13 apresenta condições favoráveis quanto aos níveis de fragilidade ambiental. Localizada a nordeste da BHRU, na foz do Rio Uru, região aplainada de Latossolo Vermelho, a UP apresenta predominância das fragilidades Muito Baixa, Baixa que juntas ocupam 70,4% de área da UP. A classe de fragilidade Média se mostra dispersada e ocupa 28,9% da UP. A

sudeste e a noroeste ocorrem manchas das fragilidades Alta e Muito Alta que ocupam 0,7% de área.

4.8 Análise comparativa entre os modelos aplicados.

Ao se estabelecer relação comparativa entre os resultados de fragilidade ambiental obtidos pela aplicação do método tradicional e àqueles identificados pelo método AHP, observa-se que, no primeiro modelo, é possível notar a delimitação bem definida de regiões compostas por cada classe de fragilidade, enquanto no segundo caso, as classes Baixa e Média se destacam como predominantes e as demais se apresentam de forma mais discreta.

A fragilidade Muito Baixa, representada na Figura 33, ocupa uma área de 12,3% da BHRU, segundo o método tradicional, enquanto que pelo método AHP esse percentual é de 6,85%. Situação parecida ocorre com as fragilidades Muito Alta e Alta. No primeiro caso, o percentual de 0,5%, obtido pelo método tradicional, se reduz para 0,01%, quando aplicado o método AHP. Quanto às fragilidades Altas, o percentual se reduz de 9,4%, para 2,78%.

Figura 33 – Áreas que registraram fragilidade ambiental Muito Baixa na BHRU.



Classe de fragilidade Muito Baixa em região de Morros e Colinas com formação florestal preservada.

Fonte: Herculano, 2021.

Assim, os dados revelam que em ambos modelos, as fragilidades Baixa (Figura 34) e Média (Figura 35) são predominantes e, nesse caso, a fragilidade Baixa se manifesta em valores percentuais próximos, 41,50%, na modelagem tradicional e 42,52% pela modelagem AHP. A

fragilidade Média também apresenta valores não muito distantes: 36,3% e 47,84%. As disparidades se manifestam nas demais classes.

Figura 34 – Áreas que registraram fragilidade ambiental Baixa na BHRU.



Classe de fragilidade Baixa: A – lavoura de soja região aplainada; B – Lavoura permanente de laranja em região aplainada as margens da rodovia GO 070.

Fonte: Herculano, 2021.

Figura 35 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Média na BHRU.



Classe de fragilidade Média: A – pastagem degradada em região de Morros e Colinas; B – solo exposto em região aplainada.

Fonte: Herculano, 2021.

Observa-se, como dados semelhantes entre a aplicação dos dois métodos, a confirmação da predominância das classes de fragilidade Baixa e Média e a ocorrência das demais classes em menores valores percentuais. Cita-se, como elemento semelhante, a confirmação, de modo generalizado, da localização geográfica da ocorrência das classes de fragilidades. Nesse caso,

observou-se que as classes de fragilidade Alta, representada na Figura 36, e a Muito Alta, representada pela Figura 37, são predominantes, em ambas as metodologias em regiões de Morros e Colinas.

Figura 36 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Alta na BHRU.



Classe de fragilidade Alta: A – solo exposto em primeiro plano e Morros e Colinas em segundo plano; B – Lavoura de soja e área de desmatamento em região de Morros e Colinas.

Fonte: Herculano, 2021.

Figura 37 - Áreas que registraram fragilidade ambiental Muito Alta na BHRU.



Classe de fragilidade Muito Alta: Área de mineração desativada em região de Morros e Colinas na cabeceira de nascentes da BHRU.

Fonte: Herculano, 2021.

Dessa forma, a comparação possibilita a percepção de variações significativas nos quantitativos de áreas ocupadas pelas classes de fragilidade Muito Baixa, Alta e Muito Alta,

onde foi possível observar que a fragilidade Muito Baixa e Alta se mostram presentes na aplicação de ambos os métodos, em todas as UPs, em valores percentuais menores. Já a fragilidade Muito Alta, que no método tradicional se mostra ausente apenas nas UPs 1, 2, 3 e 4, pelo método AHP se faz presente apenas na UP 10. As classes de fragilidades Baixa e Média estão presentes em todas as UPs, em ambos os métodos, mas apresentam valores percentuais mais elevados nos resultados do método AHP.

A comparação permite concluir que a aplicação do método AHP possibilitou a confirmação aproximada dos dados apontados pelo método tradicional e, neste caso, o tradicional seria o bastante para a obtenção confiável dos resultados, visto que se mostrou coerente com as verificações in loco e, em razão ainda da complexidade de aplicação do método AHP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização geoambiental da BHRU identificou uma região com predominância de relevos aplainados e Latossolos, mas também com ocorrência de Morros e Colinas sobre Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, onde a agricultura e a pecuária são as atividades econômicas de maior destaque. Partindo do princípio de que uma bacia hidrográfica é um geossistema, a análise da paisagem sob a ótica da análise sistêmica, na BHRU, permitiu identificar as classes de fragilidades resultantes do cruzamento das bases de solo, declividades e uso e cobertura do solo, em que se observou a predominância da classe de fragilidade Baixa, mas com potencial para avançar para médias e altas fragilidades, em razão do crescimento demográfico e das atividades econômicas em curso na BHRU.

O mapa de fragilidade ambiental da BHRU e das 13 UPs mostram, de forma muito evidente, que a predominância da classe de fragilidade Baixa está relacionada ao fato de que, na BHRU, a incidência das baixas declividades, sobre Latossolos ocupa grande parte da bacia hidrográfica. Observa-se, ainda, que as áreas de Morros e Colinas sobre Argissolos elevam os níveis de fragilidade e apresentam a classe Média como também predominante. Há ainda ocorrência, em menores percentuais, das classes Alta e Muito Alta associada a ocorrência de maiores declividades, em regiões de solos mais vulneráveis. A classe Muito Baixa, que se associa a elevados níveis de proteção, ocorre em áreas com cobertura vegetal florestal preservada e aparece em quantitativo reduzido, demonstrando a importância da variável uso e

cobertura que está em processo de mudanças, podendo elevar os níveis de fragilidade.

Ainda, observa-se que, embora os níveis de fragilidade alto e muito alto não sejam predominantes, a região da BHRU apresenta uma situação que demanda atenção, pois em razão das formas de usos do solo, que tem a agropecuária como atividade principal e por ser esta uma atividade econômica de grande impacto sobre os atributos naturais, há a tendência de evolução dos níveis de fragilidade.

A aplicação do método AHP para identificação das fragilidades ambientais na BHRU, executada com o objetivo de comparação com a modelagem tradicional, confirmou a predominância da ocorrência das classes de fragilidade Baixa e Média e das demais, em menores proporções, sendo que neste último caso, a comparação evidenciou uma significativa diminuição quanto a ocorrência das classes Muito Baixa, Alta e Muito Alta. Observa-se que em relação a aplicação de modelagens distintas, os resultados são também distintos, porém próximos, apontando a confiabilidade da modelagem tradicional.

A partir de todo o desenvolvimento da pesquisa pode-se concluir que os resultados se apresentam como embasamento para o planejamento e gestão de uso das diferentes áreas da BHRU, podendo amparar processos decisórios quanto ao uso e ocupação do solo, de modo a possibilitar formas de apropriação com menores impactos negativos para o Cerrado remanescente na região.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Joselene da Silva; CUNICO, Camila; SOUZA, Jonas Otaviano de. A paisagem na geografia. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió - AL, v. 4, ed. 8, p. 01-09, dez 2019.
- ALVES, Luiz Batista. **Produto Interno Bruto dos municípios do Estado de Goiás - 2018**. Goiânia: IMB, 2020.
- AMARAL, Rosângela do; ROSS, Jurandir Luciano Sanches. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 59-78, 2009.
- ARAUJO, Maria Lucia Martins Nóbrega de *et al.* Impactos ambientais nas margens do Rio Piancó causados pela agropecuária. **REBAGA**, Pombal – PB, v. 4, n. 1, p. 13-33, 20 jan. 2010.
- SILVA, Fernando A. M. da; ASSAD, Eduardo Delgado; EVANGELISTA, Balbino A. Caracterização Climática do Bioma Cerrado. *In*: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília - DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008. cap. 3, p. 71 - 88.
- AZEVEDO, Dayse Gomes de; GOMES, Ronaldo Lima; MORAES, Maria Eugênia Bruck de. Bacia do Rio Buranhém: análise integrada da paisagem. *In*: MORAES, Maria Eugênia Bruck de; LORANDI, Reinaldo. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus - BA: Editus, 2016. Cap. 5, p. 103 - 121.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. R. **RA'É GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- BRASIL, IBGE. **Censo Demográfico**, 2010. Disponível em <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 ago. 2021.
- BRASIL, IBGE. **Estimativa populacional**, 2020. Disponível em <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- BRASIL, IBGE. **Mapa dos Limites Municipais do Estado de Goiás**. [S. l.: s. n.], 2017. Base de dados. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA), **HIDROWEB**, Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: mar. 2021.

BRAZ, Antônio Joaquim Braga Pereira *et al.* Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins Brachiária e Mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 83 - 87, 11 set. 2007.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂNDIDO, Anny Keli Aparecida Alves; SILVA, Normandes Matos da; FILHO, Antonio Conceição Paranhos. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S. l.], p. 147 - 156, 23 mar. 2015.

CARDOSO, Murilo Raphael Dias; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; BARROS, Juliana Ramalho. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.

CARDOSO, Murilo Raphael; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; BARROS, Juliana Ramalho. Caracterização da temperatura do ar no Estado de Goiás e no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], ano 8, v. 11, 2012.

CARVALHO, Thiago Morato de; BAYER, Maximiliano. Utilização dos produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], ano 9, n. 1, 2008. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/99>. Acesso em: 10 fev. 2021.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **RBG**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 02, abril. /jun. 1990.

CONGEDO, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

CONTI, José Bueno. Resgatando a "Fisiologia da paisagem". **Revista do Depto. de Geografia USP**, São Paulo - SP, n. 14, p. 59 - 68, 2001.

CORREIA, T. Pinto; D`ABREU, A. Cancela; OLIVEIRA, R. Identificação de Unidade de Paisagem. **Finisterra**, Portugal, p. 195 - 206, 2001.

CREPANI, E. et al.; **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 62/04, 2010.

DIAS, Braulio Ferreira de Souza. Conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado: História dos impactos antrópicos no Bioma Cerrado. In: FALEIRO, Fábio Gelape; NETO, Austeclínio Lopes de F. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina - DF: EMBRAPA, 2008.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. In: **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. v. XXI, Rio de Janeiro, 1977.

EMATER. **Distribuição dos solos de Goiás: Classes de solos dos municípios goianos**. Goiânia: Emater, 2016.

FARIA, Thiago de Oliveira; VECCHIATO, Antonio Brandt; SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. Abordagem morfopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, ed. 12, p. 215 - 232, 2013.

FERREIRA, Eloisa A. Belleza; TOKARSKI, Donizete J. (Org). **Bacia hidrográfica do Alto Tocantins: retratos e reflexões**. ECODATA WWF Brasil, 2007.

FERREIRA, Marcos Cesar. Mapeamento de Unidades de paisagem em sistemas de informação geográfica: Alguns pressupostos fundamentais. **Geografia**, Rio Claro, v. 22, n. 1, p. 23 - 45, abril 1997.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: **GEOMORFOLOGIA: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 11-30.

GOIÁS (estado). Secretária de Indústria de Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Por Edgar do M. Latrubesse, Thiago Morato de Carvalho. Goiânia, 2006a.

GOIÁS (estado). Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas. **Malha viária atualizada por imagens LandSat 7 da Base Cartográfica planialtimétrica de Goiás**. [S. l.: s. n.], 2012. Base de dados. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GOIÁS (estado). EMATER. **Refinamento do mapeamento de solos para escala de 1:250.000**. [S. l.: s. n.], 2017. Base de dados. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

GOIÁS (estado). Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos. **Estado de Goiás no contexto nacional - 2017**. Goiânia: [s. n.], 2018.

GOIÁS (estado). Superintendência de Geologia e Mineração - SIC. **Mapa das Otto Bacias de Goiás**. [S. l.: s. n.], 2006. Base de dados. Disponível em:

<http://www.sieg.go.gov.br/siegddownloads/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GOIÁS (estado). Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos. Estatísticas Municipais. *In: Perfil Socioeconômico dos Municípios Goianos*. Goiânia, 20 jun. 2018.

Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br/estatisticas/sistemas-de-pesquisa/perfil-socioeconômico-dos-municípios-goianos.html>. Acesso em: 6 jan. 2021.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2013. 171p. INPE, São José dos Campos, 2001. 123 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil**, 1981-2010, Brasília, DF. Disponível em:

<https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1981-2010>. Acessado em: dezembro de 2020.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, Recife - PE, v. 5 - 6, p. 161 - 179, 2009.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, 16 a 21 de abril 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005. pp. 2203 - 2210.

KIYOTANI, Ilana. O conceito de paisagem no tempo. **Geosul**, Florianópolis, v. 29, n. 57, p. 27-42, jan/jun 2014. Kluwer Academic. 1991.

KOEPPEN, W. **Climatologia**: con un studio de los climas de la tierra. 1º edición em español. México: Fundo de Cultura Económica, 1948.

LACERDA FILHO, Joffre Valmório de *et al*, (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal (Conv. CPRM/METAGO S.A./UnB)**: 1:500.000. Goiânia: CPRM, 1999.

LUCENA, Igor Brandão de; LUIZ, Gislaiane Cristina; NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira do. Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 101-124, 2020.

MANGABEIRA, J. A. de C.; AZEVEDO, E. C. de; LAMPARELLI, R. A. C. **Avaliação do levantamento do uso das terras por imagem de satélite de alta e média resolução espacial**. EMBRAPA, Campinas - SP, p. 1 - 15, 2003.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; CARDOSO, Murilo Raphael Dias; FARIA, Thiago Guimarães. Chuvas no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e

- tendência futura. **Ateliê Geográfico**, Goiânia - GO, v. 6, n. 2, p. 112-130, ago 2012.
- MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; ROMERO, Vanessa. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], ano 2013, v. 28, n. 4, p. 429 - 440, 20 maio 2013.
- MARTINELLI, Marcelo; PEDROTTI, Franco. A cartografia das Unidades de Paisagem: Questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, [S. l.], v. 14, p. 39-46, 20 ago. 2001.
- MARTINS, José Augusto. Escoamento superficial. *In*: PINTO, Nelson L. de Sousa *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo - SP: Edgard Blücher LTDA, 1976. Cap. 3, p. 36 - 43.
- MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. **R. RA´E GA**, Curitiba, n. 8, p. 83 - 91, 2004.
- MENESES, Paulo Roberto *et al.* Classificação pixel a pixel de imagens. *In*: MENESES, Paulo Roberto *et al.* **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012. cap. 12, p. 191 - 208.
- MOREIRA, M. L. O. et al. (Orgs.) **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil e Geologia e Mineração. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.
- NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 6, p. 1547-1560, 2001.
- NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. **Chuvas no Estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica**. 2016. 200 p. Tese de doutorado (Programa de Pós- Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, Goiânia - GO, 2016.
- NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do; SAMPAIO, José Levi Furtado. Geografia Física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 6/7, n. 1, p. 167 – 179, 2005.
- NASCIMENTO, Maria Amélia S. do. Geomorfologia do Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia/UFG, v. 12, n. 1, p. 1-22, 1992.
- NERY, César Vinícius Mendes *et al.* Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER – ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, PERNAMBUCO, v. 06, n. 02, p. 320-328, 3 set. 2013.
- NEVES, Carlos Eduardo das. **“Geossistema: a História de uma Pesquisa” – Trajetórias e Tendências no Estado de São Paulo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2014.

OLIVEIRA FILHO, P. C. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: Estudo de caso FLONA de Irati-PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 2, p. 231-242, abr./jun. 2011.

PADILHA, Damáris Gonçalves; TREVISAN, Mário Luiz; CRUZ, Jussara Cabral. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: Aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Alto Uruguai. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 44, ed. 33, p. 535 - 548, 2014.

PINTO, Amanda Rodrigues de Carvalho; NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do. A análise geoambiental integrada no município de Itaboraí (RJ) como subsídio ao planejamento ambiental e territorial: A intervenção do COMPERJ. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 336 - 349, 16 nov. 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1950>. Acesso em: 1 dez. 2021.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, José Eduardo dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. *In*: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus - BA: Editus, 2002. Cap. 1, p. 14 - 32.

PORTUGAL, Nabila Rhaiane Nascimento. **Compactação do solo por atividades agropecuárias**. 2016. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, [S. l.], 2016.

REATTO, Adriana; MARTINS, Éder de Souza. Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. *In*: SCARIOT, Aldicir; SOUZA - SILVA, José Carlos; FELFILI, Jeanine M. **CERRADO: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. cap. 1, p. 47 - 60.

REATTO, Adriana *et al.* Solos do Bioma Cerrado: Aspectos Pedológicos. *In*: SANO, Sueli Matiko *et al.* **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, cap. 5, p. 107 - 134.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe. **CERRADO: Ecologia e Flora**. v. 1. Brasília: EMBRAPA, 2008.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**: Revista de geografia da UFC, Fortaleza - CE, n. 01, ed. 01, 2002.

ROSA, Eloisa Penna da *et al.* Definição das unidades de relevo no município de Jaguari – RS. *In*: PEREZ FILHO, A. *et al.* **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas - SP: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Instituto de Geografia - UFU, 2013.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxionomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo: n. 6. 1992. p. 17-29.

ROSS, Jurandir L. Sanches. Bacia Hidrográfica: Unidade de análise integrada. *In*: MORATO, Rubia Gomes *et al.* **Análise integrada em bacias hidrográficas [recurso eletrônico]: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. São Paulo: FFLCH/USP: FFLCH/USP, 2019. cap. 1, p. 27 - 44.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *In*: Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, projection and forecasting**. Boston: Kluwer

SANDERVILLE JÚNIOR, Euler. Paisagem. **Paisagem Ambiente: ensaios**, São Paulo, n. 20, p. 47 - 60, 2005.

SANTOS, Patrícia Tinoco; MARTINS, Alécio Perini. Análise Geoespacial e reflexões sobre Unidades de conservação no Estado de Goiás. *In*: MORATO, Rubia Gomes *et al.* **Análise integrada em bacias hidrográficas [recurso eletrônico]: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. São Paulo: FFLCH/USP: FFLCH/USP, 2019. cap. 3, p. 77 - 120.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **R. RA'EGA**, Curitiba, n. 7, p. 79-85, 8 out. 2003.

SCHLINDWEIN, Jaqueline Renata *et al.* Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do satélite CBERS: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Florianópolis, p. 1103-1107, 21 abr. 2007.

SILVA, Mirna Karla Amorin. **Análise Geoambiental das Bacias Hidrográficas Federais do Cerrado Mineiro**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2009.

SILVA, Silvando Carlos da *et al.* **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. Goiânia - Goiás: Governo de Goiás/Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. 133 p.

SILVA, Willian Vieira da. Os impactos ambientais gerados a partir da mecanização do campo no Cerrado goiano. **Revista**, Morrinhos, p. 57-62, 3 abr. 2014.

SOUZA, José Carlos de. **Avaliação da suscetibilidade e do potencial a erosão laminar da bacia do Ribeirão Sozinha (GO)**. 2010. Dissertação (Mestrado) - IESA/UFG, Goiânia, 2010.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandir Luciano Sanches. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Geosp - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39 - 49, 2004.

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

TROPPMAIR, Helmut; GALINA, Márcia Helena. Geossistemas. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza - CE, v. 5, n. 10, p. 79-89, 2006.

TUCCI, Carlos E. M.; MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: MMA/SQA, 2006.

VALLE, Ivana Cola *et al.* Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, p. 295-308, 8 nov. 2015.

VITTE, Antônio Carlos. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, [S. l.], p. 71-78, 6 nov. 2007.