



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CORA CORALINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

ANA CAROLINA SANTOMÉ FRANCO

**MODELAGEM AMBIENTAL E INDICADORES DE PRESSÃO NOS RECURSOS
HÍDRICOS DA ALTA BACIA DO RIO VERMELHO (GOIÁS)**

CIDADE DE GOIÁS, 2021

ANA CAROLINA SANTOMÉ FRANCO

**MODELAGEM AMBIENTAL E INDICADORES DE PRESSÃO NOS RECURSOS
HÍDRICOS DA ALTA BACIA DO RIO VERMELHO (GOIÁS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Cora Coralina, como requisito para 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.

CIDADE DE GOIÁS, 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA FONTE

Biblioteca Frei Simão Dorvi – UEG Câmpus Cora Coralina

Bibliotecária responsável: Marília Linhares Dias – CRB 1/2971

F825m Franco, Ana Carolina Santomé.

Modelagem ambiental e indicadores de pressão nos recursos hídricos da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás) [manuscrito] / Ana Carolina Santomé Franco. – Goiás, GO, 2021.

79f. il.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Souza.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Câmpus Cora Coralina, Universidade Estadual de Goiás, 2021.

1. Recursos hídricos - Cerrado. 1.2. Crise hídrica.
1.3. Gestão hídrica. 1.4. Bacia do Rio Vermelho - indicadores de pressão e paisagem. I. Título.
II. Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Cora Coralina.

CDU: 504.5(817.3)

FOLHA DE JULGAMENTO

Título: Modelagem Ambiental e Indicadores de Pressão
nos recursos hídricos da Alta Bacia do Rio Vermelho (GOIÁS).

Mestranda: Ana Carolina Santomé Franco.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Geografia (PPGEO-UEG)

Mestrado em Geografia

Data da defesa: 11/03/2021.

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
PPGEO –UEG – Câmpus Cora Coralina

Elfany Reis do Nascimento Lopes

Titular: Prof. Dr. Elfany Reis do Nascimento Lopes
UFSB – Câmpus Porto Seguro

Rio Vermelho
Velho camarada
Nas tuas águas
murmurantes
Leva mensagem
inacabada
Rio Vermelho
Fala por mim

(Euler Amorim)

Aos meus pais, minha irmã e a toda minha família, por todo o apoio e confiança recebida, meu muito obrigada. Este trabalho é dedicado a vocês.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, força superior que me dá condições para alcançar cada objetivo, pela coragem e persistência durante a caminhada do mestrado e por tudo que me proporciona na vida.

Durante o meu caminhar, contei com o apoio incondicional de muitas pessoas, as quais quero aqui expressar os meus agradecimentos.

À minha mãe, Selma, ao meu pai, Yumar, e à minha irmã, Amanda, que sempre me deram suporte em todos os momentos, sendo pessoas indispensáveis para que minha vida acadêmica tenha chegado até aqui. O amor que vocês têm por mim é o que me estimula a lutar e vencer todos os dias.

Agradeço ao meu companheiro e incentivador de todas as horas, Robson, por todo apoio, por ouvir sobre minhas incertezas e ansiedades, pela compreensão, pelo amor e cuidado e, acima de tudo, pela coparticipação neste ideal.

Ao meu orientador e amigo, José Carlos, sou imensamente grata por dar-me importantes orientações durante a execução deste trabalho, pelos seus ensinamentos, sua paciência, profissionalismo e empenho ao longo destes dois anos. Esta vitória também é sua.

Agradeço à minha família, aos meus amigos e aos meus colegas da primeira turma do Programa, que partilharam conhecimentos, desafios, risadas e aprendizagens em muitas fases deste ciclo e, em especial, à Fernanda e à Maíra, que acreditaram até o final no meu sucesso. Vocês são partes essenciais na minha trajetória e contribuíram de forma significativa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEG, que participaram e contribuíram neste caminhar.

Agradeço ao Grupo de Estudo, Pesquisa e Extensão “Águas do Cerrado/GWATÁ-UEG”, ao qual sou integrante, por todo conhecimento adquirido durante os encontros para eu chegar até aqui. É um grupo que me motivou e me motiva a sempre estar atenta aos cuidados com nosso meio ambiente.

Grata ao Núcleo de Pesquisa em Agroecologia e Educação do Campo - GWATÁ/UEG, na pessoa do querido Professor Murilo, por todo acolhimento, por todas as aprendizagens, apoio e incentivo prestados.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Elfany e Prof. Dr. Patrick, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com valiosas contribuições para este trabalho. Gratidão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, sendo de vital importância para o financiamento e viabilização da pesquisa.

À Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Cora Coralina, universidade pública, gratuita e de qualidade, que me deu tudo que sou e que ainda oportuniza a outros a mesma chance.

A todos, de coração, muito obrigada!

RESUMO

Os estudos em Bacias Hidrográficas têm se tornado cada vez mais constantes, enquanto recortes espaciais de análise geográfica, para a avaliação do nível de degradação ambiental e identificação das potencialidades e vulnerabilidades do comportamento de um sistema natural, seja ele antropizado ou não. Tais estudos possibilitam cada vez mais condições para que se tenham bons diagnósticos voltados ao planejamento e gestão dessas áreas. Nesse contexto, as ferramentas de geoprocessamento vêm sendo importantes para os procedimentos da modelagem de sistemas ambientais, auxiliando na definição de indicadores e nos diagnósticos das consequências do uso inadequado dos recursos hídricos. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo desenvolver um índice espacial de pressão nos recursos hídricos para a Alta Bacia do Rio Vermelho, Goiás-GO, (ABRV), na perspectiva da análise integrada da paisagem e baseando-se nas características do meio físico e uso e cobertura do solo. A Alta Bacia compõe o sistema de drenagem da bacia do rio Araguaia; está localizada na porção oeste do território goiano, ocupando uma área de 2.107 km²; e seu território é composto pelos municípios de Goiás e Itapirapuã. Para alcançar os objetivos propostos, foram feitas avaliações espacial, temporal do potencial do uso e cobertura do solo e da densidade de cobertura vegetal (SAVI); um mapeamento de descrição das declividades, geomorfologia e hidrogeologia; uma caracterização dos aspectos climáticos e meteorológicos e, por fim, uma elaboração do índice de pressão nos recursos hídricos, a partir da correlação das variáveis levantadas, utilizando a análise multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Os resultados obtidos por meio da aplicação das variáveis no método AHP apresentaram o mapa final da ABRV, com classes que variaram em muito alta (5,93%), alta (6,73%), moderada (18,4%), baixa (41,16%) e muito baixa (28,28%) no Índice de Pressão nos Recursos Hídricos. Foi observado que os fenômenos desencadeados na bacia, em relação à condição de crise hídrica, estão relacionados à superexploração dos recursos hídricos, à alteração dos canais de drenagem, à ocupação das Áreas de preservação permanente (APPs) e à substituição da vegetação natural por pastagens. Essas condições associadas ao potencial de recarga e vazão, atribuído aos elementos do meio físico, explicam o cenário de escassez de água que se agrava no período de estiagem. Assim, é de elevada importância para o planejamento ambiental regional e para uma boa gestão a preservação e conservação dos recursos naturais da bacia como um todo, e também uma gestão compartilhada da água.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos. Crise Hídrica. Paisagem. SIG. Cerrado.

ABSTRACT

Researches in Watersheds have become increasingly constant, as spatial cutouts of geographic analysis, for the assessment of the level of environmental degradation and identification of the potential and vulnerabilities of the behavior of a natural system, anthropized or not. Such studies make possible more and more conditions for having good diagnoses focused on the planning and management of these areas. In this context, geoprocessing tools have been important for the procedures of modeling environmental systems, helping to define indicators and diagnose the consequences of the inappropriate use of water resources. In this way, this work aimed to develop a spatial pressure index on water resources for the Alta Bacia do Rio Vermelho, Goiás-GO, (ABRV) – a Watershed –, in the perspective of the integrated landscape analysis and based on the characteristics of the physical environment and use and land cover. The Watershed makes up the drainage system of the Araguaia River Watershed; it is located in the western portion of the state of Goiás, occupying an area of 2.107 km²; and its territory consists of the municipalities of Goiás and Itapirapuã. In order to achieve the proposed objectives, spatial and temporal assessments of the potential for land use and cover and the density of vegetation cover (SAVI) were made; a mapping of the description of the slopes, geomorphology and hydrogeology; a characterization of climatic and meteorological aspects and, finally, an elaboration of the pressure index in water resources, based on the correlation of the variables raised, using the AHP (Analytic Hierarchy Process) multicriteria analysis. The results obtained by applying the variables in the AHP method presented the final map of the Watershed (ABRV), with classes that ranged from very high (5,93%), high (6,73%), moderate (18,4%), low (41,16%) and very low (28,28%) in the Pressure Index in Water Resources. It was observed that the phenomena triggered in the Watershed, in relation to the water crisis condition, are related to the overexploitation of water resources, the alteration of drainage channels, the occupation of APPs (Permanent Preservation Áreas) and the replacement of natural vegetation by pastures. These conditions associated with the potential for recharge and flow rate, attributed to the elements of the physical environment, explain the scenario of water scarcity that worsens during the drought period. Thus, it is of high importance for regional environmental planning and for good management to preserve and conserve the natural resources of the basin as a whole, in addition to shared water management.

Keywords: Water resources. Water Crisis. Landscape. SIG (Geographic Information Systems). Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da Alta Bacia do Rio Vermelho – Goiás	29
Figura 2 – Fluxograma metodológico para a geração dos indicadores de pressão nos recursos hídricos da ABRV	33
Figura 3 – Uso e cobertura do solo da ABRV nos anos 1989, 1999 e 2009	36
Figura 4 – Porcentagem das classes de uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás), nos anos de 1989, 1999 e 2009	36
Figura 5 – Uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho, Goiás - 2019	38
Figura 6 – Declividades da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)	42
Figura 7 – Hidrogeologia da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)	43
Figura 8 – Geomorfologia da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)	45
Figura 9 – SAVI da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)	47
Figura 10 – Médias máximas e médias mínimas de temperaturas para o Município de Goiás (1987 a 2017)	49
Figura 11 – Estatística descritiva dos dados mensais de precipitação para o Município de Goiás (1990 a 2019)	50
Figura 12 – Totais anuais de chuvas para o Município de Goiás (1990 a 2019)	50
Figura 13 – Potencial de vazão em relação à Hidrogeologia	51
Figura 14 – Potencial de recarga em relação à Geomorfologia	52
Figura 15 – Potencial de infiltração em relação à Declividade	54
Figura 16 – Potencial de infiltração em relação à densidade da cobertura vegetal (SAVI)	56
Figura 17 – Potencial de proteção dos recursos hídricos em relação ao uso/cobertura do solo	58
Figura 18 – Gráfico da Área em porcentagem das variáveis do AHP	62
Figura 19 – Índice de Pressão nos Recursos Hídricos	63
Figura 20 – Unidades de Paisagem em relação ao índice de pressão	63
Figura 21 – Cursos de água da ABRV (Goiás) em períodos de chuva e de estiagem	67
Figura 22 – Áreas de Pastagem na ABRV	68
Figura 23 - Loteamentos irregulares e ocupação de APP no Rio Vermelho	68
Figura 24 – Extração irregular e ilegal de areia no Córrego Bagagem	69
Figura 25 – Área de lazer instaladas em áreas de APP	69
Figura 26 – Captação clandestina e irregular de água no Córrego Bacalhau	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas das bandas espectrais do satélite Sentinel 2A	31
Tabela 2 – Escala de comparação pareada – AHP	34
Tabela 3 – Área em km ² e porcentagem das classes de uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás) – 2019	38
Tabela 4 – Classes de declividades e potencial à infiltração da água	42
Tabela 5 – Descrição dos Sistemas Aquíferos da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)	44
Tabela 6 – Área em km ² e porcentagem das unidades geomorfológicas da ABRV	46
Tabela 7 – Classificação das unidades Hidrogeológicas	52
Tabela 8 – Classificação das unidades Geomorfológicas	53
Tabela 9 – Classificação do Potencial à infiltração em relação à Declividade	54
Tabela 10 – Classificação do SAVI	56
Tabela 11 – Valores das classes em relação à capacidade de infiltração de água	58
Tabela 12 – Matriz de comparação pareada com os pesos atribuídos pelos especialistas	61
Tabela 13 – Pesos das variáveis	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	15
1.2 Justificativa	15
2 BACIA HIDROGRÁFICA: ABORDAGEM TEÓRICO-METODOLÓGICA DE ANÁLISE GEOGRÁFICA	17
2.1 Bacia Hidrográfica enquanto recorte espacial de análise geográfica	17
2.2 Paisagem e Geossistema	21
2.3 As dimensões da crise hídrica	24
2.4 Modelagem Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Área de estudo	29
3.2 Mapeamento temporal do uso e cobertura do solo	30
3.3 Mapeamento de descrição das declividades, geomorfologia e hidrogeologia	30
3.4 Cálculo do SAVI	31
3.5 Caracterização climática e meteorológica	32
3.6 Aplicação do método multicritério AHP (Análise hierárquica de processos)	32
4 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS	35
4.1 Análise espaço-temporal de uso e cobertura do solo	35
4.2 Caracterização físico-natural e biofísica	40
4.3 Caracterização climática	47
4.4 Caracterização meteorológica	48
5 NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS E DEFINIÇÃO DO INDICADOR	51
5.1 Descrição e análise dos critérios e variáveis	51
5.2 Combinação de Critérios e elaboração do Índice	60
5.3 Cenário das condições ambientais dos recursos hídricos da ABRV	65

CONSIDERAÇÕES FINAIS71

REFERÊNCIAS72

1 INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados aos múltiplos usos dos recursos hídricos, bem como seus conflitos, atingem escalas geográficas diversas, que vão de ambientes urbanos densamente povoados a áreas agrícolas. As demandas urbanas, rurais e industriais, dentre outras, têm provocado pressão nos recursos hídricos e potencializado processos de degradação, que culminam na redução da vazão dos rios, condições de intermitência, poluição e contaminação, configurando condições de uma crise hídrica.

No Brasil, um importante marco para o estabelecimento de normas para gestão dos recursos hídricos foi a criação da Lei das Águas (Lei nº 9.433/97), que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e define as bacias hidrográficas como unidades territoriais para implementação dessa política (BRASIL, 1997). No entanto, a gestão das águas em uma bacia hidrográfica requer a compreensão sistêmica e integrada de fatores ambientais e socioeconômicos, com vistas à compreensão da relação entre o potencial de produção de água na bacia, a pressão exercida pelos múltiplos usos da água e o potencial de degradação dos recursos naturais frente ao processo de uso e ocupação do solo.

As modelagens aplicadas a bacias hidrográficas têm contribuído no diagnóstico das condições ambientais e socioeconômicas de bacias para, posteriormente, subsidiar a implementação dos sistemas de gestão dos recursos hídricos (JACOBI; FRACALANZA, 2005; FONTANELLA *et al.*, 2009; PIZELLA; SOUZA, 2013). Dentre as modelagens aplicadas a diagnósticos ambientais em bacias hidrográficas, tem-se os métodos de multicritério. No contexto das modelagens ambientais, esses métodos preconizam a combinação de variáveis ambientais para geração de indicadores, com vistas à identificação de suscetibilidade, vulnerabilidade, risco ou danos em recursos naturais (SOARES, 2004; CORSEUIL, 2006; CORDÃO, 2009).

O método de análise hierárquica AHP (*Analytic Hierarchy Process*) 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 permite modelar múltiplos critérios simultaneamente, com a possibilidade de arbitragem e atribuição de valores por especialistas. O método tem sido amplamente utilizado na definição de indicadores de vulnerabilidade ambiental e/ou suscetibilidade à erosão dos solos em bacias hidrográficas, como os trabalhos de Pinese Júnior e Rodrigues (2012), Falcão (2013), Padilha, Trevisan e Cruz (2014), Schmidt e Barbosa (2016), Fernandes *et al.* (2019), Caldas, Silva e Santos (2019), dentre outros.

A aplicação de modelos como o AHP em bacias hidrográficas requer o uso de geotecnologias. As técnicas de geoprocessamento se apresentam como suportes importantes no desenvolvimento de indicadores ambientais, pois nos *softwares* de geoprocessamento é possível fazer a interpretação e tratamento das variáveis, aplicação do modelo matemático para geração do indicador e elaboração dos produtos cartográficos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um índice espacial de pressão nos recursos hídricos para a Alta Bacia do Rio Vermelho, Goiás, (ABRV), na perspectiva da análise integrada da paisagem e baseando-se nas características do meio físico e uso e cobertura do solo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a distribuição espacial e temporal do uso e cobertura do solo no período entre 1989 a 2019;
- Avaliar as características topográficas e morfológicas, visando a definição do potencial de vazão, recarga e infiltração;
- Caracterizar os aspectos climáticos e meteorológicos, em uma escala temporal de 30 anos, para compreender a variabilidade e o comportamento das chuvas e temperaturas;
- Avaliar a densidade de cobertura vegetal, visando a delimitação de um indicador do potencial para abastecimento do lençol freático, a partir do SAVI;
- Correlacionar as variáveis e gerar o índice por meio do método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

1.2 Justificativa

O histórico processo de ocupação do solo na ABRV desencadeou uma situação de crise hídrica que vem afetando o abastecimento de água potável nos municípios que a compõem. Nas áreas urbanizadas, o constante desrespeito à legislação urbana e ambiental é praticado pelo

ininterrupto parcelamento ilegal e clandestino do solo, que institui bairros residências em Áreas de Proteção Permanente (casos verificados em campo no Distrito de Águas de São João; Setor Maribela; Setor Santa Isabel, etc.), vem alterando a disponibilidade hídrica existente na região, bem como comprometendo a qualidade da água bruta. Na área rural, o crescente desmatamento associado à expansão da pastagem e da agricultura dificulta o processo de infiltração e armazenamento da água no subsolo, contribuindo para a intermitência dos recursos hídricos existentes.

A pressão exercida pelo padrão econômico estabelecido, a especulação imobiliária e a ineficácia dos órgãos de fiscalização urbano-ambiental são componentes da atual vulnerabilidade do meio ambiente. A combinação de diferentes fatores (econômicos, sociais, ambientais e culturais) levou os moradores da região da ABRV a conviverem, durante o verão, com o iminente risco de enchentes, principalmente em áreas urbanas, em função do processo de assoreamento do sistema fluvial, da ocupação irregular das margens de rios e córregos, da compactação dos solos e da ampliação do escoamento superficial aliada a quase inexistência de uma rede pluvial de drenagem urbana. Durante o período de estiagem (inverno cerradoeiro), a expressiva diminuição da capacidade de infiltração, cada vez mais reduzida pela supressão da cobertura vegetal e as diminutas localidades com potencial de recarga hídrica, também vitimadas pelos constantes crimes ambientais (tais como o represamento clandestino dos cursos d'água, a captação ilegal de águas subterrânea e superficiais, e a degradação de nascentes e olhos d'água) vêm provocando o esvaziamento do leito de vários rios e córregos, determinando a crise de abastecimento na bacia.

Diante desse cenário, fazem-se necessários estudos de análise integrada da paisagem, com vistas a um diagnóstico das condições ambientais que viabilize identificar os graus de vulnerabilidade e pressão nos recursos hídricos, considerando a integração dos aspectos do meio físico, biótico e de uso do solo, possibilitando, por meio de uma caracterização das variáveis ambientais, a determinação das potencialidades e da capacidade de suporte de cada sistema.

2 BACIA HIDROGRÁFICA: ABORDAGEM TEÓRICO-METODOLÓGICA DE ANÁLISE GEOGRÁFICA

2.1 Bacia hidrográfica enquanto recorte espacial de análise geográfica

As Bacias Hidrográficas (BH) são recortes espaciais de estudos de análise geográfica, possibilitando condições para que se tenha bons diagnósticos geoambientais voltados ao planejamento e gestão de áreas, a fim de propiciar uma melhor abordagem sobre os recursos hídricos, considerando que o comportamento de uma bacia ocorre por fatores tanto de ordem natural como resultante da ação antrópica. Assim, BH, enquanto recortes espaciais, continuam sendo fundamentais para a avaliação do nível de degradação ambiental e identificação das potencialidades e vulnerabilidades do comportamento de um sistema natural, seja ele antropizado ou não.

Uma BH é uma área drenada por um ou vários sistemas de drenagens, que se fundem a uma saída comum. Para serem delimitadas, são utilizados os divisores topográficos que são representados pelas mais elevadas altitudes do relevo, denominados de divisores de água. A área de uma bacia é influenciada pelas características dos meios físico, biótico e antrópico, sendo o relevo um dos fatores mais importantes, pois determina os processos hidrológicos, como a velocidade de escoamento superficial, as taxas de recarga e vazão de água (CARVALHO; SILVA, 2006).

Para Botelho e Silva (2010), as BH são células básicas de análise ambiental e unidades espaciais ideais para o planejamento e gestão ambientais, sendo que nessas unidades é possível avaliar diversos componentes e os processos e interações que nelas ocorrem, onde a visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção deste recorte espacial para estudos socioambientais. Uma BH pode ser, então, considerada um ente sistêmico, no qual se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água, além de sedimentos e organismos que fundem a uma saída comum, denominada exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008).

As bacias também são concebidas como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes (GUERRA, 1993), cuja delimitação é dada pelas linhas divisoras de água que demarcam seu contorno. As linhas são definidas pela conformação das curvas de nível existentes na carta topográfica e que ligam pontos mais elevados na região da drenagem considerada (ARGENTO; CRUZ, 2013).

Uma BH é composta por uma rede de drenagem que, segundo Cunha (2015), é definida como:

A rede de drenagem fluvial é constituída por um conjunto de canais de escoamento interligados. A área drenada por este sistema é definida como bacia de drenagem e essa rede de drenagem depende não só do total e do regime das precipitações, como também das perdas por evapotranspiração e infiltração. Têm papel importante no escoamento canalizado: a topografia, a cobertura vegetal, o tipo de solo, a litologia e a estrutura das rochas (CUNHA, 2015, p. 223).

Dessa forma, é preciso considerar que os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos vão refletir num determinado ponto de saída da drenagem. Assim, as bacias revelam-se como unidades especiais ideais ao entendimento dos processos físico-naturais que afetam na tomada de decisões num âmbito local e regional (COELHO NETTO, 2015).

Portanto, por meio do conceito de BH, enxerga-se a necessidade da gestão desses recursos hídricos com a participação do poder público, da sociedade, dos pesquisadores e afins. Afinal, a água é essencial e indispensável às nossas vidas e, por isso, é importante a implementação de ações preventivas para a conservação desse recurso natural.

No âmbito da legislação brasileira e das políticas de gestão do território, as BHs passam a tomar uma dimensão de unidade territorial preferencial para implementação de programas e projetos de gestão ambiental, com vistas, principalmente, à regulamentação dos múltiplos usos da água, com indicadores e medidas para redução dos impactos nos recursos hídricos.

Nessa perspectiva, foram criadas Leis Estaduais, Federais e Municipais para a regulamentação dos usos da água, sendo uma delas, a Lei nº 9.433/1997 – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), que estabeleceu os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) constitui-se em um planejamento estratégico para o período de 2005 a 2020 e estabelece diretrizes, metas e programas, pactuados socialmente, por meio de um amplo processo de discussão, que visam assegurar às atuais e futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, com base no manejo integrado dos Recursos Hídricos (MMA, 2006).

A Agência Nacional de Águas (ANA), criada pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, é uma autarquia vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), dedicada a fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas do Brasil (9.433/97). A ANA tem sido uma entidade cuja função é propiciar suporte técnico aos Comitês de bacia hidrográfica, criada mediante

solicitação destes e autorização do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e que deve ser assegurada, por meio da cobrança, pelo uso dos recursos hídricos em sua área de atuação.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são instâncias de gestão dos recursos hídricos criados para debates e para propor ações de interesse comum. Um comitê constitui-se do “Parlamento das Águas”, espaço em que representantes da comunidade de uma BH discutem e deliberam a respeito da gestão dos recursos hídricos, compartilhando responsabilidades de gestão com o poder público e objetivando a aprovação do Plano de Recursos Hídricos da BH. É dever do comitê, segundo a ANA (2011), além de aprovar o plano, acompanhar sua implementação para garantir a efetivação das metas estabelecidas; acompanhar a realização dos programas nele priorizados, das metas de racionalização de uso e o aumento da quantidade e melhoria da qualidade; estabelecer prioridades para outorga de direito de uso de recursos hídricos, diretrizes e critérios gerais para cobrança e condições de operação de reservatórios, visando garantir os usos múltiplos, entre outros.

A gestão do aproveitamento sustentável dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica pressupõe a elaboração e aplicação de estudos planejadores que possam normatizar, a partir da constituição de um corpo jurídico estabelecido, a dinâmica de uso e ocupação do solo, estimulando ou limitando a presença e intensidade de atividades existentes na escala observada. Atualmente, a legislação ambiental no Brasil prevê a necessidade de se observar, por meio de diagnósticos e planos de intervenção, os limites ecológicos existentes em um dado sistema de drenagem, preocupando-se com a manutenção de seu equilíbrio. O Plano Nacional de Recursos Hídricos e o Estatuto da Cidade são exemplos do ordenamento jurídico nacional que busca disciplinar os múltiplos usos da água.

O gerenciamento de BH necessita, nesse sentido, uma compreensão multidisciplinar que incorpore as distintas dinâmicas da natureza, integrada aos processos sociais, configurando uma leitura interpretativa de feição holística e sistêmica. O planejamento e a gestão podem, assim compreendidos, se materializar como importantes instrumentos de adequação aos múltiplos usos da água e do solo, sendo mais uma ferramenta utilizada no esforço de assegurar a disponibilidade de água para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, social e ambiental (LEAL, 2012).

Os problemas ambientais são consequências das práticas econômicas intensivas, as quais geram a degradação dos recursos naturais, resultando em perda da qualidade de vida e, principalmente, a fragilização de ambientes naturais e antropizados, gerando impactos ambientais (ROSS, 1994). Segundo a Resolução do Conama (Conselho Nacional de Meio Ambiente), nº 001/86, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas,

químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

A lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, inciso II do artigo terceiro, conceitua ao termo degradação ambiental como a alteração adversa das características do meio ambiente. Essas condições, muitas vezes, comprometem a qualidade de vida das populações, influenciando o surgimento de diversos conceitos no âmbito dos estudos geoambientais em bacias, como fragilidade, vulnerabilidade e risco.

A fragilidade ambiental está intimamente associada às intervenções humanas, seja ela de maior ou menor impacto. Enquanto os avanços tecnológicos na exploração de ambientes foram se desenvolvendo, progressivamente, ao longo do tempo, foram provocando mudanças na paisagem natural (ROSS, 1994). O termo fragilidade ambiental está ligado a qualquer alteração em diferentes variáveis que se encontram na natureza e que são capazes de ocasionar falhas no desenvolvimento de todos os sistemas ambientais por apresentarem uma maior ou menor vulnerabilidade e que, segundo suas funções e características, podem desequilibrar todo o meio, provocando até situações de risco (SPORL; ROSS, 2004).

Para Carvalho, Souza e Santos (2003), a vulnerabilidade ambiental está relacionada às condições dos meios físico e biótico, pressionados pela ação antrópica. A vulnerabilidade ou fragilidade ambiental está relacionada com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007). Assim, a vulnerabilidade está vinculada aos processos de conservação e transformação atuantes em uma dada paisagem, levando em conta o potencial de regeneração diante das pressões desencadeadas por fontes externas. Franco *et al.* (2017) apontam que a vulnerabilidade está relacionada aos níveis de capacidade da paisagem em se regenerar frente à reação ou inserção de fenômenos, com potencial de mutação do equilíbrio físico e ecológico existente. Diversas são as fontes que podem impulsionar o desequilíbrio físico e ecológico, como o desmatamento, a poluição, a contaminação, a exclusão social, a pobreza, o desemprego, a ausência de políticas habitacionais, dentre outras.

O risco ambiental pode ser associado às noções de incerteza, exposição ao perigo, perda e prejuízos em decorrência de processos naturais ou associados às relações humanas (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005). Souza e Zanella (2009) reforçam que os riscos devem ser tratados como resultado da relação entre ameaça e vulnerabilidade. A noção de risco se estabelece com base

na relação conflituosa entre o homem e o seu ambiente, em um processo de mútua influência. Conforme assinala Brilhante e Caldas (2002), a noção de risco ambiental é comumente confundida com a de impacto ambiental, embora esses dois eventos estejam intimamente relacionados, existe diferença significativa entre eles. Impacto corresponde a uma interferência num ambiente, podendo essa ser positiva ou negativa. Já o risco assume sempre um efeito negativo.

Dessa forma, os riscos ambientais são gerados, muitas vezes, em áreas de proteção legal ou até mesmo pela falta delas, como, por exemplo, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos rios. Ausência esta gerada pela falta de políticas ambientais e sem aparato dos órgãos licenciadores e fiscalizadores. Não obstante, esses riscos, assim como todos os outros riscos (a retirada da cobertura vegetal, os assoreamentos, os aterros de corpos hídricos, a ocupação das áreas de maior declividade, etc.), interferem significativamente nos processos naturais, desencadeando impactos e riscos emergentes, sendo necessários instrumentos capazes de enfrentar esses problemas para a proteção do meio ambiente como um todo.

Sendo assim, um dos principais desafios do século XXI é a necessidade de uma visão conservacionista em relação às BHs, assegurando a proteção legal dos recursos naturais a partir de um planejamento socioambiental que contribua na elaboração de planos de gestão dos recursos hídricos, estabelecidos por políticas públicas municipais, estaduais e da União. Ações estas que possam garantir a disponibilidade da água com quantidade e qualidade para os múltiplos usos, mantendo, assim, os ciclos naturais e a vida em todas as suas formas.

2.2 Paisagem e Geossistema

As paisagens refletem as transformações temporais e conservam testemunhos de tempos passados, mas enquanto as paisagens naturais só variam em um ritmo secular ou geológico, as paisagens econômicas mudam relativamente depressa, de geração em geração e, inclusive, durante a própria observação do geógrafo (TROLL, 1997).

Os sistemas ambientais apresentam uma configuração espacial resultante das inter-relações entre seus componentes naturais de origem geológica, geomorfológica, hidroclimática, pedológica e bioecológica, produzindo diferentes paisagens. Os sistemas ambientais, também considerados como geossistemas, são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas entre si e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Um sistema é uma unidade de organização do ambiente natural. Em cada sistema verifica-se a interpelação e interdependência entre seus componentes e estes são dotados de potencialidades e limitações sob o ponto de vista dos recursos ambientais. Como tal, reagem também de forma singular frente as condições temporais de uso e ocupação (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Em uma BH, por exemplo, como menciona Almeida e Tertuliano (2015), as condições climáticas, litológicas e biogeográficas vão condicionar a organização da estruturação da rede de drenagem e das formas de relevo. Em um estado de estabilidade dinâmica, as geometrias da rede fluvial e da morfologia encontram-se em um estado de equilíbrio dinâmico e somente sofrerão modificações se porventura houver alterações nas variáveis condicionantes.

As sociedades, ao apropriarem-se do território e de seus recursos naturais, causam alterações na paisagem natural, com um ritmo muito mais intenso do que aquele produzido pela natureza. As intervenções humanas modificam as intensidades dos fluxos energéticos, gerando impactos que podem ser irreversíveis ao ambiente (ROSS, 2009).

Os recursos hídricos, segundo Botelho (2011), têm sido alvo de intervenções antrópicas ao longo tempo e, em tempos historicamente mais recentes, são registradas as maiores alterações, notadamente nos rios. Essas interferências resultaram em novas paisagens, com novos elementos e novas dinâmicas, induzidas pela pressão que os seres humanos impõem ao uso dos recursos naturais, especialmente dos corpos hídricos.

Os problemas ambientais decorrentes das práticas predatórias têm implicações para a sociedade a médio e longo prazos, pois, o uso intensivo dos recursos naturais e a degradação generalizada, como a perda de qualidade ambiental dos ambientes, interferem diretamente na qualidade de vida das populações, tornando-se cada vez mais urgente o planejamento territorial, numa perspectiva econômico-social e ambiental (ROSS, 2009).

O agravamento e ampliação dos problemas ambientais têm levado pesquisadores à busca de soluções, alternativas ou propostas de mitigação dos processos de degradação ambiental provocados pelas atividades humanas. Nesse sentido, Guerra e Marçal (2010) ressaltam que um dos maiores desafios para as ciências, na atualidade, seria o de ajustar suas metodologias, ou redirecionar suas ações, na tentativa de apontar mecanismos e possíveis respostas que possam levar a soluções que orientem formas adequadas de planejamento, recuperação e conservação das paisagens naturais.

A análise integrada da paisagem, enquanto método vinculado à abordagem geossistêmica, é uma das propostas utilizadas para diagnosticar os impactos nos meios físico, biótico e socioeconômico, visto que as diferentes paisagens são construídas por diferentes

dinâmicas sociais, econômicas e culturais, em diferentes espaços de tempo, estabelecidas sobre ambientes com elementos naturais diversos, complexos, dinâmicos e interdependentes.

Os geossistemas, segundo Sotchava (1978 apud ROSS, 2009), são sistemas dinâmicos abertos, hierarquicamente organizados e que expressam a conexão da natureza com a sociedade, de forma complexa e integrada, entendendo o funcionamento da dinâmica e dos sistemas por eles inseridos. O geossistema resultaria da combinação do potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia) com a exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e a ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica e sim um complexo essencialmente dinâmico (CHRISTOFOLETTI, 1999; BERTRAND, 2004).

A paisagem é um recorte espacial de análise geográfica que apresenta características sistêmicas. Percebida através de uma visão científica, a paisagem é:

[...] uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004).

Para Guerra e Marçal (2010), a paisagem corresponde a um todo ambiental e sua abordagem, como conceituação teórico-metodológico, corresponde aos estudos ambientais de forma integrada. Os métodos e técnicas vinculados à análise geossistêmica da paisagem proporcionam a identificação, classificação e diagnóstico geoambientais.

Segundo Ross (2009), é a partir de Bertrand (1971) que os estudos relacionados aos geossistemas no Brasil foram conhecidos, sendo que Bertrand tomou como base demonstrar que o estudo da paisagem deve se basear no conceito e nos métodos geossistêmicos.

Nesse contexto, a análise da paisagem se apresenta como alternativa metodológica, possibilitando compreender, a partir de uma visão sistemática, o conjunto dos atributos da natureza e sua interação com a sociedade (FERREIRA, 2010). Assim, Tricart (1977, p. 19) afirma que a perspectiva sistêmica “[...] é o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”, já que permite “[...] adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto [...]”.

Nessa perspectiva, entender a paisagem em suas diversas esferas com todas as suas dinâmicas é um processo de grande desafio e as metodologias têm sido cada vez mais diversas e precisas, dimensionando as condições e mudanças ambientais e criando instrumentos de planejamento e manejo de sistemas ambientais.

2.3 As dimensões da crise hídrica

Ao longo da trajetória humana, inúmeras formas de significações da realidade foram colocadas em usos e desusos. Na tradição do mundo ocidental, em sua nascente filosofia, a Escola de Mileto (500 a.C.) argumentava e apresentava como problemática fundamental a ideia de natureza e seus princípios. Tales de Mileto indicava o úmido – *hidos* como elemento estruturante da natureza. Segundo Mileto, a vida teve origem na água, na umidade, sendo que a medida que nos afastamos dela, mais nos aproximamos da morte. Baseado nessa dinâmica, iniciou-se a observação do ciclo da água no mundo ocidental, originando, então, a primeira sentença filosófica do ocidente civilizacional: “Tudo vem da Água” (QUEIROZ, 2013).

Em diversas culturas, a água assume o significado de “matéria perfeita”, com profunda conotação espiritual em função de sua leveza, pureza, transparência e fluidez. Na cosmologia nórdica, o rio Iving separa o mundo dos homens e dos deuses, sendo que no alto das montanhas (hoje, atual Escandinávia) existiria uma fonte (Mimir) com águas que seriam portadoras de sabedoria e conhecimento. Não raramente, os cultos religiosos da antiguidade eram realizados em áreas com forte presença do precioso líquido. Na civilização helênica, a prática de nominar as nascentes como nomes de Ninfas (seres espirituais femininos, vinculados a um local ou objeto na natureza) era a regra estabelecida (QUEIROZ, 2013).

Para Iny (Karajá), seu povo é tributário das águas do rio Araguaia, originado pela figura de Aruanã, um peixe que se fez homem e formou uma tribo de belos guerreiros (NUNES, 2016). Entre os Auwe (Xavantes), as águas de rios e lagos são habitadas por duas entidades Otedewa e Uutedewa. Na região norte do país, as figuras de Iara (Mãe d’água) e Ipubiara (Homem-peixe) são retratadas em várias nações indígenas (DIEGUES, 2007).

O advento da colonização e a expansão do cristianismo, na sociedade ocidental, foi gradativamente ressignificando a relação entre a humanidade e a água. O culto às divindades aquáticas foram classificados de heresias, tendo suas práticas condenadas e criminalizadas. O Batismo cristão, a passagem da transformação da água em vinho e o caminhar sobre as águas são alguns dos poucos momentos de uma direta referência bíblica.

A água é um dos principais recursos naturais, imprescindível para o processo contínuo e equilibrado da reprodução das diferentes formas de vida. Por muitos séculos, a água foi vista como um recurso inesgotável, mas o uso deste recurso hídrico tem se intensificado com o desenvolvimento econômico. Assim, Lanna (2004) ressalta que, tanto no que se refere ao aumento da quantidade demandada para determinada utilização, quanto no que se refere à variedade dessa utilização, o uso está cada vez mais acelerado, tornando esse recurso cada vez

mais finito. Originalmente, a água era usada, principalmente, para dessedentação, usos domésticos, criação de animais e para usos agrícolas, que utilizavam mais a água de chuva e, menos frequentemente, o auxílio da irrigação. Porém, na medida em que a civilização foi se desenvolvendo e utilizando outros tipos de uso, foram surgindo disputas dos usos de recursos hídricos, gerando conflitos.

A chamada modernização das relações sociais e seu “desencanto do mundo” substituíram o sagrado das tradições pela lógica mercantil, apresentando sua nova divindade: a mercadoria. Nesse contexto, ocorre a coisificação do hidro, reduzido a uma mera combinação molecular (H_2O). A urbanização crescente e a elevação da demanda por abastecimento de água encanada provocaram um abismal distanciamento entre as narrativas supracitadas e proporcionou o aparecimento hegemônico da ideia de água como recurso e simples mineral, amplamente absorvido pelas concepções que formularam a atual legislação sobre o tema no país.

Entre os setores com postura ambiental mais consequentes da sociedade brasileira defende-se a insígnia “Água é Direito e não mercadoria”, realizando o justo e correto combate à mercantilização da sede e à total transformação dos mananciais existentes em simples objetos de compra e venda, regulados pela economia de mercado. No entanto, a correta defesa de direitos não pode se restringir ao uso e acesso com qualidade, mas se inserir no direito à produção da própria subjetividade e na recuperação do bem comum que extrapole os clássicos limites do Público e Privado, sem cair no fracassado, desonesto e enganoso canto da Parceria Público - Privada. É neste terreno que deve partir a necessária construção de um Projeto Político Socioambiental, adequado às demandas do novo século, que ainda se inicia e grávido de uma pluriversalidade de incontáveis significados e cores (RIVA, 2016).

A água é um elemento químico natural que se manifesta de distintas formas sob diferentes situações. Os oceanos constituem-se como os maiores reservatórios, que armazenam 97% deste da água do planeta. Nas geleiras estão depositados 2,1% e no subsolo 0,7%. As águas disponíveis na forma lagos e rios somam 0,016%. O continente sul americano é a porção do globo com maior precipitação ao ano e onde está o maior sistema de drenagem do mundo, instalado na região hidrográfica do Rio Amazonas (CHRISTOPHERSON, 2012; GROTZINGER; JORDAN, 2013).

A água é um recurso natural, disformemente distribuída espacialmente e com índices de consumos extremamente desiguais. No Kuwait, cada indivíduo tem acesso a 75 m³/ano, sendo que na Islândia este número se eleva a 600 mil m³/ano (BOUGUERRA, 2004). Dois terços dos mananciais estão concentrados em 23 países de diferentes continentes, sendo 14

nações europeias, e o restante distribuído nos territórios do Brasil, Estados Unidos, Índia, Indonésia e Rússia. A demografia mundial não coincide com a localização das fontes hídricas, a Ásia, que possui 60% da população do planeta, tem em seu território apenas 31,8% da disponibilidade de água doce superficial (ANA, 2009).

Apesar da desigual distribuição das fontes hídricas, a escassez e o acesso à água não são determinados pelas características naturais, sendo a eficácia da gestão o elemento fundamental para a inclusão ou exclusão do consumo. A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água, nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 26%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico, ao uso do solo e ao processo de urbanização do país. A alta vulnerabilidade decorrente de um balanço hídrico (demanda X disponibilidade) desfavorável, associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica, principalmente dos sistemas de produção de água, e períodos de precipitações abaixo da média, pode agravar a situação e conduzir a períodos de crise hídrica por escassez, como verificado em diversas regiões do país nos últimos anos (ANA, 2019).

Com uma área de 340.203,329 km² (IBGE, 2019) e uma população estimada em 7.018.354 (IBGE, 2019), majoritariamente urbana, o Estado de Goiás incorpora na prática produtiva um grande consumo de água, o qual se torna desencadeador de inúmeros impactos e desequilíbrios ambientais. Esvaziamento de rios, desmatamentos, impactos pedológicos, poluição de reservatórios e contaminação por agrotóxicos são algumas das consequências diretamente acarretadas pelas dinâmicas produtivas majoritariamente estabelecidas. Grande parte do uso da terra, hoje no estado, é destinada para produção do complexo grão – carnes e extração mineral.

Atualmente, 60% do uso da terra nas propriedades localizadas no estado de Goiás é constituído por pastos, dando suporte territorial à grande quantidade de cabeças de gado existente no estado. A estimativa do Instituto Mauro Borges da quantidade de bovinos no estado, no ano de 2017, é de 22.835.005 cabeças. Os dados demonstram ainda que 14,5% do uso da terra no estado de Goiás são para lavouras, onde se inclui a soja, o milho e outros grãos. Na pauta de exportações goiana, as posições de liderança (primeiro e segundo lugar) são ocupadas pela carne, que somente é superada pela soja, que representa quase 40% das exportações (IMB, 2017).

O impacto provocado pela grande quantidade de cabeça de gado e pela monocultura, combinado com técnicas inadequadas de manejo de pastagens, além de atentar contra o equilíbrio ambiental (retirada de cobertura vegetal, degradação de nascentes, compactação dos

solos, emissão de metano na atmosfera), para que sua produção se constitua, é também causa de uma expressiva concentração de riqueza e renda. As formas adquiridas e ainda praticadas na criação do bovino goiano possuem elevado custo hídrico, sendo, por sua vez, um forte agente da degradação socioambiental. A base econômica hoje existente, combinado com modelos inadequados de manejo, contribui para o processo esvaziamento de rios e reservatórios (VILLELA, 2016).

A monocultura e a pecuária extensiva, largamente adotadas ao longo da história, vêm desencadeando a ruptura da renovação do ciclo da vida, provocando a contemporânea crise socioambiental, agravada por sucessivas crises econômicas. A baixa inserção tecnológica da agropecuária goiana e sua demanda de ampliação da produção, em desfavor da produtividade, ampliam a fome por novas terras e são portadoras de conflitos pela posse e uso das terras e das águas. As crises vivenciadas nos territórios são frutos da concentração de riqueza e das formas de organização da reprodução do capital. Compreendida como insumo para movimentar os grandes negócios, a água é introduzida como mercadoria pelo consenso de poucos. Como contraposição, a formação de movimentos sociais, como os da Articulação dos Povos Indígenas do Brasil (APIB) e o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), os Sindicatos de Trabalhadores Rurais, Movimentos Ambientistas, entre várias formas de resistência popular, busca indicar novas alternativas ecologicamente viáveis e socialmente justas.

2.4 Modelagem Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)

A modelagem ambiental é considerada um instrumento entre os procedimentos de pesquisa científica aplicados na descrição e análise de sistemas ambientais. Segundo Christofolletti (1999), uma modelagem permite identificar lacunas e incógnitas e constitui um importante instrumento para análise e investigação nas mudanças dos sistemas ambientais, que, por sua vez, representam entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade se torna uma das suas características inerentes. A organização desses sistemas vincula-se com a estruturação e funcionamento de (e entre) seus elementos, assim como resulta na dinâmica evolutiva (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Na aplicação de modelagens e sistemas ambientais, ressalta-se a importância do uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) para a aplicação dos métodos e técnicas. Os SIGs compreendem os processos de inserção e integração em uma base de dados, de informações espaciais provenientes de bases vetoriais ou matriciais, com vistas ao tratamento, interpretação, análise e visualização de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001; LOCH, 2006).

A modelagem de sistemas ambientais enquadra-se no contexto abrangente da análise espacial. A visualização dos produtos relacionados com a modelagem ambiental, segundo Christofolletti (1999), é característica consignada aos dados espaciais na era dos SIGs e engloba informações espaciais em pixels, pontos, linhas ou polígonos. Os produtos das análises devem ser mapeáveis, pois, os SIGs são tecnologias altamente visuais e devem ser disponibilizados sob forma gráfica e cartográfica.

As geotecnologias que englobam os SIGs, o GNSS (*Global Navigation Satellite System* - Sistema Global de Navegação por Satélite) e as técnicas de sensoriamento remoto, como por exemplo, o uso de imagens orbitais, têm contribuído significativamente nos estudos geoambientais da paisagem. Garcia (2016) pontua que as constantes mudanças no uso e cobertura da terra e suas alterações significativas no balanço hídrico refletem nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, resultando em erosão e transporte de resíduos e elementos químicos. Tais condições causam modificações na qualidade ambiental dos recursos hídricos e, para um diagnóstico que demonstre as consequências do uso inadequado do espaço, o auxílio de ferramentas de geotecnologias para a realização de um levantamento do uso e cobertura da terra é essencial.

As imagens orbitais são produtos de sensoriamento remoto, resultado da detecção e medição quantitativa das respostas espectrais e das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012). As imagens orbitais multiespectrais, processadas e operadas em SIG, são utilizadas para descrever e diagnosticar a dinâmica, função e mudança das paisagens naturais e antrópicas (LANG; BLASCHKE, 2009; SOUZA, 2017).

O SIG permite aos geógrafos integrarem seus dados e métodos de maneira que apoiem as formas tradicionais de análise geográfica, bem como os novos tipos de análises e modelagem, que vão além da capacidade de métodos manuais. As utilizações dos *softwares* são indispensáveis para a realização de pesquisas em diversos segmentos, pois fornecem meios para integrar e atualizar informações, objetivando o êxito dos resultados obtidos. Permitem também fazer uma análise ambiental de forma a entender como alterações se comportam no espaço, sendo um dos pontos mais fortes do estudo do ambiente como um todo (PIRES *et al.*, 2012).

A modelagem ambiental de dados e informações espaciais podem subsidiar formas planejadas de manejo e uso dos recursos naturais em uma BH. São procedimentos/produtos que geram indicadores/índices que contribuem para a espacialização, interpretação, compreensão e mensuração das vulnerabilidades ambientais e das ameaças e pressões provocadas pelas atividades antrópicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A Alta Bacia do Rio Vermelho (ABRV) compõe o sistema de drenagem da bacia do Rio Araguaia e está localizada na porção oeste do território goiano (Figura 1), entre as coordenadas $15^{\circ} 39'00''/ 16^{\circ}50'00''$ de Latitude Sul e $50^{\circ} 02'00''/50^{\circ}37'00''$ de Longitude Oeste. A bacia ocupa uma área de 2.107 km², seu território é composto pelos municípios de Goiás e Itapirapuã e é a localidade onde se encontra as principais nascentes do município de Goiás.

Figura 1 – Mapa de Localização da Alta Bacia do Rio Vermelho – Goiás



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A ABRV tem como principal divisor de águas as porções Leste e Sudeste e a emblemática Serra Dourada, feição geomorfológica a Sudeste da bacia, muito conhecida no estado de Goiás por sua dimensão e beleza cênica. A Serra Dourada é um divisor de águas de duas importantes bacias hidrográficas do estado de Goiás, a bacia do Araguaia e a do Tocantins.

3.2 Mapeamento temporal do uso e cobertura do solo

Os caminhos metodológicos que deram suporte à pesquisa foram análises temporais do uso e cobertura do solo, nos últimos 30 anos, considerando os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019. Assim, foram gerados quatro mapas de uso e cobertura do solo, utilizando as bases do Projeto MapBiomass, que é um projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil e que envolve uma rede colaborativa de especialistas e de instituições de ensino e pesquisa para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra. Esse mapeamento temporal subsidiou descrições e análises da dinâmica da paisagem.

No mapeamento, foram identificadas na bacia as seguintes classes: agricultura/solo exposto, formação florestal, formação savânica, pastagem, formação campestre, área urbana e hidrografia. O mapa de uso e cobertura do solo de 2019 foi reclassificado para definição de classes de pressão nos recursos hídricos. Na descrição das coberturas naturais de Cerrado, foi aplicada a metodologia de Ribeiro e Walter (2008) e os tipos de uso do solo do Manual Técnico de Cobertura e Uso da Terra (IBGE, 2013). Foi realizada também uma análise estatística das formas de uso e cobertura do solo, através de cálculos de percentual para cada classe, no sentido de compreender a variação quantitativa tanto da perda da vegetação nativa do Cerrado, quanto da dinâmica das formas de uso do solo, no período de trinta anos.

3.3 Mapeamento de descrição das declividades, geomorfologia e hidrogeologia

O mapa de declividade foi elaborado a partir do modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, desenvolvido pela NASA (*Nacional Aeronautics and Space Administration*). As imagens SRTM foram adquiridas na plataforma: <http://earthexplorer.usgs.gov/> e o mapa de declividade foi classificado com base na metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), apresentado em porcentagem, considerando as seguintes classes: (<2); (2-6); (6-20); (20-50); (>50). As classes de declividades foram associadas ao potencial de recarga do lençol freático em relação ao potencial de infiltração/escoamento superficial.

O mapeamento das unidades geomorfológicas e hidrogeológicas da ABRV foi feito a partir das bases cartográficas elaboradas pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, disponibilizadas no site do Sistema de Geoinformação do Estado de Goiás (SIEG). A descrição e classificação das unidades foram baseadas em Goiás (2006a) e Goiás (2006b).

3.4 Cálculo do SAVI

Foi calculado ainda o Índice de Vegetação Ajustado Para Correção dos Efeitos do Solo (*Soil-Adjusted Vegetation Index* - SAVI). Este índice foi desenvolvido por Huete (1988), envolve a razão entre as bandas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo e assume uma constante de ajuste de solo, no intuito de minimizar os efeitos do solo na resposta espectral da vegetação. O Índice foi calculado por meio das imagens do Sensor MSI/Sentinel 2A, a partir da equação a seguir:

$$\text{Equação - SAVI} = \left[\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right] * (1 + L)$$

Em que: *NIR* = refletância na faixa do infravermelho próximo; *R* = refletância na faixa do vermelho; *L* = fator de ajuste do solo (0,5) de acordo com a densidade.

As imagens MSI/Sentinel 2A são datadas de julho de 2019 e foram obtidas no portal do *Earth Explorer*. Estas já são adquiridas com correção geométrica, radiométrica e da refletância no topo da atmosfera (TOA) (ESA, 2019), no entanto, foram corrigidas para refletância na base da atmosfera (BOA), utilizando a extensão Sen2Cor do *Software SNAP 6.0*. As características técnicas das bandas utilizadas estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Características técnicas das bandas espectrais do satélite Sentinel 2A

Bandas	Comprimento de onda central (nanômetro)	Resolução espacial (metros)
Band 04 – Red (vermelho)	665	10
Band 08 – Near Infrared (infravermelho próximo)	842	10

Fonte: USGS (2020).

Após o cálculo do SAVI, a imagem índice foi reclassificada para definição de classes de densidade de cobertura vegetal e para indicação do potencial a infiltração. Assim, foram definidas as seguintes classes: vegetação florestal, vegetação arbórea, vegetação esparsa, vegetação rala, solo exposto/impermeabilizado e corpos hídricos, adaptadas na metodologia apresentada por Silva, Melo e Galvêncio (2011). Essas classes foram relacionadas ao potencial de recarga do lençol freático em relação à densidade e vigor da vegetação.

3.5 Caracterização climática e meteorológica

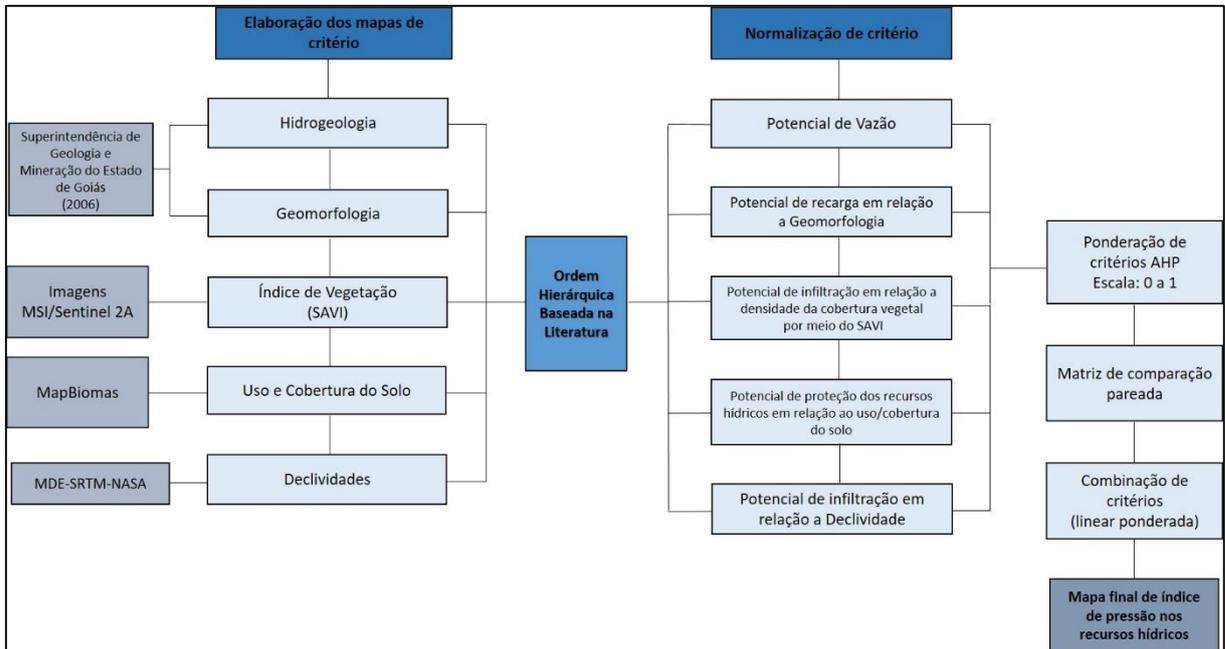
A caracterização climática da bacia foi baseada nos trabalhos de Nascimento *et al.* (2006), Cardoso *et al.* (2014), Silva e Barbalho (2016) e Nimer (1989). Na caracterização meteorológica foram levantados dados climáticos de temperatura máxima e mínima (1987 a 2017) e dados meteorológicos históricos de precipitação (1990 a 2019), em uma escala temporal de 30 anos, para compreender a variabilidade e o comportamento das chuvas, utilizando como base o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

3.6 Aplicação do método multicritério AHP (*Análise hierárquica de processos*)

A partir das variáveis levantadas e classificadas em relação ao potencial de infiltração ou vazão, foi aplicado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para elaboração do mapa de índice de pressão nos recursos hídricos da ABRV. Este método foi desenvolvido na *Wharton School of Business*, por Thomas A. Saaty, e permite aos tomadores de decisão modelar problemas complexos numa estrutura hierárquica. É um método para trabalhar com problemas que envolvem considerações de múltiplos critérios, simultaneamente (ANTONELLO, 2008).

O fluxograma metodológico apresentado na figura 2 descreve os procedimentos que foram desenvolvidos para o tratamento das variáveis e aplicação do método multicritério AHP. Os procedimentos de aplicação do método foram desenvolvidos no *software* de processamento *ARCGIS 10.5* e *QGIS 3.10.10*.

Figura 2 – Fluxograma metodológico para a geração dos indicadores de pressão nos recursos hídricos da ABRV



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

As variáveis Hidrogeologia, Geomorfologia, SAVI e Declividades foram adaptadas a uma ordem hierárquica baseada na literatura, com vistas à definição de indicadores de potencial de abastecimento do lençol freático (infiltração) e vazão para manutenção dos cursos d'água. Em seguida, os valores das classes de cada variável foram normalizados a partir de uma ponderação de critérios, nos quais foram atribuídos valores entre 0 a 1.

A normalização dessas variáveis seguiu as seguintes classes de valores: Muito Alto (1); Alto (0,75); Médio (0,5); Baixo (0,25), Muito Baixo (0,05) e Nulo (0). Esses rótulos são comumente utilizados nos modelos de análise ambiental e os valores atribuídos foi uma ponderação aproximada, considerando intervalos entre (0,2) e (0,25).

Às classes de uso e cobertura do solo também foram atribuídos valores de 0 a 1, mas, neste caso, os valores foram arbitrados por especialistas a partir da aplicação de questionário pela plataforma *Google Forms*. A partir dos valores atribuídos, foram feitas médias aritméticas para chegar ao valor final. Foram consultados nove especialistas com formações nas áreas de Geografia, Biologia, Geologia, Engenharia Florestal e Engenharia Ambiental.

Para a elaboração da matriz de comparação pareada, foram atribuídos valores entre 1 e 9 para cada variável (arbitragem por especialistas), considerando a importância de cada critério no processo de manutenção/equilíbrio dos recursos hídricos. Aos valores atribuídos foram

aplicadas médias aritméticas. A tabela 2 apresenta a escala de comparação pareada que norteou a valoração das variáveis.

Tabela 2 – Escala de comparação pareada - AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (1991).

4 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

4.1 Análise espaço-temporal de uso e cobertura do solo

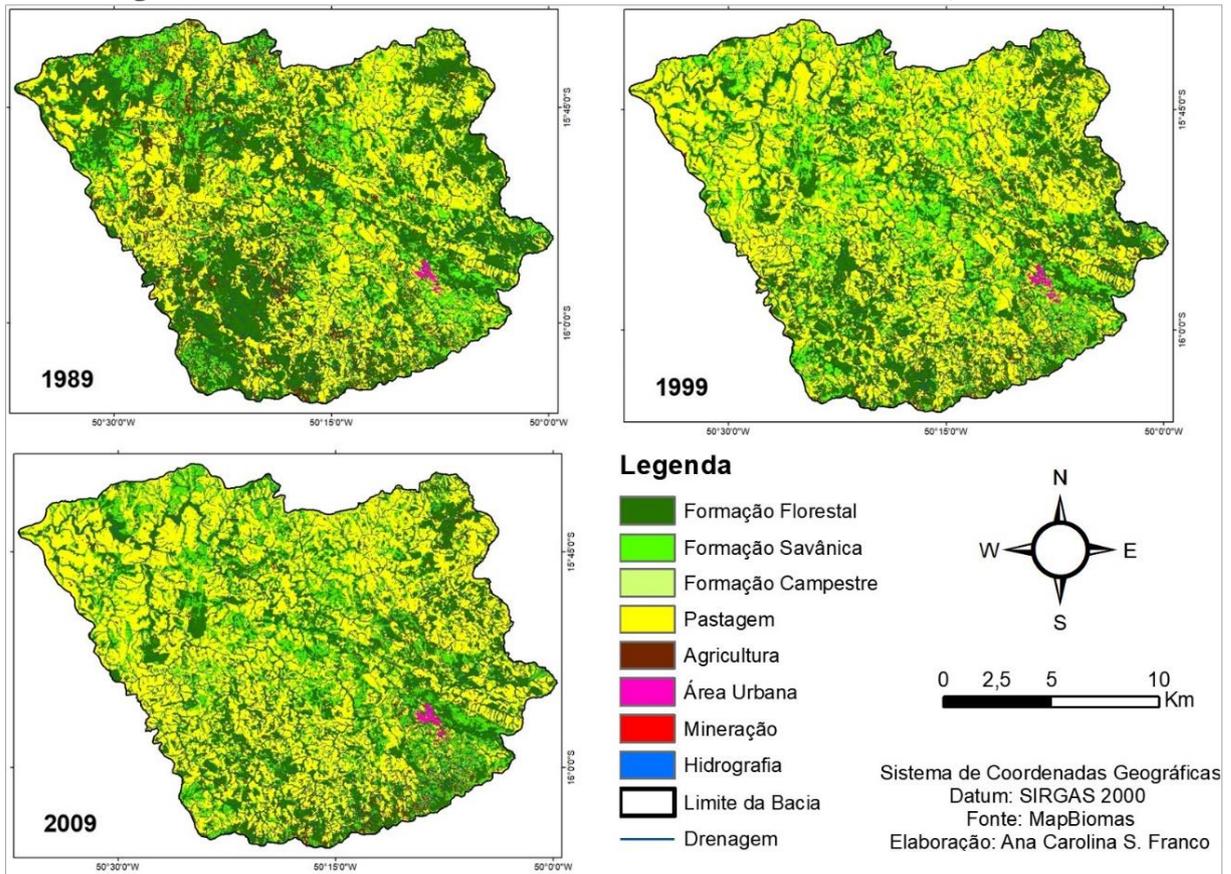
A análise espacial e temporal da evolução do uso e cobertura do solo, possibilita a compreensão da intensidade das mudanças na paisagem que ocorrem em uma determinada Bacia Hidrográfica, permitindo a identificação dos níveis de pressões sobre os recursos naturais. A ABRV está inserida no domínio Fitogeográfico do Cerrado, região natural que vem enfrentando significativas mudanças em suas paisagens para introdução de monoculturas e pastagens plantadas para criação de animais, resultando em uma pressão sobre os recursos hídricos.

A superação das dinâmicas que levam aos processos de degradação ambiental e, conseqüentemente, à crise hídrica passa pela mudança de compreensão do papel representativo do Cerrado brasileiro. O Cerrado é um domínio com mais de dois milhões de quilômetros quadrados, situado nos Planaltos Centrais do Brasil, apresenta importante variabilidade de fauna e flora, aspectos geomorfológicos com alto potencial hídrico e onde imperam climas tropicais de caráter subúmido, com marcada sazonalidade (BARBOSA, 1995).

Importante ressaltar que o Cerrado não é apenas uma vegetação ou um mosaico articulado de fenômenos naturais, tais como clima, pedologia, geomorfologia, comunidade de fauna e flora, etc. Nesta perspectiva, é necessário ir além da ideia de bioma, ecossistema ou domínio fitogeográfico, incorporando na análise interpretativa do Cerrado os sujeitos sociais que atuam historicamente, a partir das suas escalas de poder e das sócio-espacialidades territorializadas.

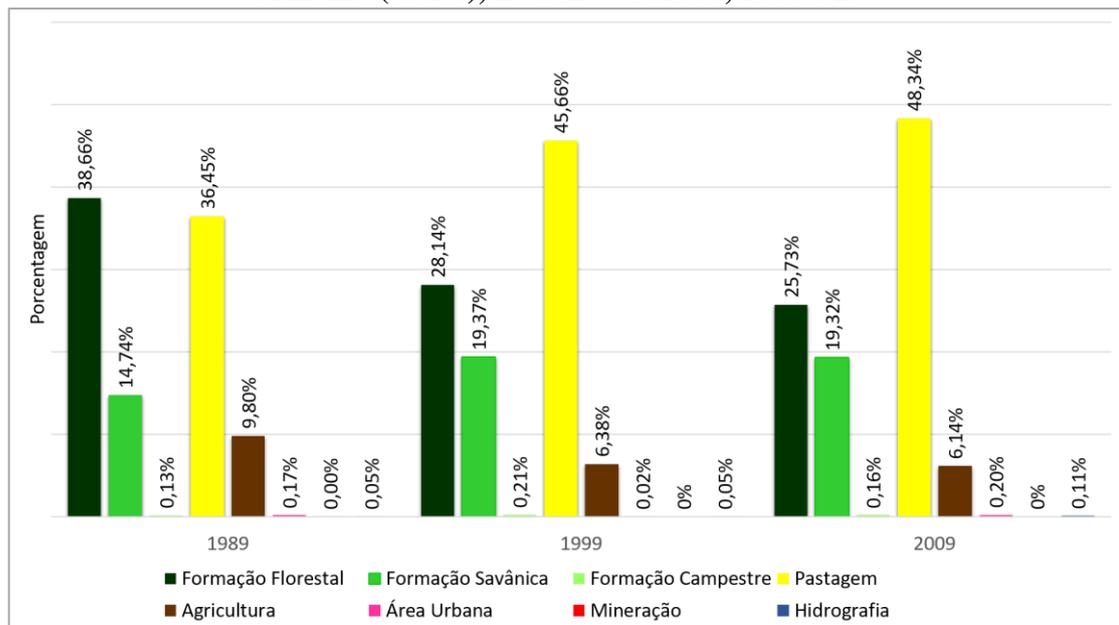
Analisando os dados de uso e cobertura do solo na bacia (Figuras 3, 4 e 5), na série temporal escolhida (1989, 1999, 2009 e 2019), verificou-se que no primeiro ano analisado, a classe com maior ocupação é a formação florestal, correspondendo a 38,66% de toda a ABRV, seguido da pastagem, com 36,45%. As demais classes (agricultura, formação savânica, área urbana, formação campestre e hidrografia) correspondem a 24,89% da área da bacia.

Figura 3 - Uso e cobertura do solo da ABRV nos anos de 1989,1999 e 2009



Fonte: Elaborada pela autora (2019)

Figura 4 – Porcentagem das classes de uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás), nos anos de 1989, 1999 e 2009



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

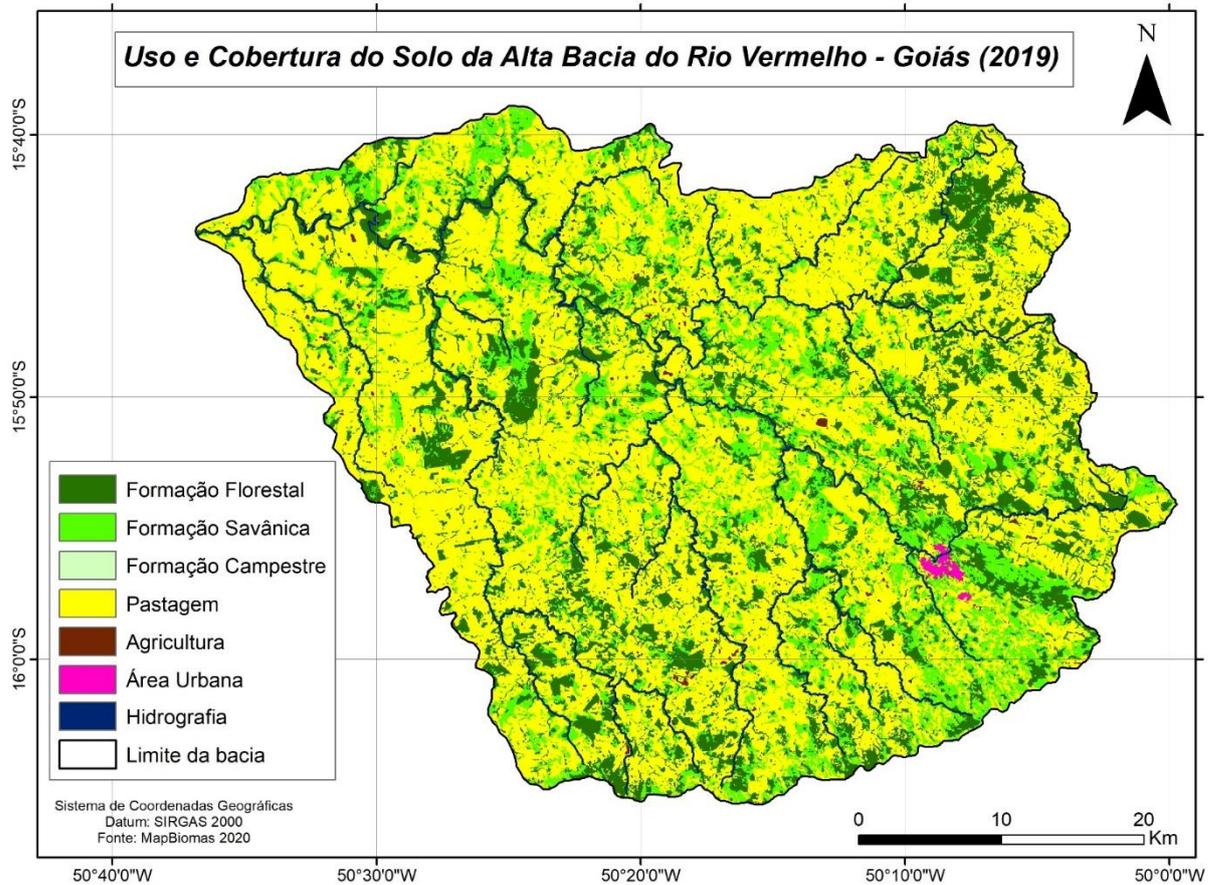
No ano de 1999, verificou-se que houve uma diminuição da formação florestal, que passou a representar 28,14% da área. As áreas de pastagens continuaram predominantes na paisagem, ocupando, nesse ano, 45,66%. No intervalo de tempo citado, há uma tendência ao desmatamento e à supressão da vegetação mais densa, que se deve a consequências da incorporação de terras por práticas agropecuárias e da introdução de pastagem nesse processo. As demais classes de uso e cobertura do solo, em 1999, (agricultura, formação savânica, área urbana, formação campestre e hidrografia) ocupavam 26,01% da área.

No ano de 2009, não menos diferente do mapeamento anterior, a formação florestal continuou apresentando redução, registrando 25,73% de cobertura, enquanto as pastagens tiveram um aumento em área, chegando a 48,34%. As demais classes (agricultura, formação savânica, área urbana, formação campestre e hidrografia) juntas corresponderam, nesse ano, 25,93% (Figura 4).

Na Figura 5 está o mapeamento de uso e cobertura do solo de 2019 e, na tabela 3, (concretizei) são apresentadas as áreas em km² e a porcentagem das classes mapeadas. Assim como nos mapeamentos anteriores, as pastagens são o uso do solo predominante na bacia (60,77%), apresentando crescimento contínuo no período analisado. No entanto, de 2009 a 2019, essa classe registrou o maior crescimento percentual (25,71%), passando a ocupar 1.280,42 km². A formação florestal registrou 20,50% de cobertura, totalizando uma área de 431,93 km², apresentando decréscimo contínuo no período, como pode ser observado na figura 4 e tabela 3, sendo possível inferir que estas áreas foram suprimidas para cultivo de pastagens.

Formações savânicas de Cerrado, no mapeamento de 2019, representou 18,11% da cobertura do solo. Essa classe não registrou variação importante nos mapeamentos de 1999, 2009 e 2019, mas houve uma irrisória redução no período. No entanto, essa formação de Cerrado registrou, em 1989, 14,74% de área, direcionando para uma condição de aumento deste tipo de cobertura vegetal nos mapeamentos subsequentes, o que não é o esperado. Tais condições podem ser explicadas por alguma inconsistência na metodologia de mapeamento ou pelo aumento de áreas destinadas à recuperação ambiental ou preservação ambiental, como reserva legal.

Figura 5 – Uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho - Goiás (2019)



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Tabela 3 - Área em km² e porcentagem das classes de uso e cobertura do solo da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás) – 2019

Classes	Área (%)	Área (Km ²)
Formação Florestal	20,50	431,93
Formação Savânica	18,11	381,57
Formação Campestre	0,08	1,68
Pastagem	60,77	1.280,42
Agricultura	0,34	7,16
Área Urbana	0,17	3,58
Hidrografia	0,03	0,63
Total	100	2.107

Fonte: Mapbiomas (2020).

As análises realizadas a partir do mapa de evolução da cobertura e uso do solo permitiram uma compreensão mais detalhada da dinâmica da paisagem na ABRV, nas últimas décadas. Dentre elas, podemos destacar a perda de coberturas de Cerrado e o surgimento de

novos corpos hídricos, que são represamentos feitos nos cursos d'água, aumentando a representação espacial de lâmina d'água.

Em relação às nomenclaturas concebidas para a definição das classes, segue abaixo as definições dos termos empregados, com base na literatura:

- **Formação Florestal:** Tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas e com a formação de dossel contínuo. A Mata Ciliar e a Mata de Galeria são fisionomias associadas a cursos de água que podem ocorrer em terrenos bem drenados ou mal drenados. A Mata Seca e o Cerradão ocorrem nos interflúvios em terrenos bem drenados, sem associação com cursos de água (RIBEIRO; WALTER, 2008).
- **Formação Campestre:** Englobam três tipos fitofisiômicos principais: o Campo Sujo, o Campo Limpo e o Campo Rupestre. O Campo Sujo caracteriza-se pela presença evidente de arbustos e subarbustos entremeados no estrato arbustivo-herbáceo. No Campo Limpo, ocorre vegetação herbácea. O Campo Rupestre possui trechos com estrutura similar ao Campo Sujo ou ao Campo Limpo, mas composto por afloramentos de rocha (RIBEIRO; WALTER, 2008).
- **Formação Savânica:** São formações como o Cerrado restrito, o Parque do Cerrado, o Palmeiral e a Vereda. É a cobertura predominante no Cerrado e tem como principais características a presença dos estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo definidos, com as árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno em diferentes densidades, sem que se forme um dossel contínuo. No caso das Veredas e Palmeiral, há ocorrências de espécies adaptadas a áreas úmidas (RIBEIRO; WALTER, 2008).
- **Agricultura:** Ocorrem dois tipos, a cultura temporária, que é o cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano e que, após a produção, deixam o terreno disponível para novo plantio; e a cultura permanente, que compreende o cultivo de plantas com ciclo vegetativo de longa duração, isto é, que produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após colheita (IBGE, 2013).
- **Pastagem:** Plantio de forragens gramíneas e/ou leguminosas perenes ou aproveitamento de pastagens naturais, destinadas ao pastoreio do gado. A atividade que se desenvolve sobre essas pastagens é a pecuária, visando à

produção de animais domésticos com objetivos econômicos, tais como a criação e o tratamento de animais de grande porte, criação de animais de médio porte e animais de pequeno porte (IBGE, 2013).

4.2 Caracterização físico-natural e biofísica

A espacialização das declividades tem como atributo geomorfológico a análise e a avaliação da estabilidade das encostas. Esta variável está diretamente relacionada à velocidade do escoamento superficial e às taxas de perda de solo por erosão, que, por sua vez, influencia no assoreamento das drenagens, diminuindo a capacidade hidrológica da bacia hidrográfica. Segundo Piroli e Soares (2019), a declividade influencia na infiltração e nos processos erosivos fluviais e pluviais, assim como na tipologia da vegetação; contribui para a formação do solo e serve de indicador na definição de áreas de risco e restrição de uso. A declividade dos rios pode ser associada à velocidade do escoamento, ao transporte de sedimentos e à conformação das áreas de preservação permanente.

O escoamento superficial compõe uma das etapas do ciclo hidrológico e compreende a vazão de água sobre a superfície do solo, após um evento chuvoso. Isso ocorre quando a capacidade de armazenamento de água no solo é reduzida, provocando o escoamento pela superfície. O fluxo que se escoar sobre o solo caracteriza-se como uma massa de água com pequenos cursos que se interligam, sendo que esse fluxo começa a perder energia quando encontra obstáculos, como fragmentos rochosos e cobertura vegetal. A perda do solo, devido ao escoamento, vai depender da quantidade de água, da velocidade do fluxo e das características das encostas (GUERRA, 2015; TUCCI, 2004).

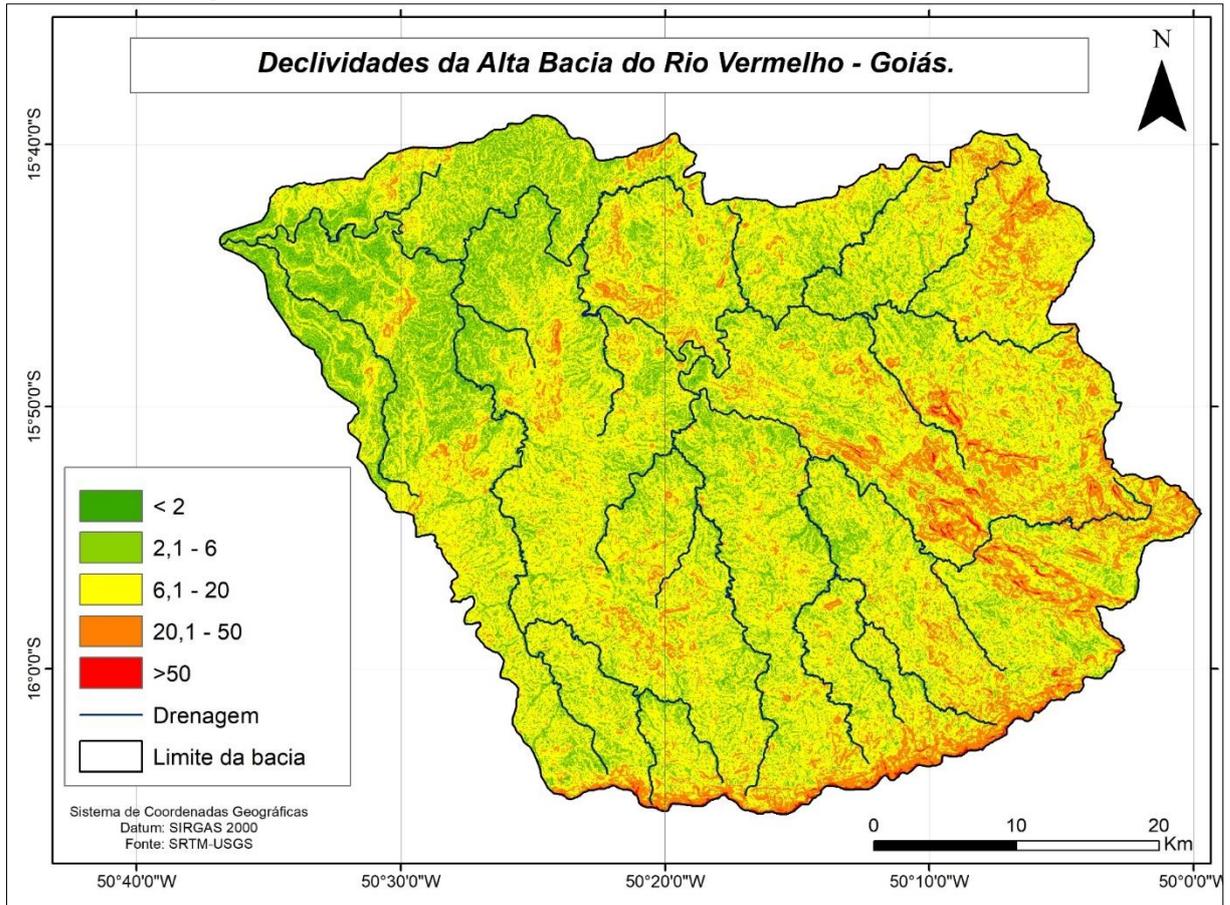
A infiltração é o movimento da água dentro do solo. Os solos e suas características topográficas e texturais definem as quantidades de chuvas que infiltram ou que excedem para escoar na superfície do terreno, ou seja, pode-se dizer que os solos com seus graus de inclinação determinam o volume do escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto em superfície como em subsuperfície (NETTO, 2001).

Para Bertoni e Lombardi Neto (2014), a infiltração é o movimento da água dentro da superfície do solo e quanto maior sua velocidade, menor a intensidade de enxurrada na superfície, o que, conseqüentemente, reduz a remoção superficial de sedimentos. O movimento da água através do solo é realizado pelas forças de gravidade e de capilaridade; esse movimento através dos grandes poros, em solo saturado, acontece fundamentalmente pela gravidade, enquanto em um solo não saturado se dá, principalmente, pela capilaridade.

Assim, a importância da infiltração é propiciar maior permanência da água na bacia hidrográfica, pois permite que o ciclo hidrológico se complete. As alterações na paisagem, por exemplo, a retirada das coberturas de vegetação natural, impedem que a água da chuva sirva de suprimento para os vegetais, abasteça o lençol freático, recarregue os aquíferos e, finalmente, abasteça os cursos d'água durante a estação chuvosa e durante a estiagem (BOTELHO; SILVA, 2010).

As declividades da ABRV (Figura 6) foram classificadas de acordo com a proposta de Crepani *et al.* (2001). Esses autores associam as declividades à vulnerabilidade ambiental, que, neste estudo, considera-se como potencial de escoamento e infiltração da água em superfície. Assim, entende-se que as menores declividades apresentam escoamento superficial mais lento e maior absorção da água para o fluxo subsuperficial e, nas maiores declividades, um escoamento superficial mais rápido e menor absorção.

Figura 6 – Declividades da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Assim, como a vulnerabilidade ambiental em relação à declividade está relacionada à velocidade do escoamento superficial, quanto mais lento for esse processo, maior o potencial de infiltração da água e abastecimento do lençol freático. Na tabela 4, são apresentadas as classes de declividade correlacionadas à área, em porcentagem e em quilômetros quadrados.

Tabela 4 - Classes de declividades e potencial à infiltração da água

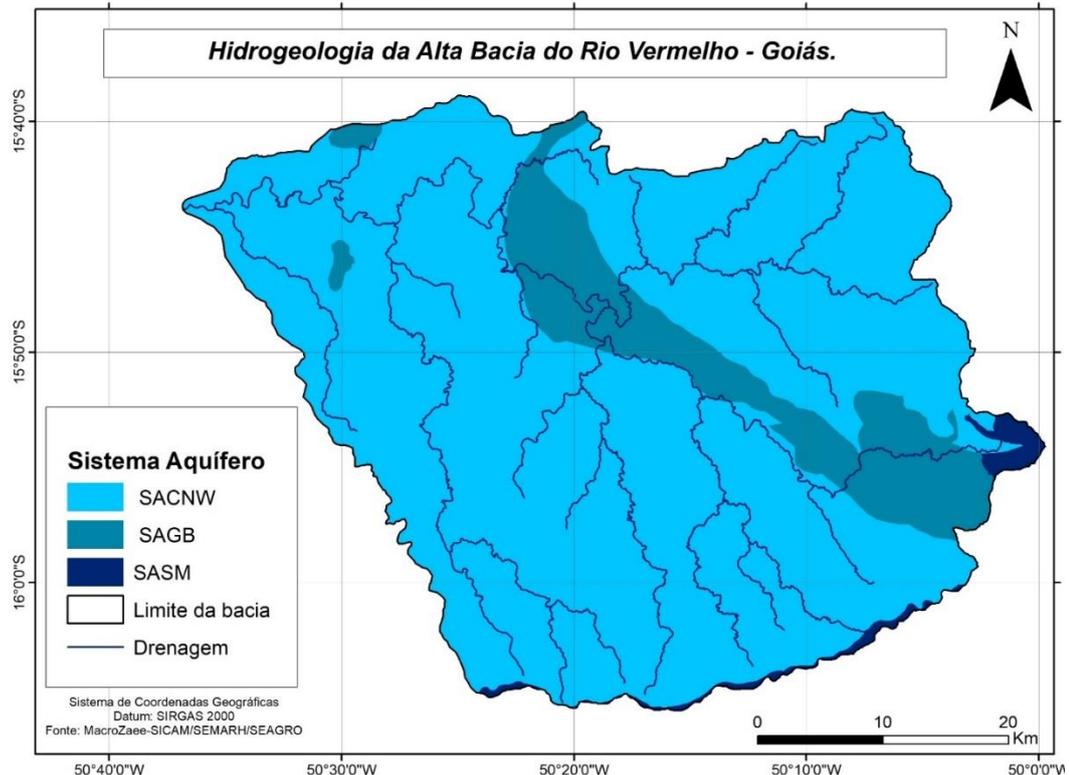
Classes de declividades (%)	Área (%)	Área (km ²)
< 2	4,45	93,76
2,1 - 6	26,54	559,20
6,1 - 20	57,63	1.214,26
20,1 - 50	11,04	232,61
> 50	0,34	7,16
-	100	2.107

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

O Mapa de Hidrogeologia da ABRV compõe três sistemas aquíferos, conforme à figura 7, que corresponde ao grupo “Profundo” e pode ser caracterizado por domínios distintos de

acordo com o tipo de porosidade onde ocorre a percolação e o armazenamento de água. A maior parte do estado de Goiás encontra-se sobre o “Domínio Fraturado” (65%), com predomínio de porosidade secundária, que inclui aquíferos de diferentes domínios correspondentes aos diferentes tipos de porosidade predominante e que podem variar de intergranular, fissural, dupla porosidade, fissuro-cárstica ou cárstica (GOIÁS, 2006a).

Figura 7 – Hidrogeologia da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

No que corresponde ao Sistema Aquífero Cristalino Noroeste (SACNW), este representa um conjunto de reservatórios associados a rochas cristalinas, exclusivamente com porosidade secundária fissural. Corresponde ainda à associação de gnaisses e granitos arqueanos e proterozóicos, situados na porção noroeste do estado (GOIÁS, 2006a). Na ABRV, 81,76 % da sua área são formados por esse sistema, conforme demonstra a tabela 5.

O Sistema Aquífero *Greenstone Belts* (SABG) compreende todas as supracrustais dos terrenos arqueanos, associadas aos *Greenstone Belts* de Faina, Goiás, Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. Os dados existentes indicam tratar-se de um sistema com potencial restrito, por ser desenvolvido sobre rochas pelíticas e plásticas. As vazões médias são de 4,3 m³/h, com máxima de 12 m³/h e moda de 2,2 m³/h. (GOIÁS, 2006a). Na ABRV, 17% da sua área são formados por esse sistema, conforme demonstra a tabela 5.

O Sistema Aquífero Serra da Mesa (SASM) compreende o conjunto de rochas associadas ao Grupo Serra da Mesa, Sequências Vulcanossedimentares e ao Grupo Baixo Araguaia (Formação Xambioá). O ângulo de mergulho da foliação dos xistos e demais rochas metamórficas que compõem este sistema aquífero representa um controle efetivo do potencial à percolação descendente das águas de recarga (GOIÁS, 2006a). Na ABRV, 1,24 % da sua área são formados por esse sistema (Tabela 5).

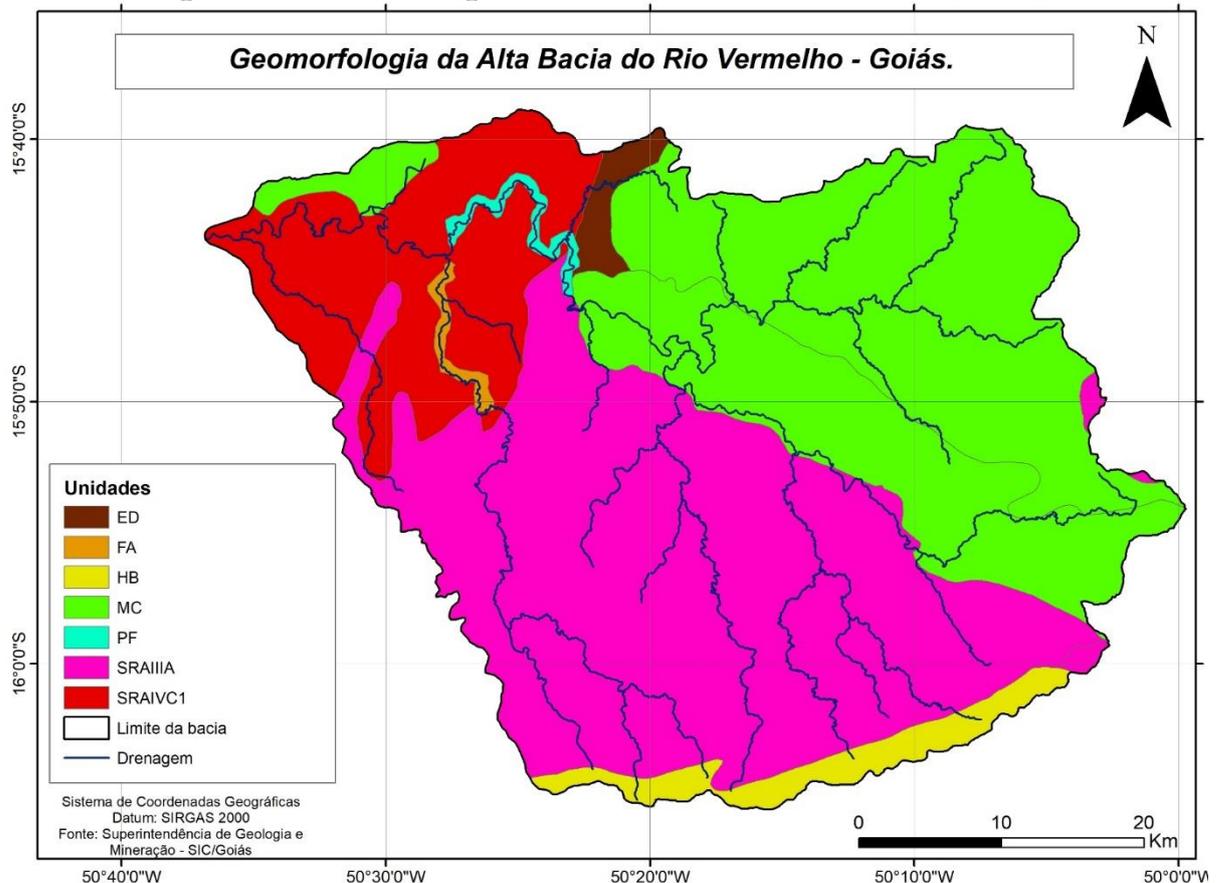
Tabela 5 - Descrição dos Sistemas Aquíferos da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)

Grupo	Domínio	Sistema Aquífero	Sigla	Litologia Predominante	Área em (%)	Área em (Km ²)
Profundo	Fraturado	Cristalino Noroeste	SACNW	Granitos e Gnaisses	81,76	1.722,70
		Greenstone Belts	SAGB	Metavulcânicas e Metassedimentares	17,00	358,19
		Serra da Mesa	SASM	Xistos	1,24	26,11

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Um dos aspectos mais relevantes quando se avalia a aplicação da compartimentação geomorfológica para estudos hidrogeológicos é o funcionamento hídrico de cada unidade de relevo, ou seja, é compreender como cada unidade geomorfológica funciona em relação à recarga e descarga dos aquíferos (GOIÁS, 2006b). Na ABRV, oito unidades geomorfológicas foram classificadas, como demonstra a figura 8.

Figura 8 – Geomorfologia da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Na Estrutura Dobrada (ED), a tectônica de dobramento afeta diversos grupos de rochas pré-cambrianas. As geoformas mais características são as associações de morros e colinas, formando *hogbacks*. O padrão de relevo movimentado, aliado a solos pouco espessos, favorecem o escoamento superficial e desqualificam este compartimento como potencial de recarga (GOIÁS, 2006b).

Na Faixa Aluvial, as principais categorias destes sistemas são a Planície Fluvial, em um sentido amplo (PF), incluindo unidades funcionais e/ou não funcionais, e a Faixa Aluvial, atual (FA). No caso das Planícies Fluviais destacam-se, em Goiás, as meandriformes, onde os meandros são elementos geomorfológicos dominantes (GOIÁS, 2006a). As Planícies Fluviais são geoformas meandriformes, onde os meandros são elementos geomorfológicos dominantes e estão associados às estruturais hidrográficas das drenagens (GOIÁS, 2006b).

O *HogBack* (HB) assemelha-se a uma *cuesta*, na qual o mergulho é superior a 30° e o mesmo está associado aos processos de dobramento e erosão da Serra Dourada. Os Morros e Colinas (MC) são resultados da Zona de Erosão Recuante (ZER) onde há evolução do recuo das vertentes. O compartimento MC se destaca sobre uma superfície de extensão regional

situada em uma cota inferior. As áreas constituídas por essa geoforma são remanescentes de litologias resistentes à erosão que foram preservadas à medida que superfícies de aplainamento foram evoluindo e, muitas vezes, com forte controle estrutural. A recarga em áreas de MC e HB pode ser considerada como de baixo potencial, pois o modelado típico destes compartimentos, com relevo forte ondulado a escarpado, favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Os solos rasos (Neossolos Litólicos e Cambissolos) comumente presentes também são pouco eficientes na função de retenção de águas de precipitação (GOIÁS, 2006b). Na ABRV, 36,83% e 3,21% da bacia, respectivamente, são compostos por essas unidades (Tabela 6).

Na Superfície Regional de Aplainamento (SRAIIIA) ocorrem crostas lateríticas, colúvios nas vertentes dos vales e áreas de sedimentação restrita, nos quais se acumulam sedimentos aluviais. A maior parte desta unidade encontra-se no centro-norte de Goiás e apresenta padrão de dissecação média. Feições positivas na forma de serras, colinas e domos se elevam sobre o nível geral dessa superfície devido à sua resistência à erosão (GOIÁS, 2006b). Na ABRV, 43,12% da bacia é composta por essa unidade geomorfológica (Tabela 6).

A Superfície Regional de Aplainamento (SRAIVC1) apresenta relevo plano a suave ondulado, apresentando características de aplainamento, resultado da deposição de sedimentos. Nesta unidade, podem ocorrer solos mais desenvolvidos, como os Latossolos (GOIÁS, 2006b).

Tabela 6 – Área em km² e Porcentagem das unidades geomorfológicas da ABRV

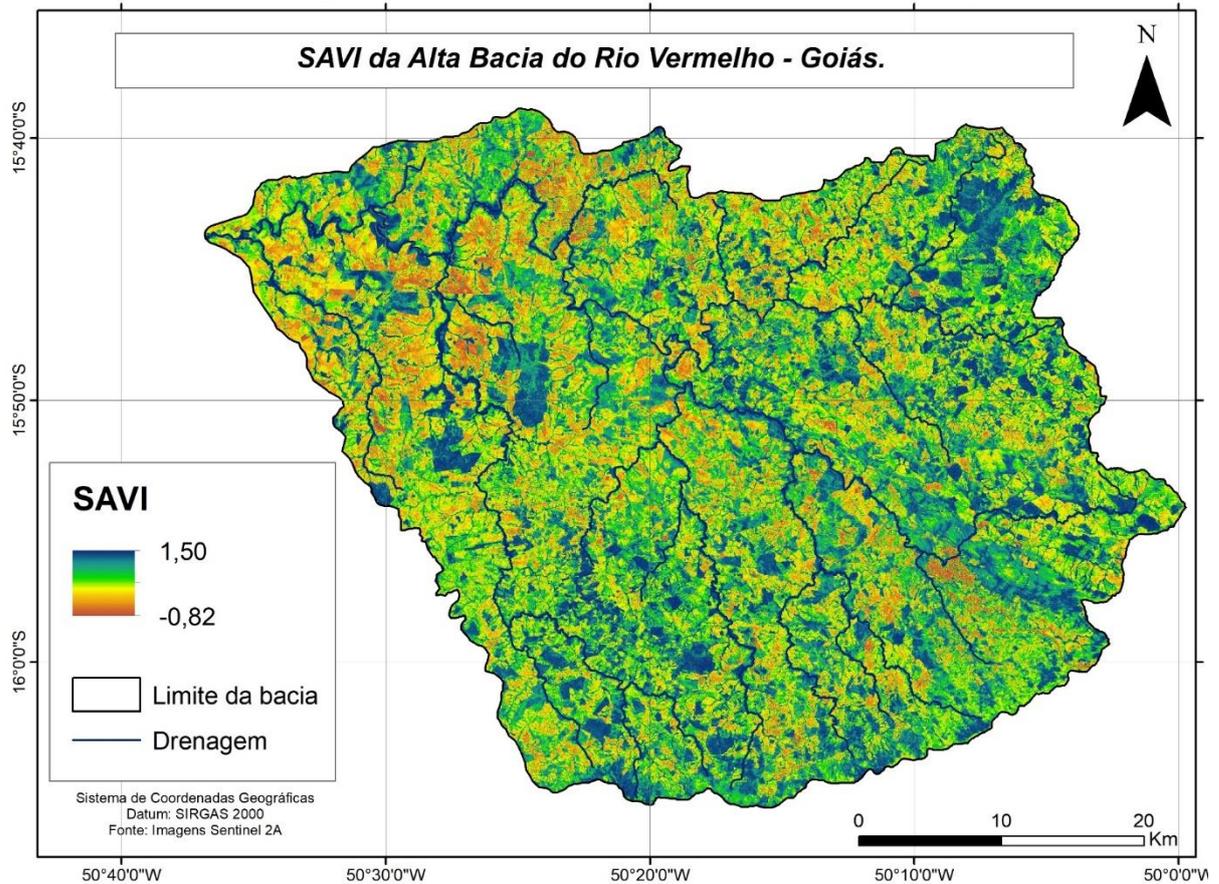
Unidade	Sigla	Área em (%)	Área em (km²)
Estruturas Dobradas	ED -FCE	1,18	24,86
Faixa Aluvial	FA	0,51	10,74
<i>HogBack</i>	HB	3,21	67,63
Morros e Colinas	MC	36,83	776,00
Planícies Fluviais	PF	0,75	15,80
Superfície Regional de Aplainamento IIIA	SRAIIIA	43,12	908,53
Superfície Regional de Aplainamento IV	SRAIVC1	14,40	303,40
Total	-	100	2,107

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

O SAVI é um índice biofísico que está relacionado à densidade e vigor da vegetação da superfície do solo e ao seu potencial de produção fotossintética. Para a ABRV, este índice apresentou valores entre 1,50 e -0,82 e média de 0,89 (Figura 9). Os valores negativos ou

próximos de zero para o índice da ABRV ocorreram nos corpos hídricos, como drenagens e represas; áreas com solo expostos ou áreas com afloramentos de rocha e área urbana. Os valores positivos, que alcançaram até 0,6, ocorreram em áreas de campo, pastagem e ou/vegetação rarefeita. Os valores maiores que 0,6 ocorreram em áreas naturais de formações savânica e/ou formações florestais de Cerrado, que apresentam maior densidade de vegetação.

Figura 9 – SAVI da Alta Bacia do Rio Vermelho (Goiás)



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

4.3 Caracterização climática

Configura-se de suma importância o conhecimento das características e da variabilidade dos elementos climáticos de determinada localidade, sobretudo, por possibilitar melhor avaliação das potencialidades climáticas para variados fins e aplicações, constituindo ainda importante subsídio ao planejamento urbano, rural, regional e ambiental (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

A respeito do clima do território goiano, segundo Cardoso *et al.* (2014), pode ser encontrado em quase todo o estado de Goiás o clima tropical com estação seca no inverno (Aw).

Nessa mesma perspectiva, corroborando com a classificação climática de Köppen-Geiger, baseada na temperatura e distribuição sazonal da precipitação, Cavalcanti *et al.* (2008) ressaltam que o clima da ABRV pode ser classificado como Tropical Subúmido (Aw), com duas estações bem definidas, quente e úmida, e outra predominantemente seca, com grande amplitude térmica diária durante o inverno, tendo como ocorrência uma amplitude de temperatura elevada, sendo que os valores ficam entre 35°C e 15°C (SILVA; BARBALHO, 2016).

De acordo com Nimer (1989), o comportamento da temperatura na região Centro-Oeste é decorrente de uma série de fatores geográficos e dinâmicos, que resultam em variações de temperaturas, e se deve à notável variação de latitude, à sua posição no interior do continente e às diferentes intensidades de participação do anticiclone polar.

A continentalidade da região impede que as interferências das influências marítimas permitam que a variação da latitude seja responsável pela temperatura de cerca de 26°C no extremo norte e de 22°C no extremo sul da Região. No inverno, registram-se temperaturas muito baixas nos meses de junho e julho. Apenas algumas áreas do sul de Goiás apresentam, nos meses de inverno, temperaturas médias inferiores a 18°C e um total pluviométrico anual de 1.750 mm, com período de estiagem de quatro meses, referente aos meses de maio a agosto. A maior parte do território da região não possui sequer um mês cuja temperatura média seja inferior a 20°C e, no norte de Goiás, chega a ser superior a 24°C (NIMER, 1989).

Considera-se que o clima da região onde a ABRV está inserida seja justificado pelos sistemas regionais de circulação atmosférica que atuam na região Centro-Oeste e pelas características fisiográficas, sobretudo o relevo, a posição latitudinal e a ausência de corpos hídricos consideráveis, o que condicionam um verão quente e chuvoso, uma primavera com as temperaturas mais elevadas do ano e um inverno e outono secos, com elevada amplitude térmica (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

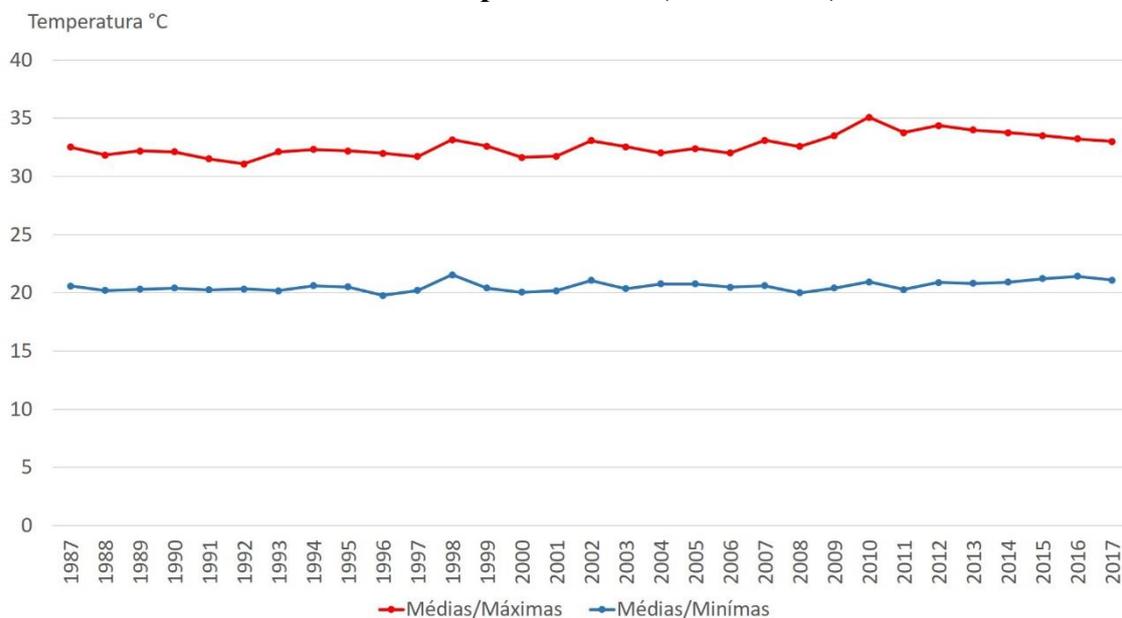
4.4 Caracterização meteorológica

A busca de conhecimentos concernentes ao tempo é um objetivo da especialização da ciência chamada meteorologia. Os fenômenos meteorológicos são estudados a partir das observações, experiências e métodos científicos de análise, sendo a observação meteorológica uma avaliação ou uma medida de um ou diversos parâmetros meteorológicos. Assim, os instrumentos meteorológicos são utilizados para adquirir dados como totais de precipitação, velocidade do vento, temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, etc. A

junção desses instrumentos em um determinado local é chamada estação meteorológica (OLIVEIRA, 2014).

Em se tratando da caracterização meteorológica, os dados referentes às médias máximas e médias mínimas de temperaturas, no período de 1987 a 2017, para o Município de Goiás, onde está a maior extensão da BHRV (Figura 10), foram coletados na Estação: Goiás – A014. A média máxima de temperatura mais elevada foi registrada em 2010 (35,07°C) e a mínima em 2008 (20,01°C). Sendo que as médias máximas variaram de 31° a 35° e as médias mínimas de 20° a 22°, no período analisado.

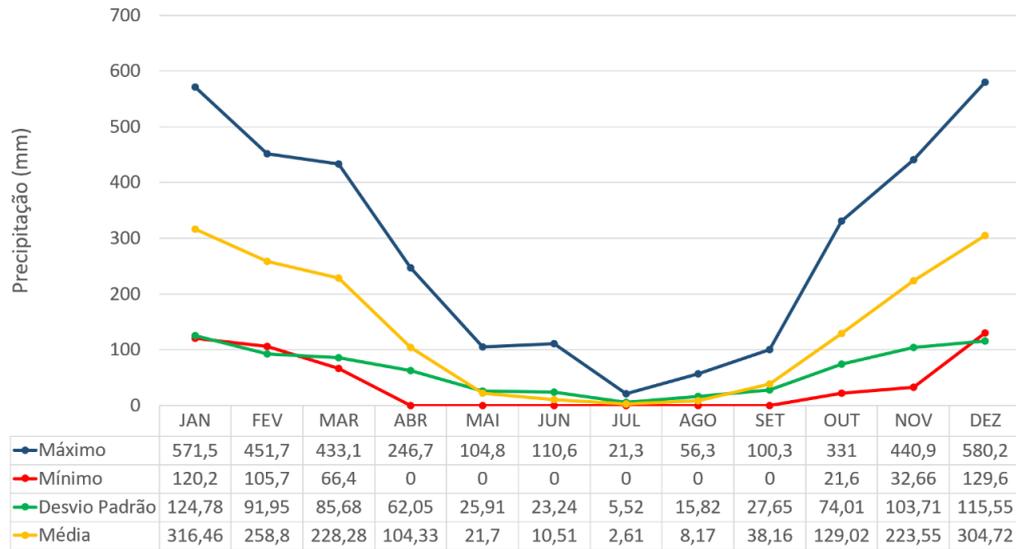
Figura 10 - Médias máximas e mínimas de temperaturas para o Município de Goiás (1987 a 2017)



Fonte: Dados INMET (2020). Elaborado pela autora (2020).

A Figura 11 ilustra as informações sobre a estatística dos dados mensais de precipitação do período de 1990 a 2019. No que se refere às médias, o mês de julho corresponde ao menor total de chuva para o período analisado e o mês de janeiro corresponde ao mais chuvoso. Em relação aos valores mínimos, os meses entre abril e setembro, em algum (ou alguns) dos anos analisados, não registraram precipitação. Os valores máximos indicam os meses de janeiro e dezembro com os maiores registros de precipitação.

Figura 11 - Estatística descritiva dos dados mensais de precipitação para o Município de Goiás (1990 a 2019)

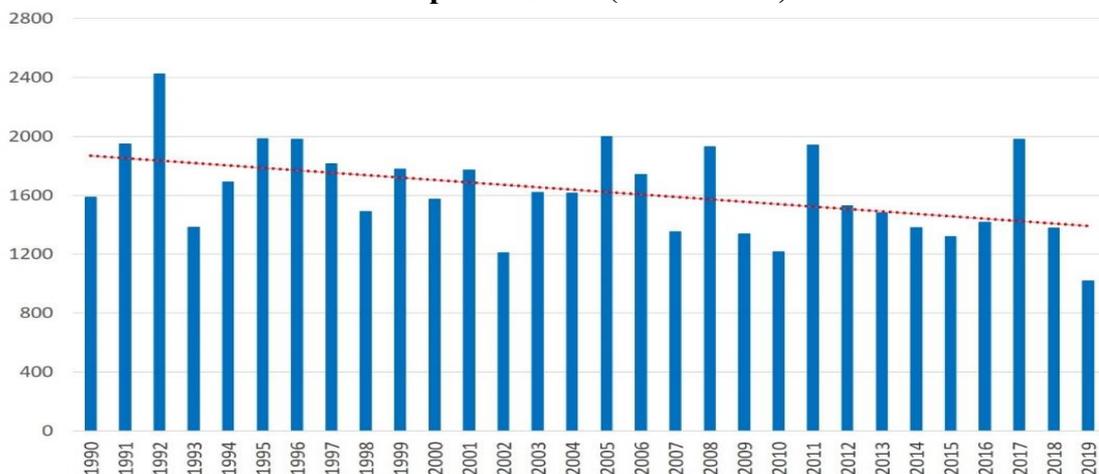


Fonte: Dados INMET (2020). Elaborado pela autora (2020).

No que tange à menor amplitude de precipitação (relação entre maiores e menores totais), o mês de julho foi o menor, com 21,3mm, e a maior amplitude foi no mês de janeiro, com 451,3mm. A amplitude corrobora os valores de desvio padrão que indicaram que nos meses com maior variação dos valores e maiores totais de chuva houve maior variação entre o conjunto de dados e média.

Ao analisar os totais anuais de chuva no período de 1990 a 2019 (Figura 12), o ano de 1992 se destaca com o maior total registrado (2.425,7mm) e 2019 com o menor total (1.031mm). A média para o período foi de 1.630mm, com tendência à redução nos totais de chuva para o período analisado, como pode ser observado na linha de tendência (linha vermelha pontilhada na figura 12).

Figura 12 - Totais anuais de chuvas para o Município de Goiás (1990 a 2019)



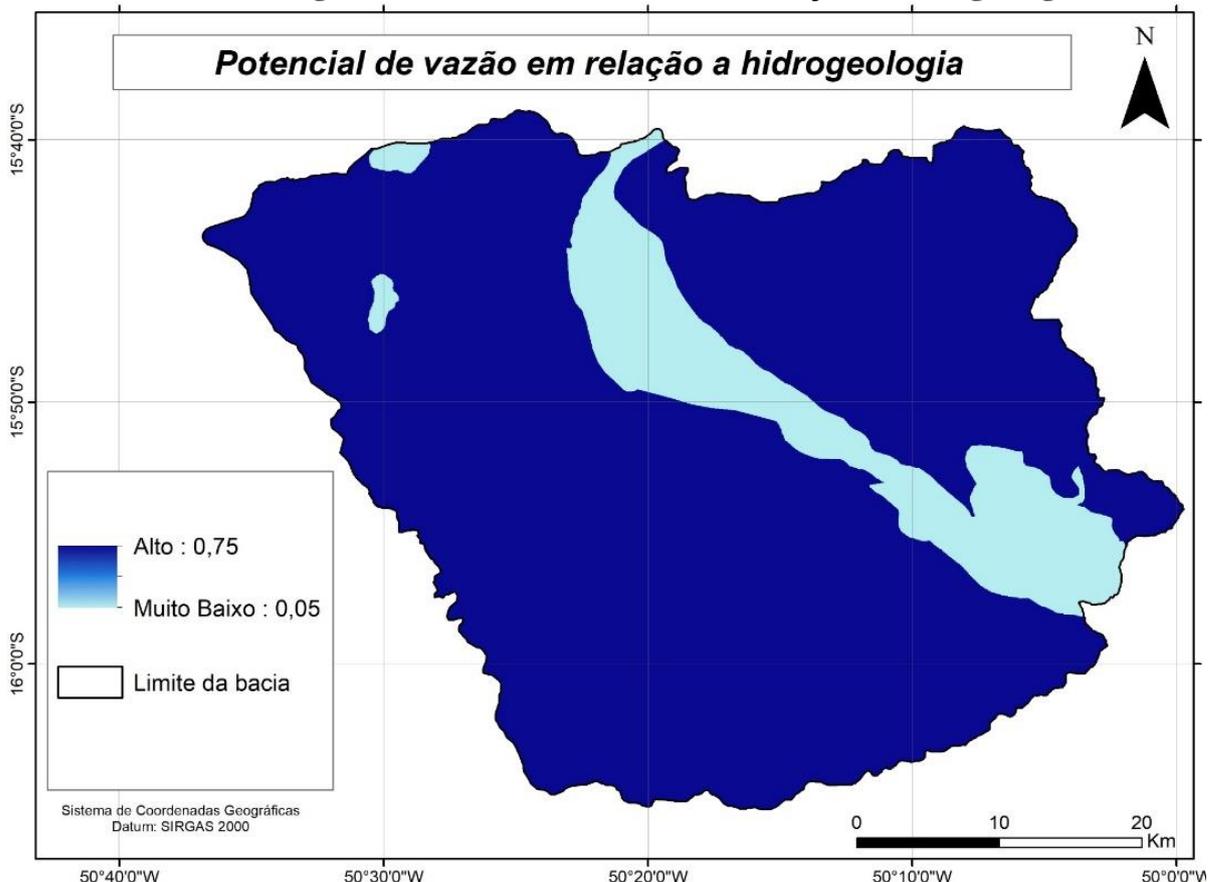
Fonte: Dados INMET (2020). Elaborado pela autora (2020).

5 NORMALIZAÇÃO DE CRITÉRIOS E DEFINIÇÃO DO INDICADOR

5.1 Descrição e análise dos critérios e variáveis

O mapa de vazão em relação à hidrogeologia (Figura 13) resultou em duas unidades, uma caracterizada como Alto: 0,75 e outra Muito Baixo: 0,05. Esses valores ajustados foram constatados devido ao fato de que no mapeamento (figura 7) dois sistemas aquíferos, Cristalino Noroeste (SACNW) e Serra da Mesa (SASM), foram caracterizados como potencial de recarga alto por conter um conjunto de reservatórios e porosidade, facilitando a percolação das águas de recarga com valor atribuído de 0,75 (expresso na tabela 7) e uma classe com potencial de recarga Muito Baixo, *Greenstone Belts* (SAGB), por ser um sistema com potencial restrito em rochas pelíticas e plásticas, com valor atribuído de 0,05. Na ABRV, predomina-se o Alto potencial de vazão, com 83,00% da sua área formados por esses dois sistemas aquíferos (SACNW E SASM) e o sistema SAGB com 17%, conforme demonstrado na tabela 7.

Figura 13 - Potencial de vazão em relação à Hidrogeologia



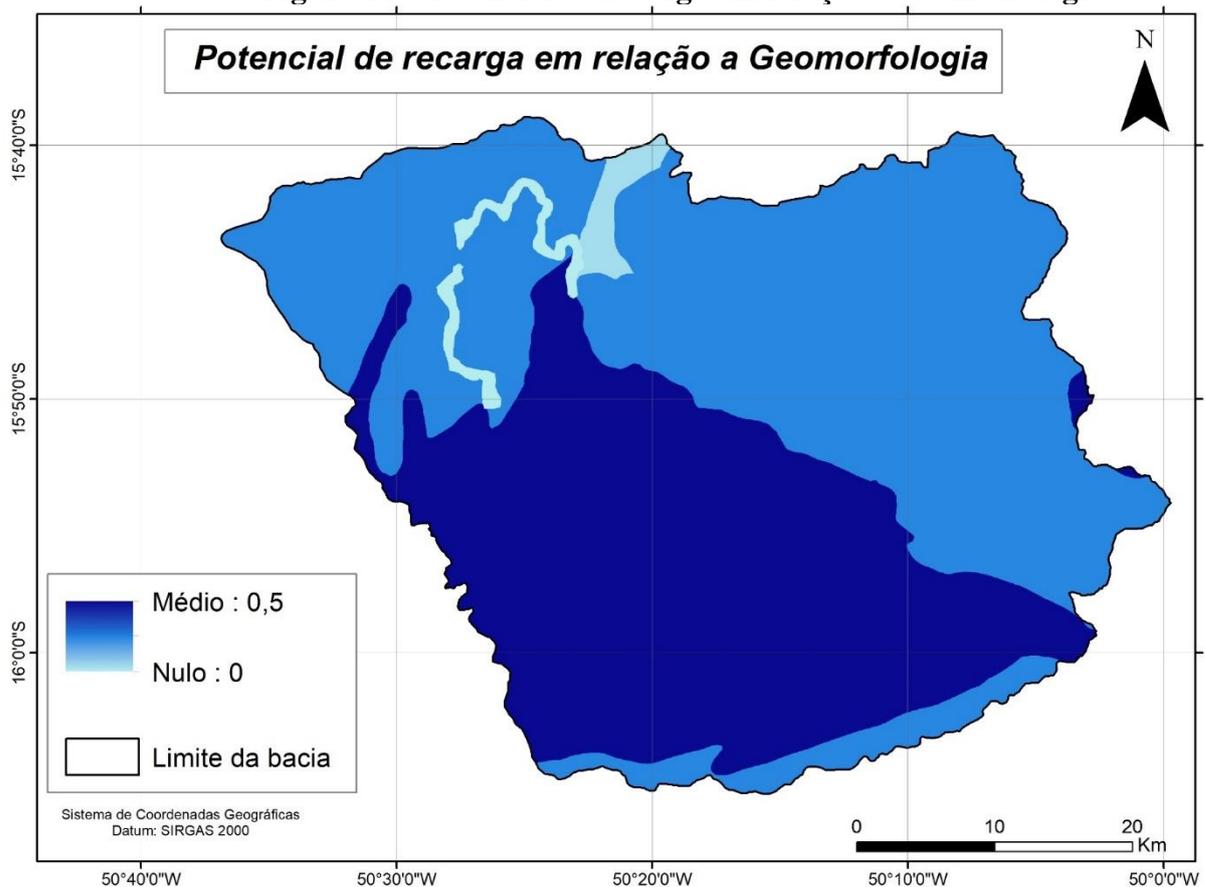
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Tabela 7 – Classificação das unidades Hidrogeológicas

Sistema Aquífero	Classe	Valor Atribuído	Área em (%)	Área em (km ²)
Cristalino Noroeste (SACNW) Serra da Mesa (SASM)	Alto	0,75	83,00	1.748,81
<i>Greenstone Belts</i> (SAGB)	Muito Baixo	0,05	17,00	358,19
Total	-	-	100	2,107

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As unidades geomorfológicas foram agrupadas em quatro classes de potencial de recarga em relação à geomorfologia, sendo: nulo (0), muito baixo (0,05), baixo (0,25) e médio (0,5). A espacialização das classes pode ser observada na figura 14 e a descrição na tabela 8.

Figura 14 – Potencial de recarga em relação à Geomorfologia

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As Estruturas Dobradas foram classificadas em muito baixo potencial de recarga, devido ao relevo movimentado e aos solos poucos espessos, que favorecem o escoamento superficial

e desqualifica o potencial de recarga, por ter uma capacidade de infiltração reduzida (GOIÁS, 2006a). As unidades Faixa Aluvial e Planícies Fluviais foram classificadas com potencial nulo de recarga, sendo atribuído o valor zero, o que pode ser explicado devido ao fato de essas unidades são caracterizadas como áreas de descarga e não de recarga (GOIÁS, 2006a).

Nas classificações das unidades Morros e Colinas, *HogBack* e Superfície Regional de Aplainamento IV, estas foram identificadas como baixo para potencial de recarga na ABRV, com valor atribuído de 0,25. A recarga pode ser considerada como de baixo potencial porque o modelado típico com relevo forte ondulado a escarpado dos Morros e Colinas e dos *HogBacks* favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Já nas Superfície Regional de Aplainamento IV, as condições de recarga são desfavoráveis em virtude da predominância de solos rasos a pouco profundos e da restrita condutividade hidráulica das coberturas presentes na maior parte dessa unidade geomorfológica. O substrato pouco permeável também é um fator negativo com relação à recarga. A natureza dos substratos rochosos pouco fraturados ou com fraturamento pouco aberto é outro condicionante que resulta na limitação das condições de circulação dos aquíferos neste compartimento. (GOIÁS, 2006a).

Na Superfície Regional de Aplainamento IIIA, foi identificado como médio para potencial de recarga na ABRV, com valor atribuído de 0,5. Segundo Goiás (2006a), nesta unidade geomorfológica, ocorrem sistemas de fluxos locais, pois o relevo mais dissecado resulta na dispersão do fluxo superficial e subterrâneo e, neste caso, a recarga é relativamente eficiente.

Tabela 8 – Classificação das unidades Geomorfológicas

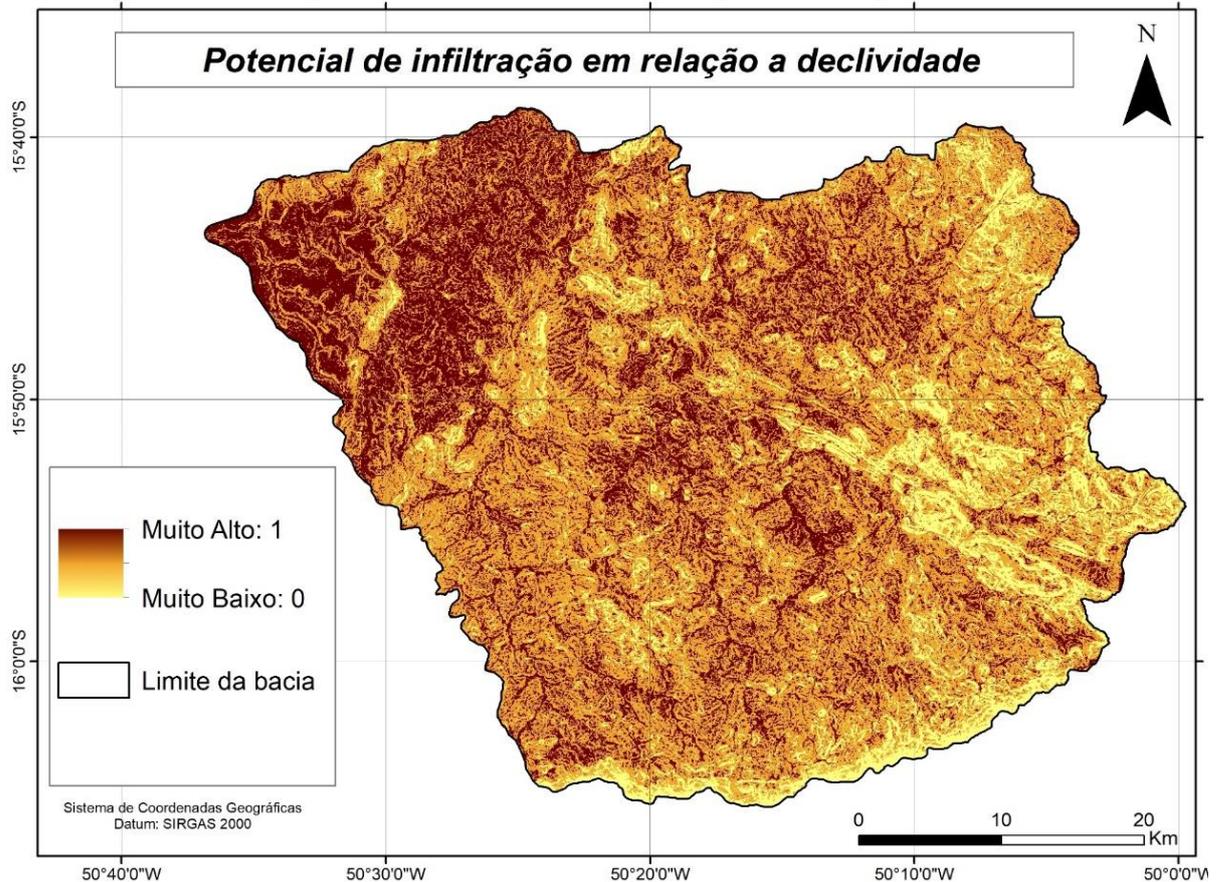
Unidade Geomorfológica	Classe	Valor Atribuído	Área (%)	Área (km²)
Faixa Aluvial Planícies Fluviais	Nulo	0,00	1,26	26,54
Estruturas Dobradas	Muito Baixo	0,05	1,18	24,86
Morros e Colinas <i>HogBack</i> Superfície Regional de Aplainamento IV	Baixo	0,25	54,44	1.147,05
Superfície Regional de Aplainamento IIIA	Médio	0,5	43,12	908,53
Total	-	-	100	2,107

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

O mapa da figura 15 apresenta o potencial de infiltração em relação à declividade, resultado da normalização da base de declividades da área. Com a normalização, os valores

variaram de 0 a 1, sendo 0 muito baixo ou nulo e 1 muito alto. A tabela 9 apresenta as classes de declividades propostas por Crepani *et al.* (2001), na qual os autores fazem a correlação da declividade do terreno com a fragilidade ambiental, relacionando a topografia à velocidade do escoamento superficial e ao potencial de degradação dos solos.

Figura 15 – Potencial de infiltração em relação à Declividade



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Tabela 9 – Classificação do Potencial à infiltração em relação à Declividade

Classes de Potencial à Infiltração	Classes de declividades (%)
Muito Alto	< 2
Alto	2,1 – 6
Médio	6,1 – 20
Baixo	20,1 – 50
Muito Baixo ou Nulo	> 50

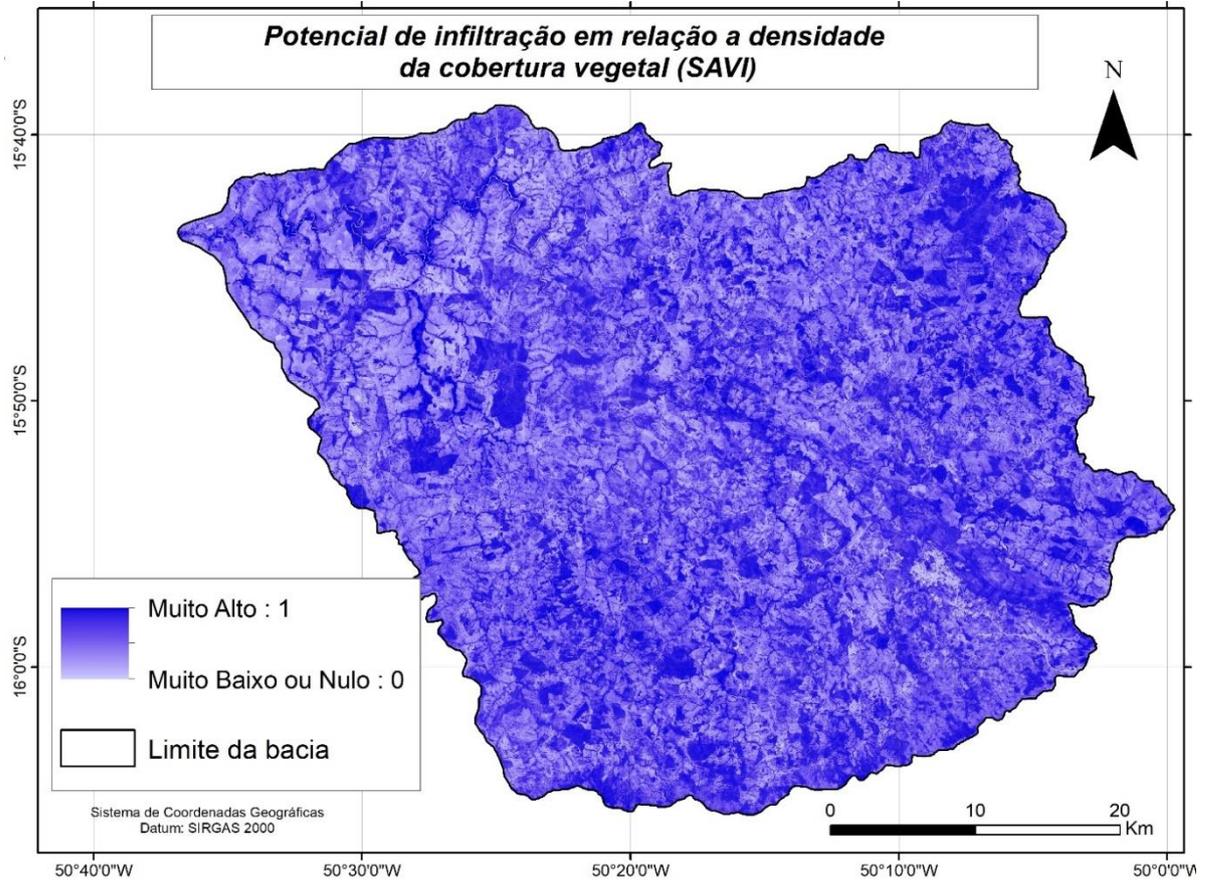
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

De acordo com Oliveira, Klinke Neto e Pereira (2016), o comportamento do escoamento superficial é definido pela topografia, ou seja, quanto maior a inclinação da topografia, maior será a vazão máxima de escoamento superficial. Além de influenciar a velocidade da água, a topografia também influencia no potencial de infiltração armazenamento dos reservatórios subterrâneos. Assim, quanto mais plana é a área, maior a sua capacidade de armazenamento de água.

Na representação espacial das declividades é perceptível a predominância de dois compartimentos, compartimentos esses definidos por uma percepção visual. Assim, temos o baixo curso que apresenta declividades menores, com relevos mais planos, variando entre 0% a 6%; e outro compartimento, que representam o médio e alto curso da bacia, com declividades mais elevadas, superiores a 6%.

Na figura 16, está espacializado o SAVI, normalizado de acordo com a classificação proposta por Silva, Melo e Galvêncio (2011), como apresentado na tabela 10. Após a classificação da imagem do SAVI, a imagem índice passou pela normalização dos critérios, apresentando valores entre 0 e 1, onde zero são as áreas com muito baixo ou nulo potencial de infiltração e 1 (um) muito alto potencial de infiltração em relação à densidade da cobertura vegetal.

Figura 16 – Potencial de infiltração em relação à densidade da cobertura vegetal (SAVI)



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Como observado na tabela 10, há um predomínio de vegetação densa a muito densa, totalizando mais de 97% da área da bacia. Além da densidade, o SAVI mensura o vigor vegetativo, indicando áreas onde ocorrem o desenvolvimento da vegetação e a produção fotossintética. Assim, este índice contribuirá na definição de áreas com maior potencial à infiltração da água e abastecimento do lençol freático em relação à presença de vegetação com diferentes densidades e/ou a ausência dela.

Tabela 10 – Classificação do SAVI

Intervalos de SAVI (%)	Densidade da Vegetação	Área (%)	Área (km ²)
< 0	Ausente	0,06	1,64
0,1 – 0,35	Vegetação rala ou esparsa	0,68	14,33
0,36 – 0,44	Vegetação esparsa/densa	1,82	38,35
0,45 – 0,78	Vegetação densa	34,21	720,80
> 78	Vegetação muito densa	63,23	1.332,25
-	-	100	2,107

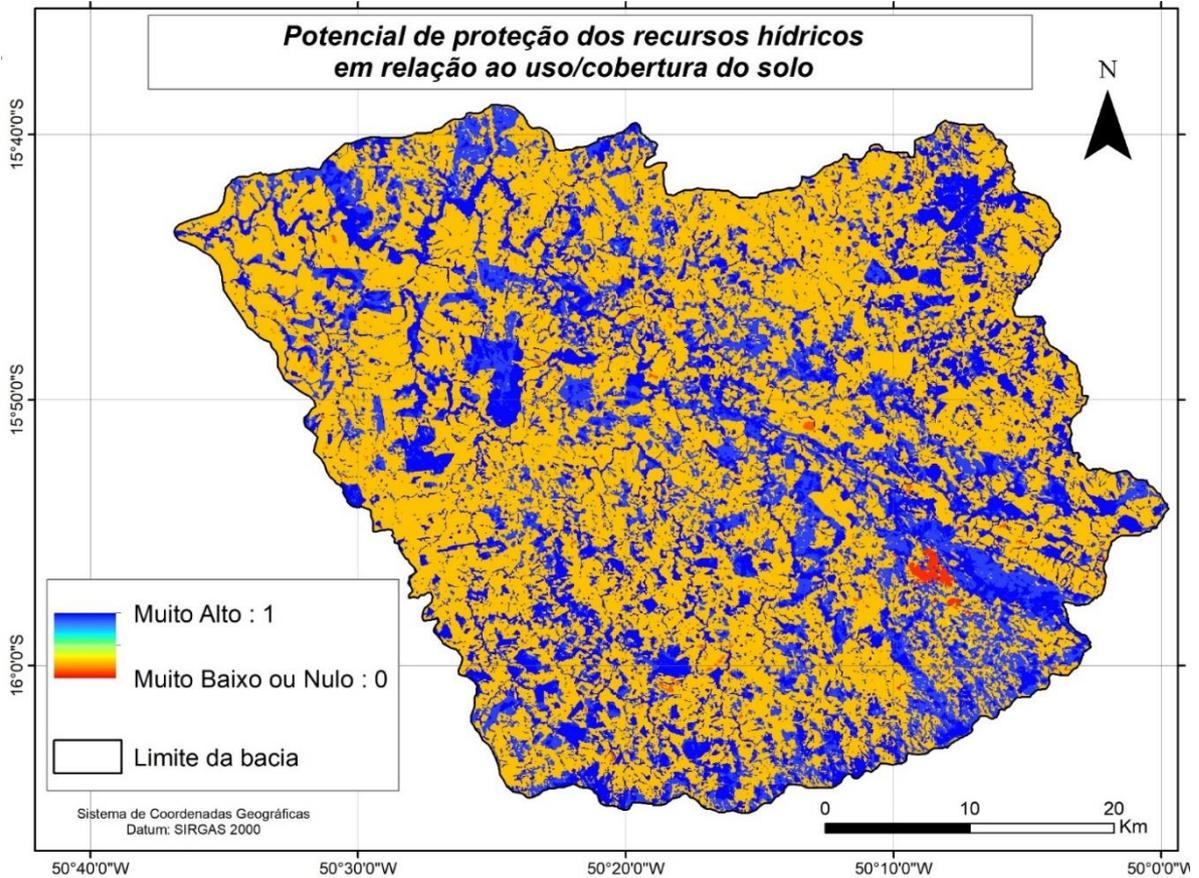
Fonte: Elaborada pela autora (2021) e Adaptado de Silva, Melo e Galvínio (2011).

A densidade da cobertura vegetal, associada às condições topográficas do relevo, influenciam diretamente no potencial de recarga do lençol freático. A cobertura vegetal é responsável pela interceptação da água na chuva e redução da velocidade do escoamento superficial, contribuindo, assim, para maior absorção da água pelo solo e para o aumento da porosidade deste, elevando a condutividade hidráulica e as taxas de infiltração (PRUSKI *et al.*, 2003; BRANDÃO *et al.*, 2006).

Bias *et al.* (2012), em um estudo correlacionado cobertura vegetal com escoamento superficial, utilizaram o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), destacando a importância do índice na eficiência da vegetação e no controle do escoamento superficial, pois quanto maiores os valores do índice, menores os impactos provocados pelas águas da chuva nos solos e maior o fluxo subsuperficial. O NDVI é um índice de vegetação amplamente utilizado para estudos da paisagem, que também mensura o vigor e densidade da vegetação e utiliza as mesmas bandas espectrais do SAVI.

O uso e cobertura do solo são fatores determinantes para o escoamento superficial e de recarga do lençol freático. Na ABRV, foram mapeadas as classes, indicadas como muito alto a muito baixo ou nulo. Foram atribuídos valores que variaram de 0 a 1, considerando o potencial de proteção dos recursos hídricos e abastecimento do lençol freático em relação às formas de uso do solo e tipos de cobertura vegetal (Figura 17).

Figura 17 – Potencial de proteção dos recursos hídricos em relação ao uso/cobertura do solo



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Na tabela 11, são apresentados os valores de cada classe de uso e cobertura do solo identificados na Bacia, que é o resultado do mapeamento do ano de 2019. Os valores atribuídos são uma média dos valores arbitrados pelos especialistas e estão relacionados ao potencial que a cobertura ou uso apresentam em relação à infiltração e armazenando de água.

Tabela 11 – Valores das classes em relação à capacidade de infiltração de água

Classes	Valor Atribuído
Formação Florestal	1,00
Formação Savânica	0,93
Formação Campestre	0,50
Pastagem	0,24
Agricultura	0,09
Área Urbana	0,03
Solo Exposto	0,00

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Em se tratando do potencial de infiltração na pastagem, o excesso de animais, principalmente bovinos praticando pastejo intensivo, resulta na presença de camadas compactadas na superfície do solo, proporcionando menor infiltração da água de chuvas e, com isso, maior escoamento superficial, favorecido pela presença de pouca massa verde na superfície e que promove, então, processos de erosão e assoreamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2009; SATTLER, 2006). A pastagem na ABRV é a cobertura predominante na paisagem, ocupando 60,77% da área.

As áreas urbanizadas representam o maior impacto de intervenção no processo de infiltração de água da chuva em uma bacia hidrográfica, pois nessas áreas ocorrem a impermeabilização total ou parcial do solo, com o aumento significativo do escoamento superficial, ocasionando inundações e enchentes nos cursos d'água e áreas ocupadas de baixa vertente. A impermeabilização é o resultado da infraestrutura de construções, canalizações das drenagens, pavimentação de vias e calçamentos ou pela realização de outras obras que resultam no bloqueio da quase totalidade do processo de infiltração e recarga dos aquíferos (TARGA *et al.*, 2012; JUSTINO *et al.*, 2011). Na ABRV, as áreas urbanizadas ocupam 0,17% da área.

Nas áreas florestadas, há pouco escoamento superficial, visto que parte da água precipitada fica retida nos diversos estratos da vegetação, voltando, em parte, à atmosfera por evapotranspiração e outra parte se infiltra no solo. O destino das precipitações no ambiente das florestas pode assumir vários caminhos: parte da água é interceptado pelos estratos do ambiente florestal (arbóreo, arbustivo e herbáceo) e a serapilheira; e outra parcela de chuva consegue chegar ao solo atravessando a copa das árvores ou escoando pelo tronco.

No processo de infiltração da água das chuvas, o sistema radicular das plantas é fundamental, uma vez que as raízes ajudam na descompactação do solo e atuam como redutores da velocidade de enxurradas, aumentando a capacidade de infiltração. Raízes de árvores adultas do Cerrado podem atingir profundidades maiores que oito metros e captar água, horizontalmente, a mais de doze metros (BOTELHO; SILVA, 2010; PALHARES *et al.*, 2010; PINHEIRO *et al.*, 2009; COELHO NETTO, 2015).

Assim, as áreas florestas são o tipo de cobertura que mais contribui para a entrada de água no solo, ou seja, potencializam o processo de infiltração em relação aos outros tipos de uso e cobertura da terra. Mendonça *et al.* (2009) constataram que a baixa capacidade de infiltração, associada às áreas desmatadas, é capaz de reduzir consideravelmente a recarga de aquíferos, no caso, por exemplo, de áreas florestadas, a serapilheira e a matéria orgânica produzidas protegem o solo dos impactos das gotas de chuva e ajudam a manter uma elevada

capacidade de infiltração, dificultando a ocorrência de erosão. Na ABRV, a formação florestal e a formação savânica ocupam juntas 38,61% da área da bacia.

As áreas com agricultura apresentam problemas bem maiores quanto ao aumento do escoamento superficial, especialmente as práticas de cultivo temporário, onde o solo é revolvido até duas vezes ao ano. Enquanto nas áreas com florestas predomina a infiltração, nas áreas agrícolas alguns fatores, como a exposição do solo às gotas de chuvas, a ausência de cobertura vegetal durante uma boa parte do ano e a falta de práticas conservacionistas propiciam a formação de fluxo superficial. Nos solos com práticas agrícolas intensivas e convencionais ocorrem o processo de compactação das estruturas, com redução do volume de macroporos, que são importantes no processo de infiltração (BERTOL *et al.*, 2001; BOTELHO; SILVA, 2010; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). Na ABRV, a agricultura ocupa 0,34% da área da bacia, com pequenas ocorrências de cultura temporária.

As formações campestres são encontradas em 0,8% da área da ABRV, conforme o mapeamento de 2019. Estudos comparativos realizados por Brito (2019), sobre a capacidade de infiltração de água no solo nas fitofisionomias Campo sujo (formação campestre) e Cerrado típico (formação savânica) do bioma Cerrado, indicaram que há uma grande diferença na capacidade de infiltração do solo entre essas fitofisionomias. No estudo citado, os resultados indicaram menor capacidade de infiltração na fitofisionomia Campo sujo, já nas áreas de formação campestre, ou campos naturais, a infiltração ocorre de forma restrita ou limitada quando comparado às áreas de floresta, por apresentar menor densidade vegetativa; possibilidade de maior escoamento superficial; e menor profundidade das raízes, que atua no movimento de capilaridade da água (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

5.2 Combinação de Critérios e elaboração do Índice

Com a média aritmética dos valores atribuídos pelos especialistas foi possível hierarquizar as variáveis aplicadas no método. Assim, de maior para menor importância, para a manutenção e equilíbrio dos recursos hídricos, tem-se: hidrogeologia, geomorfologia, declividades, uso e cobertura do solo e, por último, o SAVI. A tabela 12 apresenta a matriz de comparação pareada, sendo que a comparação pareada é linha com coluna.

Tabela 12 - Matriz de comparação pareada com os pesos atribuídos pelos especialistas

	Hidrogeologia	Geomorfologia	Declividade	Uso e Cobertura do Solo	SAVI
Hidrogeologia	1,00	2,00	4,00	6,00	5,00
Geomorfologia	1/2=0,50	1,00	2,00	5,00	4,00
Declividade	1/4=0,25	1/2=0,50	1,00	2,00	3,00
Uso e cobertura do solo	1/6=0,17	1/5=0,20	1/2=0,50	1,00	2,00
SAVI	1/5=0,20	1/4=0,25	1/3=0,33	1/2=0,50	1,00

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com os resultados apresentados na matriz de comparação pareada, os especialistas arbitraram que, no processo de equilíbrio e manutenção dos recursos hídricos, a hidrogeologia, em função de ser um elemento do meio físico que controla o processo de vazão de água, é a variável mais importante entre as demais. Na sequência, viriam a geomorfologia, por controlar o processo de recarga do lençol freático; as declividades, por controlar o processo de escoamento/infiltração das águas da chuva; o uso e cobertura do solo, por determinar processos de alteração/degradação na paisagem, influenciar o ciclo hidrológico e a demanda pelo consumo de água; e, por último, o SAVI, por ser um indicador de densidade da cobertura vegetal, que por sua vez, influencia no processo de escoamento e absorção das águas.

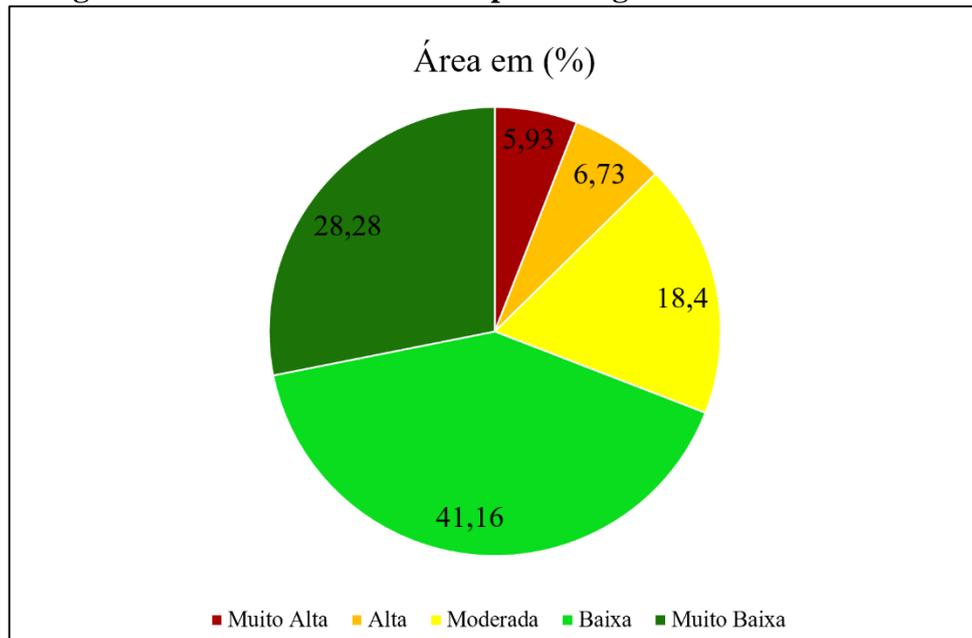
A tabela 13 e a figura 18 apresentam os pesos (Autovetor) de cada variável, que é resultado da ponderação de critérios da matriz de comparação pareada. Os pesos foram aplicados ao cálculo final de elaboração do índice, considerando a hierarquia de importância dos critérios ou variáveis.

Tabela 13 – Pesos das variáveis

Variáveis ou critérios	Autovetor
Hidrogeologia	0,415
Geomorfologia	0,288
Declividade	0,156
Uso e cobertura do solo	0,089
SAVI	0,053
Total	1,000

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Figura 18 – Gráfico da Área em porcentagem das variáveis do AHP

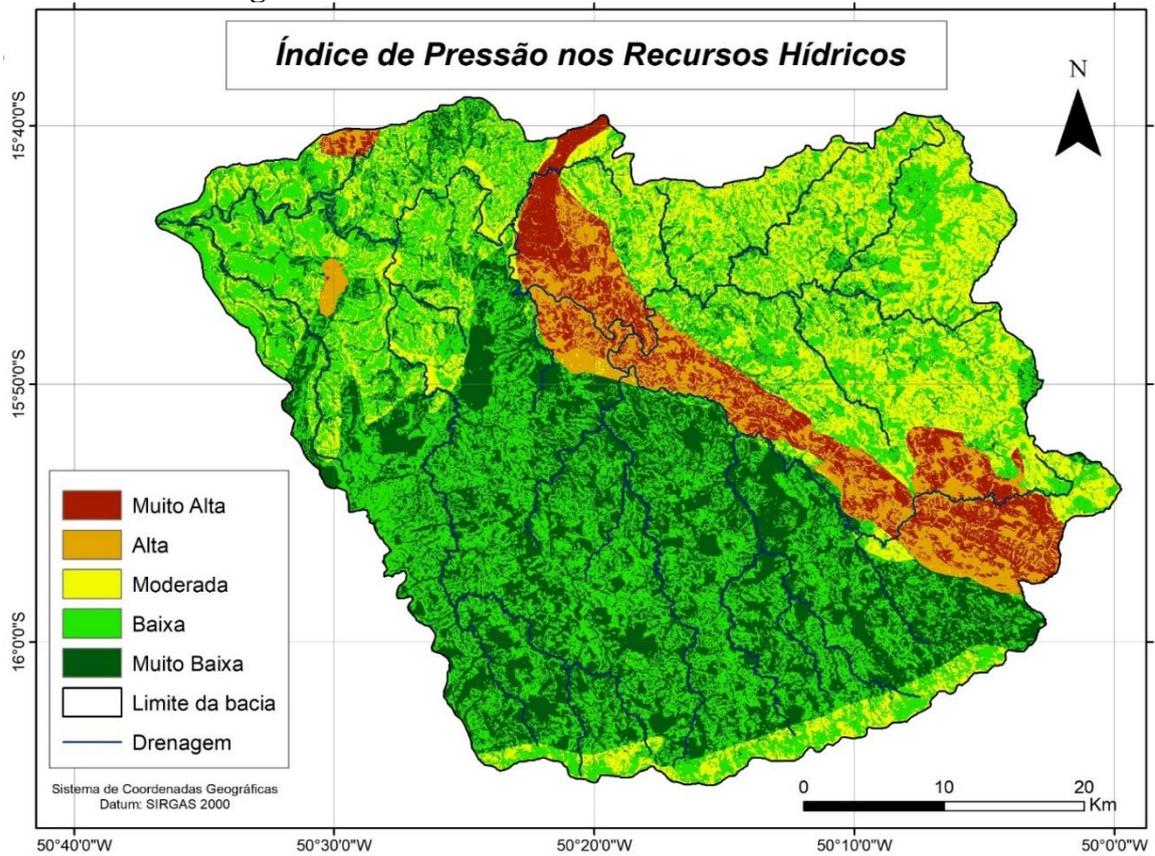


Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A razão de consistência é o produto que valida o julgamento realizado pelos especialistas. Na aplicação do método, chegou-se ao valor 0,041, considerado como satisfatório, de acordo com os parâmetros definidos por Saaty (1980). Segundo o autor, valores inferiores a 0,1 indicam que há coerência nos valores arbitrados.

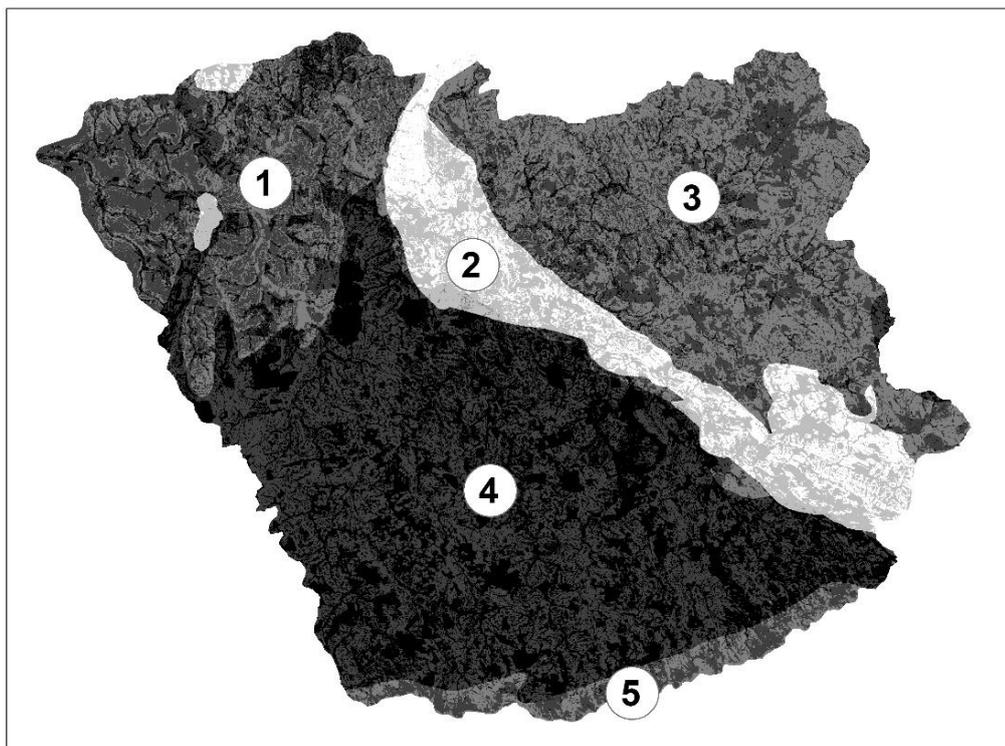
O resultado da aplicação das variáveis ao método multicritério AHP resultou no mapa final de Índice de Pressão nos Recursos Hídricos, com classes que variaram de muito alta a muito baixo, como demonstrado na figura 19. A espacialização das classes apresentadas no mapa final gerou cinco unidades de paisagem bem definidas, como pode-se observar na figura 20 e que serão explicadas em seguida. Assim, para melhor compreensão, as discussões e análises foram feitas a partir dessas unidades.

Figura 19 – Índice de Pressão nos Recursos Hídricos



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Figura 20 – Unidades de Paisagem em relação ao índice de pressão



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A Unidade de Paisagem [1] se aproxima espacialmente com as variáveis: potencial de recarga em relação à geomorfologia e o potencial de infiltração em relação à declividade. É uma área que apresenta extensas áreas com menores declividades, que podem favorecer a infiltração, mas com potencial baixo de recarga, em relação à geomorfologia. Em relação à hidrogeologia, toda essa área se encontra no domínio “Fraturado” do sistema Aquífero Cristalino Noroeste (SACNW) e em uma pequena porção da unidade Serra da Mesa (SASM), apresentando um alto potencial de recarga. No que diz respeito ao uso e cobertura do solo, há uma predominância de pastagem e alguns fragmentos de cobertura vegetal natural. Quanto ao SAVI, há uma variação de baixa a alta densidade em função dos tipos de cobertura do solo que existem nessa área.

Assim, nesta primeira unidade de paisagem, há um predomínio da classe Baixa do IPRH. Destaca-se a ocorrência de dois polígonos que registra Alta a Muito Alta pressão em função de estarem em área de pastagem com altas declividades. A unidade está ainda relacionada de Baixo a Médio potencial de recarga em relação à geomorfologia, ao Muito Baixo potencial de vazão em relação à hidrogeologia, mas com Muito Alto potencial de infiltração em relação às declividades.

Predominantemente, na Unidade de Paisagem [2], é identificada uma faixa que varia de alta a muito alta pressão nos recursos hídricos e que pode ser explicada em razão das altas declividades, ou seja, apresenta menor absorção de água no solo. É uma área que, em relação à hidrogeologia, apresenta muito baixa vazão. As pastagens associadas à declividade e à baixa vazão influenciam na definição de áreas com muita alta pressão nos recursos hídricos. Nesta unidade de paisagem, o que reduz o potencial de muito alta para alta é a presença de vegetação nativa de Cerrado, pois existe uma variação entre a cobertura vegetal natural (formação florestal e savânica). O SAVI, na unidade, apresenta valores variados, desde baixos índices de cobertura a densidades altas, relacionados à cobertura natural de Cerrado e às coberturas de pastagem.

A terceira Unidade de Paisagem [3] está diretamente relacionada à baixa capacidade de recarga em relação à geomorfologia; recebe influência da hidrogeologia, onde vai predominar um potencial de vazão alto das declividades, que variam de muito baixa a mediana, e influência do SAVI, que apresenta densidades vegetativas de medias a muito altas. É uma unidade que predominam classes de pressão que vão de moderada à baixa, pois mesmo apresentando um potencial baixo em relação à recarga, ela representa um potencial alto de vazão, ou seja, a hidrogeologia colabora nesse contexto mitigando os impactos que são provocados, decorrentes principalmente das pastagens.

Na Unidade de Paisagem [4], o índice de pressão nos recursos hídricos varia de baixa a muito baixa. O potencial de recarga em toda área apresenta-se como médio; o potencial de vazão em relação à hidrogeologia é considerado alto; as declividades são de médias para altas e o SAVI apresenta densidade vegetacional de média a muito alta. Nesta Unidade ocorrem muitos fragmentos arbóreos de vegetação nativa de Cerrado, portanto, o que se pode observar é que as variáveis de geomorfologia e hidrogeologia, principalmente, favorecem com que esta unidade apresente as melhores condições em relação à pressão nos recursos hídricos, em toda a ABRV.

Na Unidade de Paisagem [5], que ocorre no *front* da Serra Dourada, uma área escarpada de altas declividades, apresentou-se de baixa a moderada pressão nos recursos hídricos. Esses resultados estão relacionados a um predomínio de cobertura vegetal natural de Cerrado e de densidade do SAVI. Em relação à geomorfologia, não é uma área de recarga, devido à própria declividade, predominando o escoamento nos eventos chuvosos. O resultado, nessa variação, de classe baixa a moderada no índice de pressão está relacionada, principalmente, aos aspectos hidrogeológicos, que possuem um alto potencial de vazão; à cobertura vegetal natural e à densidade do SAVI. Em relação à geomorfologia e à declividade, é uma área que apresenta baixo potencial de recarga e muito baixa capacidade de infiltração.

5.3 Cenário das condições ambientais dos recursos hídricos da ABRV

As análises desenvolvidas levam-nos à compressão de que as condições naturais e de uso e cobertura do solo influenciam toda a dinâmica da bacia e que os fenômenos naturais ou antrópicos em uma bacia não acontecem de forma isolada, e as consequências podem influenciar a totalidade do sistema. Com isso, não se deve perder a noção do todo que, nesse caso, refere-se ao conjunto composto pelas características do meio físico e biótico, condições climáticas, estrutura de drenagens e formas de uso e ocupação do solo.

Os córregos Bacalhau, Gouveia, Bagagem, Areias e Pedro Ludovico estão entre os cursos d'água que compõem o sistema de drenagem da ABRV. Esses cursos d'água e suas adjacências apresentam condições preocupantes de degradação, que têm refletido diretamente na pressão exercida nos recursos hídricos em toda a bacia.

Um fenômeno que tem preocupado os moradores da região e estudiosos dos recursos hídricos da ABRV é a diminuição da vazão de água do rio Vermelho e a intermitência de inúmeros cursos d'água que compõem a alta bacia, dentre estes, os acima citados. A partir das observações de campo, nos períodos de maior concentração de chuvas (fevereiro de 2020) e

períodos de estiagem (agosto de 2020), foi possível identificar as condições de intermitência das drenagens.

Na figura 21, pode ser evidenciado o fenômeno da intermitência dos córregos Bacalhau e Gouveia e a redução da vazão do Rio Vermelho. As setas amarelas indicadas nas fotos A e B indicam um afloramento de rocha que foi utilizado como referência espacial no momento do registro fotográfico. As águas do córrego Bacalhau são captadas para abastecimento urbano (Cidade de Goiás). As fotos C e D, indicadas com uma seta, apresentam uma continuação de uma estrada que acabou por ser obstruída pelo retorno da vazão, no período das chuvas. As fotos E e F são referentes à atividade de medição de vazão do Rio Vermelho, vinculada ao projeto de extensão existente na Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Cora Coralina e coordenada pelo grupo “Águas do Cerrado/ GWATÁ-UEG”. Já as setas indicam uma referência espacial (árvore) que serve como comparação da oscilação do nível da vazão de água.

Figura 21 – Cursos de água da ABRV (Goiás) em períodos de chuva e de estiagem

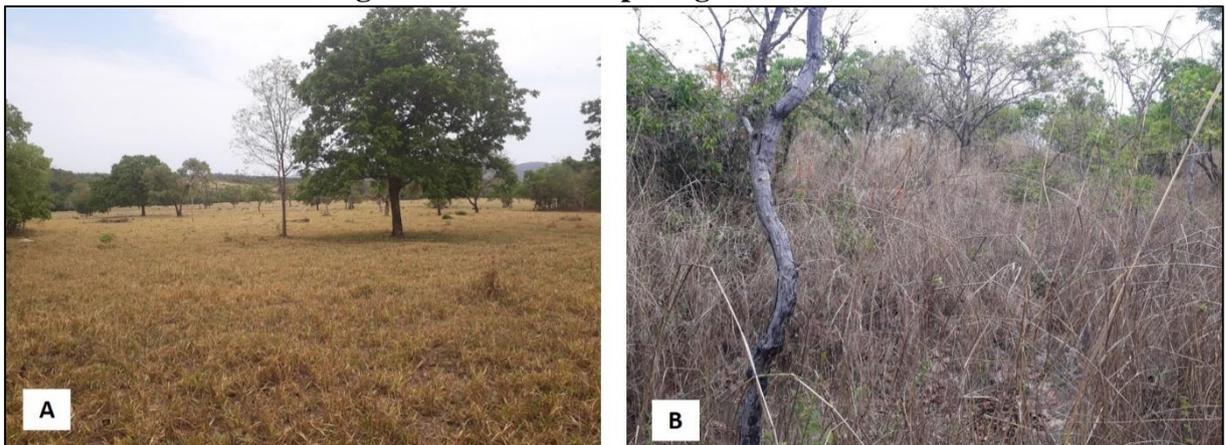


Fonte: Arquivo pessoal. Foto A – Córrego Bacalhau em período de estiagem (26/08/2020); Foto B – Córrego Bacalhau em período chuvoso (17/02/2020); Foto C - Córrego Gouveia em período de estiagem (26/08/2020); Foto D – Córrego Gouveia em período chuvoso (17/02/2020); Foto E – Rio Vermelho em período de estiagem (26/08/2019); Foto F – Rio Vermelho em período chuvoso (11/01/2021).

Um fator importante a ser observado sobre a intermitência dos cursos de água da ABRV é o fato dessas intermitências serem identificadas somente em médios e baixos cursos, sendo perene a vazão dos cursos de água a montante. Isso foi identificado em campo nos córregos Areias e Pedro Ludovico, o que reafirma a hipótese de que uma das principais causas da intermitência dos córregos é o represamento da água para dessedentação de animais, feito por proprietários de terra nas cabeceiras de drenagem.

As ações antrópicas na ABRV são a principal causa da intermitência, potencializada pela grande quantidade de pastagens na área (Figura 22); pela destruição das matas ciliares, de galeria e APPs (Áreas de Preservação Permanente); e por loteamentos clandestinos e ilegais, como ocorrido na bacia do Rio Vermelho (Figura 23), com lotes em dimensões inferiores ao permitido pela legislação vigente, sendo que vários deles estão a menos de 5 metros do leito do rio, ocupando a faixa de APP.

Figura 22 – Áreas de pastagem na ABRV



Fonte: Autoria de Fernanda Alves de Oliveira Ferreira (2020).

Figura 23 – Loteamentos irregulares e ocupação de APP no Rio Vermelho



Fonte: A e B - Imagem de drone (2019). Autoria: Janiel Divino de Souza. C: Arquivo Pessoal (2019).

As atividades de extração irregular e ilegal de areia que ocorrem nos leitos dos rios também são fatores de degradação, como, por exemplo, no caso do Córrego Bagagem na confluência com o Córrego Canjiquinha, com instalação clandestina de draga para mineração, sem qualquer preocupação de preservação da riqueza da paisagem natural, onde, praticamente,

provocou a eliminação do fluxo do leito do rio, atingindo a mata ciliar e ampliando o processo de assoreamento, prejudicando gravemente o equilíbrio hidrogeológico desses cursos d'água e áreas adjacentes (Figura 24).

Figura 24 – Extração irregular e ilegal de areia no Córrego Bagagem



Fonte: Arquivo Pessoal (2021).

Outras condições evidenciadas e que representam pressão nos recursos hídricos são: o represamento dos cursos de água; o uso da água superficial e subterrânea, inclusive para atividades de lazer relacionadas à exploração dos recursos hídricos, feitas por clubes de recreação, balneários e hotel-fazenda (Figura 25); e captação clandestina de água (Figura 26).

Figura 25 – Área de lazer instaladas em áreas de APP



Fonte: Arquivo Pessoal (2020).

Figura 26 – Captação clandestina e irregular de água no Córrego Bacalhau



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Os aspectos do meio físico da alta bacia, como descritos na caracterização hidrogeológica, geomorfológica e de declividades, apresentada no terceiro capítulo, indicam a suscetibilidade ambiental da paisagem com material rochoso de superfície com altos teores de areia, que, associados ao desmatamento e expansão das pastagens, têm potencializado o processo de transporte de sedimentos e deposição na calha dos rios. Essas condições explicam o cenário de degradação nos cursos d'água que apresentam processos de erosão e assoreamento, tornando-se um atrativo para a exploração dos mesmos, com a atividade irregular de mineração de areia.

Além das condições apresentadas, outro fator que colabora para a situação de crise hídrica na ABRV é a redução dos totais anuais de chuva, observada no gráfico da Figura 12, no período de 1990 a 2019. A linha de tendência do gráfico registra redução das chuvas no período, sendo o ano de 2019 o que registrou os totais mais baixos do período (1.031mm) – a média para o período foi 1.630mm. Esses cenários estão contribuindo para a condição de crise hídrica e exercendo uma pressão nos recursos hídricos na ABRV.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo possibilitou o desenvolvimento de um índice que evidenciasse as condições de pressão nos recursos hídricos superficiais, considerando aspectos do meio físico-natural e de uso do solo. É uma modelagem que sugere aprimoramentos, principalmente na associação dos aspectos físicos dos solos, da dinâmica dos eventos chuvosos, assim como uma melhor descrição e valoração do uso do solo. Mas, os resultados alcançados, já contribuem para uma avaliação das condições da fragilidade dos recursos hídricos, evidenciando que áreas que indicam restrições a recarga e vazão e que a densidade da cobertura vegetal é baixa, como pastagens, apresentam potencial à intermitência dos cursos d'água.

O cenário de crise hídrica sempre foi associado a espaços densamente ocupados e onde os recursos naturais são superexplorados. A ABRV não apresenta essas condições e, mesmo assim, enfrenta problemas relacionados à escassez de água, principalmente para abastecimento urbano, e dessedentação de animais, no período de estiagem. Dessa forma, as modelagens ambientais, com a incorporação de análise multicritério, podem contribuir para a compreensão dessas condições e fragilidades ambientais, aperfeiçoando os resultados alcançados. E, as técnicas de geoprocessamento, se apresentam com uma alternativa rápida e com resultados satisfatórios para a delimitação das áreas que estão mais susceptíveis à situação de crise hídrica.

Assim, identificar as dimensões da crise hídrica na ABRV deveria perpassar por uma análise integrada da paisagem, cujo recorte espacial fosse um sistema ambiental – a bacia hidrográfica. Os resultados e análises desta pesquisa podem subsidiar o planejamento ambiental e a gestão integrada para a preservação e conservação dos recursos naturais da bacia como um todo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos Sistemas Ambientais: Métodos e Indicadores. *In*: CUNHA, S. B. da. (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009: informe anual**. Brasília: ANA, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

ANA. Agência Nacional De Águas. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** (Cadernos de capacitação em recursos hídricos; v.1). Brasília: SAG, 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

ANTONELLO, S. L. **Um sistema de planejamento e gestão para bacias hidrográficas com uso de análise multicritérios**. (Tese de doutorado em Ecologia de Agroecossistemas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ARGENTO, M. S. F.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento Geomorfológico. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

BARBOSA, A. S. Peregrinos do cerrado. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**. São Paulo, 5: 159-193, 1995.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo de solo. **Scientia Agrícola**. v. 58, n. 3, p. 555-560. jul/set, 2001.

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

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. **Esboço metodológico**. Curitiba: UFPR, n. 8, 2004.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BIAS, E. de S. *et al.* Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF. **Geociências**: UNESP, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 411-429, 2012.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. *In*: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MJpWTbaf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto 1981. Disponível em: <http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/brazil/brazil_6938.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 001 de 1986**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. de a. Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental. *In*: BRILHANTE, O. M. **Gestão e Avaliação da Poluição, Impacto e Risco Ambiental**. Rio de Janeiro: Fiocruz, p. 19-73, 2002.

BRITO, G. Q. **Capacidade de Infiltração de Água no Solo em Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. Tese (Mestre em Ciências Ambientais). Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB). Brasília-DF, 2019.

BOUGUERRA, M. L. **As batalhas da água: por um bem comum da humanidade**. Tradução de João Batista Kreuch. Petrópolis: Vozes, 2004.

CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C. Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 12, n. 04, p. 1415-1430, 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São Paulo: INPE, 2001.

CARDOSO, M. R. D. *et al.* Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado De Goiás e o Distrito Federal. Boa Vista: **ACTA Geográfica**. v.8, n.16, p. 40-55, 2014.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Hidrologia. Capítulo 3. **Bacia Hidrográfica**. Agosto, 2006.

CARVALHO, G. M. B. S.; SOUZA M. J. N.; SANTOS, S. M. **Análise da vulnerabilidade à erosão: bacias dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim (CE)**. 2003. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.05.15.17/doc/12_040.pdf> . Acesso em: 28 maio de 2020.

CAVALCANTI, M. C; LOPES, L. C; PONTES, M. N. C. Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 28, n. 1, p. 167-186. jan./jun., 2008.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. de O; RIO, G. A. P. do. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**. UFRJ, v. 28. n. 2, p. 11-30. 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 236p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **GEOSSISTEMAS - Uma Introdução à Geografia Física**. Tradução de Francisco Eliseu Aquino *et al.* 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COELHO NETTO, A. L. C. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. *In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4. ed. 2015.

CORDÃO, M. J. de S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de Multicritérios na adequação de uso das terras**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu. 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. *In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

DIEGUES, Antonio Carlos. **Água e cultura nas populações tradicionais brasileiras**. I ENCONTRO INTERNACIONAL: GOVERNANÇA DA ÁGUA. São Paulo, 2007.

FALCÃO. E, C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no Município de Boa Vista-PB**. 2013. Tese (Doutorado).

Universidade Federal de Campina Grande “Centro de Tecnologia e Recursos Naturais”. Campina Grande-PB. Março/2013.

FERNANDES, J, C. *et al.* Análise Multicritério com uso da AHP para avaliação temporal na Vulnerabilidade Ambiental estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Uberabinha, MG. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 141-158. jul/set, 2019.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **Geotexto**. Salvador, vol. 6, n. 2, 2010.

FIGUEIRÊDO, M, C, B. *et al.* Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409, out/dez, 2007.

FONTANELLA, A. *et al.* Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio da Ilha, Taquara, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 23-41, jan. /mar. 2009.

FRANCO, A. C. S; JÚNIOR, L. R. dos. S; LEITE, K, L. **Indicadores de Pressão Hídrica e Vulnerabilidade Ambiental no Município de Goiás (GO)**. *In*: VIII Simpósio Internacional de Geografia Agrária e IX Simpósio Nacional de Geografia Agrária. Curitiba-PR, 2017.

GARCIA, P. H. M. **Discussão Teórica dos métodos e técnicas para estudos em Bacias Hidrográficas**. Ciência Geográfica: Bauru, 2016.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Por Leonardo de Almeida, Leonardo Resende, Antônio Passos Rodrigues, José Eloi Guimarães Campos. Goiânia, 2006a. 232 p.: il. (Série Geologia e Mineração, n. 1).

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Por Edgardo M. Latrubesse, Thiago Morato de Carvalho. Goiânia, 2006b. 128 p.:il. (Série Geologia e Mineração, n.2).

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. Tradução de Iuri Duquia Abreu. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Rio de Janeiro, 1993.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. *In*: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (orgs.). **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 189 p.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 25, p. 295-309, 1988.

IBGE. Cidades. **Panorama do Estado de Goiás**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama>> . Acesso em: 10 de março de 2020.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. 271 p. (Série: Manuais técnicos em geociências n. 7).

IMB. Instituto Mauro Borges de Estatísticas Socioeconômicas. **Goiás em Dados**. Secretária do Estado de Gestão e Planejamento. Goiânia, 2017.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 18 de junho de 2020.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Comitês de Bacias Hidrográficas no Brasil - Desafios de fortalecimento da gestão compartilhada e participativa. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. n. 11-12, p. 41-49, jan. /dez, Editora UFPR. 2005.

JUSTINO, E. A; PAULA, H. M; PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial no Município de Uberlândia –MG. **Espaço em Revista**. vol.13, n. 2, p. 16-38, 2011.

LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LEAL, A. C. Planejamento Ambiental de Bacias Hidrográficas como Instrumento para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Entre – Lugar**. n.6, p. 65-84. Dourados (MS). 2012.

LOCH, R. E. N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: UFSC, 2006.

MENDONÇA, L. A. R. *et al.* Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Eng Sanit Ambient**. v.14 n.1, jan/mar, p. 89-98, 2009.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília-UNB, 2012.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

NASCIMENTO, D. T. F. *et al.* Levantamento do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar: uma experiência didático-pedagógica no ensino da Climatologia Goiânia – GO. 2005. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 7. 2006, Rondonópolis. **Anais...** Rondonópolis, 2006.

NASCIMENTO, P. W. F. *et al.* Avaliação do Potencial de Infiltração Relativo das Bacias Hidrográficas Urbanas do Rio Anil e do Rio Grande (Município Do Rio De Janeiro). **Geo. UERJ**, Rio de Janeiro, n. 30, p. 364-390, 2017.

NASCIMENTO, F. R. do *et al.* Diagnóstico Geoambiental da Bacia Hidrográfica Semiárida do Rio Acaraú: Subsídios aos estudos sobre desertificação. **Boletim Goiano de Geografia**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 41- 62, out. 2008.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p.

NUNES, E. D. **Transformações Karajá: os “antigos” e o “pessoal de hoje” no mundo dos brancos**. Universidade de Brasília (tese de doutorado). Brasília, 2016.

OLIVEIRA, E. V, de. **Meteorologia Aplicada**. Recife: IFPE, 2014. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpe/tecnico_sistemas_energia_renovavel/arte_meteorologia_aplicada.pdf>. Acesso em: 17/07/2020.

OLIVEIRA, A. H.; NETO, G. K.; PEREIRA, S.Y. **Análise do Relevo para o mapeamento de áreas favoráveis ao processo de infiltração**. XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Campinas–SP, 2016.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da bacia hidrográfica do alto Uruguai. **Floresta**. Curitiba-PR, v. 44, n. 3, p. 535 - 548, jul. /set, 2014.

PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociência**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213-220, abr./jun, 2010.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos. O Método de Análise Hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Departamento de Geografia**. Universidade de São Paulo, [S.L.], p. 4-26, 2012.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte**. Edição Especial, v.2, n. 4, p. 1528-1538, 2012.

PIROLI, E. L; SOARES, F. B. **Análise da Hipsometria e da Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (São Paulo, Brasil) como subsídio para o planejamento ambiental da área**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. UFC, Fortaleza-CE, 2019.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. de. Avaliação ambiental estratégica de planos de bacias hidrográficas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 243-252, set. 2013.

PORTO, M. F. A; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S., SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003.

QUEIROZ, J. **Envase de água: mercantilizando a sede**. São Paulo: Annablume, 2013.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 152-212.

RIVA, G. R. S. **Água, um Direito Humano**. São Paulo: Paulinas, 2016.

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

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 8, p. 64-74, 1994.

SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, projection and forecasting**. Boston: Kluwer Academic. 1991.

SATTLER, M. A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo Vermelho Amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim**. 2006. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

SCHMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. R. Uso de Redes Neurais Artificiais na Ponderação Inicial da Técnica AHP em Análises de Vulnerabilidade de Bacias Hidrográficas. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 22, n. 3, p. 511–525, 2016.

SILVA, A. A.; BARBALHO, M. G. S. **Os fatores naturais, o uso, a chuva e a enchente no Rio Vermelho na Cidade de Goiás –GO em 2001**. Variabilidade e susceptibilidade climática: implicações ecossistêmicas e sociais. UFG, Goiânia/GO, 2016.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S., GALVÍNICO, J. D. **Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca – PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez**. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife, PE, n. 03, p. 629-649, 2011.

SOARES, S. R. Análise Multicritério e Gestão Ambiental. *In*: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

SOUZA, José Carlos de. **Metodologia para Avaliação Ambiental em Bacias Hidrográficas, utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. (Tese de Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.

SOUZA, L. B; ZANELLA, M. E. **Percepção de Riscos Ambientais: Teoria e Aplicações**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. Disponível em: <<http://www.ppggeografia.ufc.br/images/percepcaoderiscos.pdf>>. Acesso em: 29/05/2020.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicações de três modelos. **GEOUSP- Espaço e Tempo**. n. 15, p. 39- 49. São Paulo, 2004.

TARGA, M. dos. S. *et al.* Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 7, n. 2, 2012.

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

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Revista Espaço e Cultura**. Rio de Janeiro, n. 4, junho/1997.

TUCCI, C. E. M. Escoamento Superficial. *In*: TUCCI, C. E. M. *et al.* (org.). **Hidrogeologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat Satellite Missions**, 2020.

VILLELA, P. M. **Impactos Ambientais da Modernização Agropecuária em Goiás**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2016.