

DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM APLICADA A BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS E EDÁFICOS

Alinne De Assis Veras Queiroz¹ 

Rafael Marques Pereira Leal² 

Raysa Moraes Castro³ 

Wilker Alves Morais⁴ 

Marconi Batista Teixeira⁵ 

Lucas Peres Angelini⁶ 

RESUMO: Há diversos métodos de avaliação ambiental que contribuem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, permitindo um uso mais sustentável. Dentre esses métodos, destaca-se o de Unidade de Paisagem (UP), uma ferramenta voltada ao desenvolvimento e monitoramento de planos de manejo econômico, social e ambiental de bacias hidrográficas. No entanto, a subjetividade na delimitação dessas unidades representa um desafio. Este estudo tem como objetivo delimitar as unidades de paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho (BHRV), localizada no sudoeste do estado de Goiás, abrangendo os municípios de Rio Verde e Santo Antônio da Barra, utilizando parâmetros geomorfológicos e técnicas de análise espacial. A metodologia adotada integrou dados de forma do terreno (FT), declividade e tipos de solo, os quais foram reclassificados. Posteriormente, foi aplicada a Análise Hierárquica de Processos (AHP) que permitiu a ponderação das variáveis. Os dados para o cálculo da FT e declividade foram obtidos da plataforma TOPODATA e os dados de tipos de solos, hidrografia foram obtidos da plataforma Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). A delimitação das unidades de paisagem foi avaliada por meio de visitas de campo. A análise espacial resultou em um mapa detalhado, identificando cinco categorias distintas de unidades de paisagem, com diferentes graus de vulnerabilidade e potencial de uso. Esse mapeamento trouxe informações essenciais para o planejamento ambiental, a gestão da bacia e a implementação de práticas agrícolas sustentáveis. A proposta mostrou-se eficaz na caracterização das dinâmicas ambientais da BHRV, oferecendo uma ferramenta relevante para o manejo e a conservação do território.

Palavras-chave: Análise de Paisagem; Análise Hierárquica de Processos; Forma do Terreno; Sistema de Informação Geográfica.

DELIMITATION OF LANDSCAPE UNITS APPLIED TO WATERSHEDS USING GEOMORPHOMETRIC AND EDAPHIC PARAMETERS

ABSTRACT: There are several environmental assessment methods that contribute to the maintenance of ecosystem services, promoting more sustainable resource use. Among these methods, the Landscape Unit (LU) approach stands out as a tool focused on the development and monitoring of economic, social, and environmental management plans for river basins. However, the subjectivity involved in delimiting these units represents a challenge. This study aims to delineate the landscape units of the Verdinho River Basin (VRB), located in southwestern Goiás State and encompassing the municipalities of Rio Verde and Santo Antônio da Barra, using geomorphological parameters and spatial analysis techniques. The adopted methodology integrated data on landforms (LF), slope, and soil types, which were subsequently reclassified. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was then applied to assign weights to the variables. Data used to calculate LF and slope were obtained from the TOPODATA platform, while soil and

¹ Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – alinneaveras@gmail.com

² Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – rafael.leal@ifgoiano.edu.br

³ Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – raysaeng.amb@gmail.com

⁴ Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – wilker.morais@ifgoiano.edu.br

⁵ Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br

⁶ Instituto Federal Goiano (IFGoiano), Rio Verde-GO, Brasil – lucas.angelini@ifgoiano.edu.br

hydrographic data were obtained from the State Geoinformation System (SIEG) platform. The delimitation of the landscape units was validated through field visits. The spatial analysis resulted in a detailed map identifying five distinct categories of landscape units with varying degrees of vulnerability and land-use potential. This mapping provided essential information for environmental planning, watershed management, and the implementation of sustainable agricultural practices. The proposed methodology proved effective in characterizing the environmental dynamics of the VRB, offering a valuable tool for territorial management and environmental conservation.

Keywords: Landscape Analysis; Hierarchical Process Analysis; Landform; Geographic Information System.

DELIMITACIÓN DE UNIDADES DE PAISAJE APLICADAS A CUENCAS HIDROGRÁFICAS MEDIANE PARÁMEROS GEOMORFOMÉRICOS Y EDÁFICOS

RESUMEN: Existen diversos métodos de evaluación ambiental que contribuyen al mantenimiento de los servicios ecosistémicos y promueven un uso más sostenible de los recursos. Entre ellos, destaca la Unidad de Paisaje (UP), una herramienta orientada al desarrollo y monitoreo de planes de manejo económico, social y ambiental de cuencas hidrográficas. Sin embargo, la subjetividad en la delimitación de estas unidades representa un desafío. Este estudio tuvo como objetivo delimitar las unidades de paisaje de la Cuenca Hidrográfica del Río Verdinho (BHRV), ubicada en el suroeste del estado de Goiás y comprendiendo los municipios de Rio Verde y Santo Antônio da Barra, mediante parámetros geomorfológicos y técnicas de análisis espacial. La metodología integró datos de formas del relieve (FT), pendiente y tipos de suelo, posteriormente reclasificados. Luego, se aplicó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para ponderar las variables. Los datos de FT y pendiente fueron obtenidos de la plataforma TOPODATA, mientras que los datos de suelos e hidrografía provinieron del Sistema Estatal de Geoinformación (SIEG). La delimitación de las unidades de paisaje fue validada mediante visitas de campo. El análisis espacial generó un mapa detallado con cinco categorías de unidades de paisaje, diferenciadas por sus grados de vulnerabilidad y potencial de uso. Los resultados aportan información relevante para la planificación ambiental, la gestión de la cuenca y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. La metodología demostró ser eficaz para caracterizar la dinámica ambiental de la BHRV y apoyar la conservación territorial.

Palabras clave: Análisis del paisaje; Análisis de procesos jerárquicos; Análisis de formas del terreno; Sistema de información geográfica.

Introdução

O conceito de análise de paisagem é amplamente difundido nas Geociências, sendo aplicado à investigação dos elementos presentes em uma unidade territorial delimitada por suas características geomorfológicas (Cignetti et al., 2025). Nessa abordagem, a natureza é analisada por suas conexões e interações, o que permite compreender a dinâmica de transformação da paisagem. Além disso, este conceito é fundamental na geografia, especialmente em estudos ambientais. Ao longo da evolução teórica do campo, a análise de paisagem passou por diversas reformulações interpretativas, refletindo novas perspectivas e abordagens científicas (Souza et al., 2019).

As unidades de paisagem (UP) podem ser definidas como áreas homogêneas quanto às características geomorfológicas, edáficas e de relevo. A delimitação das UPs não é uma tarefa fácil, pois envolve a complexidade da organização e integração dos sistemas ambientais, bem como sua interação com as ações antrópicas (Santos et al., 2019). Nesse sentido, torna-se essencial tratar a paisagem de forma unificada, considerando suas múltiplas interações e dinâmicas.

A configuração da paisagem é influenciada por elementos, relações, atributos, entradas e saídas do sistema, exigindo, portanto, uma análise espaço-temporal (Morin 1977 e Christofletti 1979). Nesse contexto, pode ser aplicada a formalização de uma abordagem de geossistemas multiescalares, que integra vegetação, solo e relevo em diferentes níveis de hierarquia espacial. (Khoroshev, 2019). Por exemplo, Chen et al. (2023) aplicaram essa lógica

na classificação de unidades de solo-paisagem, demonstrando a eficácia de integrar variáveis temáticas para uma compreensão mais precisa das dinâmicas territoriais.

Para a delimitação das UPs, Crepani et al. (2001) propõem o uso do conceito de ecodinâmica, que consiste na coleta e análise integrada de dados sobre relevo, solos, clima, vegetação e uso do solo. Esse procedimento permite avaliar a interação entre os fatores naturais e antrópicos, possibilitando a identificação das áreas superficiais e de suas fragilidades ambientais.

Estudos recentes, demonstram que técnicas automatizadas, análises baseadas em objetos e por aprendizagem de máquinas podem ser utilizadas em na identificação de paisagens, uso do solo e classificação de imagens (Murin et al., 2023; He et al., 2025; Karamanli e Uzun, 2025). Nesse sentido, o avanço de plataformas em processamento em nuvem, como Google Earth Engine (GEE) e Google Colab têm impulsionado estudos com grande volume de dados, pois permitem acessar diferentes fontes de dados, em diferentes intervalos de tempo. Além disso, essas plataformas permitem a incorporação de modelos de aprendizado de máquinas como Random Forest (RF) e Support Vector Machines (SVM) (He et al., 2025). Entretanto, o GEE ainda não acessa produtos disponibilizados nas plataformas brasileiras, como TOPODATA e DGI/INPE, o que exige um processamento externo e upload para a base de dados GEE.

Na metodologia padrão do estado de Minas Gerais do Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), a definição da unidade de paisagem é realizada de forma manual a partir da metodologia proposta por Fernandes (2014). O processo consiste na análise de contornos e do relevo com uso do exagero vertical, sobreposição de curva de nível e posterior delimitação manual das UPs pelo responsável técnico. Por depender fortemente da interpretação individual, esse procedimento tende a gerar diferentes resultados entre analistas, com baixa reprodutibilidade da metodologia (Minas Gerais, 2020).

O método proposto por Fernandes (2014) adota uma abordagem integrada, considerando a paisagem como resultado da interação entre os componentes do meio físico (geologia, relevo e solos), do meio biótico (vegetação nativa) e do meio socioeconômico (atividades antrópicas). Após a delimitação das paisagens, são realizadas interpretações quanto às potencialidades, fragilidades e aptidões, conforme sugerido por Fernandes e Bamberg (2009).

De forma semelhante, a metodologia descrita por Costa et al. (2017) também se baseia em um processo manual, com a interpretação de curvas de nível para a categorização das unidades de paisagem. No entanto, esse método exige amplo conhecimento técnico e experiência prévia com a bacia analisada, o que o torna subjetivo e restrito a especialistas qualificados, dificultando sua replicabilidade.

Costa et al. (2017) propuseram um método alternativo denominado Potencial de Uso Conservacionista (PUC), baseado na ponderação dos valores atribuídos a diferentes classes de solos, litologia e declividade por Análise Hierárquica de Processos (AHP). O objetivo é indicar o potencial de uso de uma área a partir de suas características físicas. Essa metodologia, hoje, integra o Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) do estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2025). Entretanto, o PUC não leva em consideração informações sobre a forma do terreno e seus efeitos na construção da paisagem.

No presente estudo, propõe-se uma metodologia distinta para a delimitação das UPs, integrando múltiplas variáveis topográficas e edáficas - como curvatura horizontal e vertical, declividade e tipos de solo, por meio da AHP e agrupamento k-means. A AHP consiste em uma metodologia multicritério proposta por Saaty (1980) com ampla aplicação na área ambiental, com forte aplicação em zoneamento de riscos de incêndios, inundações e perda de solo (Aires et al., 2024; Mokhtari et al., 2023; Bagwan e Gavali, 2025).

A AHP se destaca por sua capacidade em avaliar cenários a partir de multiparâmetros ponderados, onde diversos fatores irão atuar sobre um determinado fenômeno ao mesmo tempo (Malla e Ohgushi, 2024). Essa característica a torna uma poderosa ferramenta para as

áreas de geomorfologia, análises ambientais e hidrologia, pois permite agregar diferentes graus de influência dentro de um espaço contínuo através de pesos obtidos por matrizes pareadas. Essa característica, quando associado a dados espaciais possibilita identificar áreas ou zonas onde a magnitude dos fenômenos ocorrerá com maior ou menor intensidade (Aires et al., 2024). Além disso, a AHP não demanda uma existência de relação estatística prévia e o controle das incertezas e os julgamentos subjetivos são avaliados pela razão de consistência (Das et al., 2022; Kumar e Pant, 2023).

A proposta metodológica proposta se diferencia ao captar nuances mais sutis da morfologia do terreno, atribuindo pesos diferenciados a fatores como forma do terreno, declividade e tipo de solo, garantindo que o mapeamento reflita adequadamente a influência relativa de cada variável. Essa abordagem viabiliza a integração dessas informações, resultando em um delineamento mais preciso das categorias de UPs, com a identificação de áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade e potenciais de uso. Isso contribui diretamente para o planejamento ambiental e o uso sustentável do território. Nesse sentido, a metodologia proposta pode ser replicada em outras bacias hidrográficas, porém, nesse caso, pode haver o surgimento de novas classes de UP que deverão ser estudadas com validação em campo.

Diante disso, este trabalho propõe uma metodologia alternativa para análise de paisagens em bacias hidrográficas, com o objetivo de superar as limitações de abordagens tradicionais, que dependem fortemente da interpretação subjetiva e de conhecimentos técnicos especializados. Ao integrar diferentes dados espaciais em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando técnicas de AHP e agrupamento de dados espaciais, busca-se uma abordagem mais objetiva e replicável em diferentes contextos. Essa proposta poderá contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos, oferecendo uma ferramenta eficaz e adaptável para tomadores de decisão e gestores ambientais.

Material e métodos

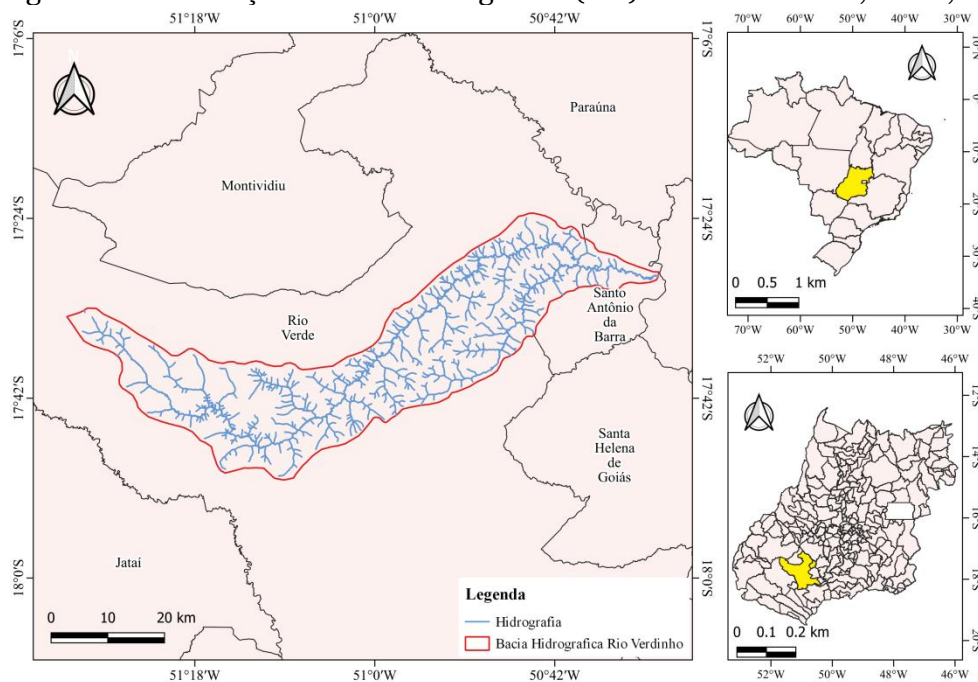
Área de estudo

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho (BHRV), localizada na região Sudoeste do estado de Goiás, Brasil abrangendo os municípios de Rio Verde e Santo Antônio da Barra. A BHRV possui uma área aproximada de 1,610 Km² está localizada entre as coordenadas geográficas 17°29'53,33"S/50°31'34,73"W e 17°33'57,20"S/51°29'14,36"W, inserida no domínio dos chapadões centrais, predominantemente cobertos por formações vegetais de cerrado, cerradão e formação campestre, com remanescentes de vegetação em vales fluviais na forma de matas de galeria e matas ciliares (Alves, 2019). O Rio Verdinho nasce no município de Rio Verde e é afluente do Rio Verdão, desaguando em sua margem direita no município de Santo Antônio da Barra. Seu principal afluente é o Ribeirão Boa Vista (Figura 1).

O município de Rio Verde – GO tem uma área territorial de 8.374,255 Km² e uma população de aproximadamente 225.696 habitantes, conforme o Censo 2022 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). A topografia local apresenta declividade média de 5%, com altitude média de 748 m. A região possui dois Períodos climáticos bem definidos: uma estação seca, que vai de maio a outubro, e uma estação chuvosa, de novembro a abril. As temperaturas variam entre 20°C e 35°C, apresentando condições favoráveis às atividades agrícolas, especialmente às culturas de soja, milho e feijão (Braga *et al.*, 2023; IBGE, 2022). O município de Santo Antônio da Barra possui uma área de 450, 336 Km² e uma população de aproximadamente 4.267 habitantes, conforme IBGE, 2022. O clima do município é classificado como tipo Aw segundo a classificação de Köppen-Geiger, que corresponde ao clima tropical com inverno seco (Alvares et al., 2013).

A escolha da BHRV deve-se à sua relevância ambiental e econômica no contexto do Sudoeste Goiano, caracterizada por forte expansão agrícola e uso intensivo de recursos hídricos (Alves et al., 2021). Essas condições tornam a bacia uma área representativa para estudos de dinâmica da paisagem e planejamento ambiental integrado, sobretudo em função dos conflitos entre uso produtivo e conservação.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, Goiás, Brasil



Fonte: Elaborada pelos autores (2024) a partir de dados geográficos disponibilizados pelo Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás (SIGA-GO) e organizados no Sistema de Coordenadas Geográficas - Datum Sirgas 2000.

Aquisição dos dados

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados os dados de elevação, curvatura horizontal e vertical do terreno, além de informações sobre os tipos de solos. Os dados de elevação foram obtidos a partir da plataforma TOPODATA – INPE, que disponibiliza dados refinados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esses dados possuem resolução espacial de 30 metros e são derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), ajustados para minimizar erros comuns, como aqueles causados por interferências atmosféricas e limitações dos sensores de radar.

Os dados MDE do SRTM da plataforma TOPODATA são um produto de reamostragem espacial por krigagem passando a resolução de ~90 metros para ~30 metros (Valeriano, 2008). A precisão do MDE está fortemente associada ao processo de reamostragem aplicado aos dados-fonte, sendo a krigagem um dos métodos que apresenta melhor desempenho. (Preety et al., 2022). A precisão vertical relatadas do SRTM variam de 10 a 5 metros (Elkhrachy, 2018; Preety et al., 2022; Huang e Yu, 2024) abaixo dos 16 metros descritos nas especificações do produto (Miliarensis e Paraschou 2005; Valeriano e Rosetti, 2011).

As limitações do uso do MDE 30 metros em estudos ambientais, hidrológicos e geomorfológicos estão associadas a possíveis inconsistências em delimitações espaciais e perda de precisão em cálculos de declividade. Nesse sentido, dependendo da exigência espacial, tamanho da área de estudo e nível de discernimento de objetos o MDE 30 metros pode não ser adequado (Mendonça e Paz, 2022).

O processamento dos dados foi realizado manualmente, conforme orientação do manual TOPODATA, que recomenda a aplicação de filtros específicos para suavização e correção de ruídos, bem como o uso de algoritmos de interpolação para aprimorar a precisão da representação do relevo. Esse processamento possibilitou o ajuste às características topográficas específicas da área de estudo, assegurando maior precisão do relevo e na delimitação das Unidades de Paisagem (Valeriano, 2008a).

Os dados de curvatura horizontal (CH) e vertical do terreno (CV), fornecidos pela plataforma TOPODATA, consistem em derivações de segunda ordem das curvas de nível e da elevação, respectivamente. As curvaturas foram classificadas em três classes por meio de reclassificação. Para a curvatura vertical, os valores variam entre -0,010 e +0,010 graus por metro. Já na curvatura horizontal, os dados apresentam variação entre -0,038 e +0,051 graus por metro (Valeriano, 2008a).

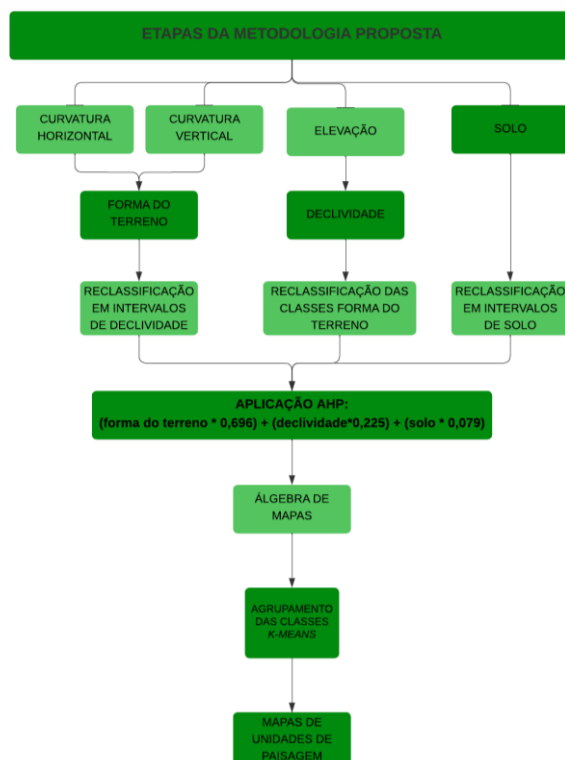
Para o levantamento de dados sobre os tipos de solos, foram utilizados arquivos vetoriais, obtidos a partir do portal de dados do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG) (GOIÁS/SIEG, 2025) com escala de 1:250.000. Esse portal disponibiliza informações georreferenciadas sobre diversas características ambientais, incluindo a distribuição e classificação dos solos. Os dados de solos obtidos continham informações nível 2 com ordem e subordem dos solos.

A organização e elaboração dos produtos espaciais foram realizadas por meio do software QGIS, versão 3.28.15. Os mapas temáticos gerados foram elaborados no Sistema de Coordenadas Planas: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) 2000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22S.

Delimitação das unidades de paisagem

A delimitação das Unidades de Paisagem proposta neste estudo foi realizada a partir da combinação dos dados de elevação, curvatura horizontal e vertical do terreno e dados de tipos de solos, utilizando a técnica de AHP e, posteriormente, agrupamento k-means. Os dados de elevação foram utilizados para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), enquanto as curvaturas horizontal e vertical permitiram a obtenção da forma do terreno (FT). A metodologia integrou essas variáveis por meio de técnicas de reclassificação e álgebra de mapas (Figura 2).

Figura 2 – Etapas da metodologia proposta associada à forma do terreno, elevação e solo



Fonte: Autores, 2026.

Processamento dos dados de elevação

A partir dos dados de elevação, foi calculada a declividade do terreno, expressa em porcentagem. O cálculo de declividade foi realizado utilizando a ferramenta Gdal, disponível no plugin "*RasterTerrainAnalysis*" no software QGis. Posteriormente, os dados de declividade foram reclassificados em cinco classes, conforme a Tabela 1, seguindo a metodologia proposta por Costa et al., (2017).

Tabela 1 – Classes de Declividade e seus respectivos pesos

Declividade (%)	Fases de relevo	Pesos
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso a Escarpado	1

Fonte: Costa et al. (2017).

Processamento dos dados da curvatura do terreno

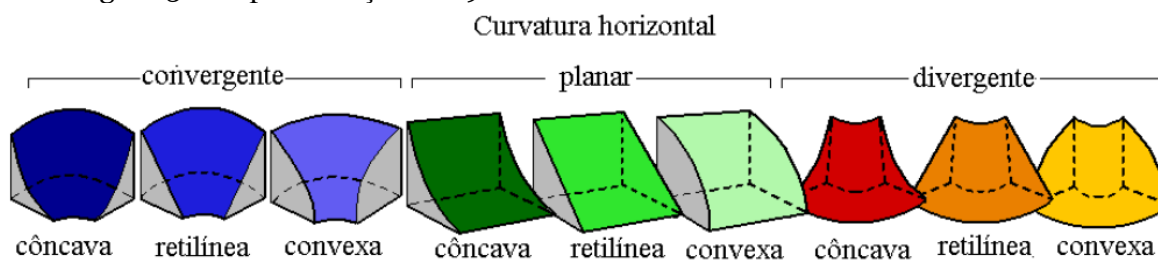
Os dados de curvatura horizontal (CH) e vertical (CV) foram utilizados para calcular a forma do terreno (FT), obtida através da equação 01. A aplicação dessa equação resultou na classificação do relevo em nove classes distintas de forma de terreno (Valeriano, 2008a).

$$FT = (CV \times 10) + CH \quad \text{EQ. 01}$$

A CH representa as formas convergentes, planares e divergente em relação ao contorno do terreno, enquanto a CV expressa as formas côncavas, retilíneas e convexas. Embora distintas conceitualmente, ambas fornecem informações morfométricas equivalentes e complementares sobre a superfície terrestre (Evans, 1990). Dessa forma, a EQ 1 garante que os componentes CV e CH estejam isolados numericamente resultando em uma matriz com valores inteiros que variam entre 11 a 33 (Valeriano 2008a; Silva Neto 2013).

Especificamente, a CV resulta de uma análise de janelas móveis (matriz 3x3) sobre a imagem altimétrica, onde foi calculada a segunda derivada. Essa análise foi aplicada em cada direção octante da janela móvel 3x3. Para CH, o conceito foi o mesmo, porém a análise partiu dos dados de orientação de vertentes. Nesse sentido, a FT resulta da combinação dos componentes vertical e horizontal do terreno que demonstra o comportamento espacial do terreno e seus efeitos no fluxo de água (Carvalho et al., 2019).

Figura 3 – Representação das 9 formas de terreno de acordo com Valeriano 2008



Curvatura vertical
Fonte: Carvalho et al. (2019).

É possível reagrupar as classes de CH e CV devido à sua similaridade, compondo formas integradas do relevo, como côncavo-convergente – caracterizada por máxima concentração e acúmulo de escoamento - e a convexo-divergente – associada à máxima dispersão do escoamento superficial. Essas formas representam os extremos nas formas de modificação de curvatura do relevo, sendo fundamentais para a compreensão dos processos hidrológicos e geomorfológicos (Valeriano, 2008a).

Posteriormente, os dados de FT, foram reclassificados em nove classes, conforme apresentado no Tabela 2. A reclassificação considerou uma escala de valores entre 0,6 a 5, na qual os valores mais próximos de 0,6 indicam maior vulnerabilidade a processos erosivos, associados principalmente às formas do terreno côncavo-convergentes. Essa atribuição de pesos foi adaptada de Carvalho et al., (2019) e Silva Neto (2013), visando refletir o potencial de acúmulo de água e sedimentos em diferentes formas do relevo.

Tabela 2 – Valor de Vulnerabilidade para Forma do Terreno com seus respectivos pesos

CURVATURA HORIZONTAL	CURVATURA VERTICAL	FORMA DO TERRENO	VALOR NUMÉRICO	PESOS
CONVERGENTE	Côncavo	Côncavo-Convergente	11	0,6
	Retilíneo	Retilíneo-Convergente	12	1,15
	Convexo	Convexo-Convergente	13	1,7
PLANAR	Côncavo	Côncavo - Planar	21	2,25
	Retilíneo	Retilíneo-Planar	22	2,8
	Convexo	Convexo-Planar	23	3,35
DIVERGENTE	Côncavo	Côncavo-Divergente	31	3,9
	Retilíneo	Retilíneo-Divergente	32	4,45
	Convexo	Convexo-Divergente	33	5,0

Fonte: adaptado de Silva Neto, 2013.

Processamento dos dados de solo

Os dados referentes às classes de solos foram reclassificados com valores entre 1 e 5, em que 1 representa maior suscetibilidade à erosão e 5 Menor suscetibilidade, com base em critérios como textura, drenagem, profundidade efetiva, fertilidade e, principalmente, nas características que favorecem a infiltração e percolação da água –fatores que receberam maior peso no presente estudo (Costa et al., 2017). Foram identificadas cinco classes de solo na área de estudo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Pesos atribuídos ao fator de Solo

Solo	Pesos
Argissolo	4,0
Cambissolo	2,6
Gleissolo	2,0
Latossolo	4,7
Neossolo	1,2

Fonte: Costa et al. (2017).

Aplicação da análise de processo hierárquico (AHP)

Inicialmente, foram definidas as ordens de importância dos parâmetros dentro do modelo sendo: forma do terreno com maior relevância, declividade com relevância intermediária e tipo de solo o fator com menor relevância. Considerou-se que as características que compõe a paisagem emergem majoritariamente da forma do terreno, declividade e tipo de solo, respectivamente. Posteriormente, foi construída a matriz de comparação pareada, na qual foram inseridos os valores de importância relativa (Tabela 4), conforme metodologia de Saaty e Vargas (2012) e Coelho (2017).

Após o preenchimento da matriz de comparação pareada, realizou-se a estimativa dos pesos (autovalores), esse processo foi executado por meio das seguintes etapas: i) soma dos

valores de cada linha da matriz de comparação pareada; ii) Soma da coluna com os valores de somas das linhas da matriz e; iii) divisão das somas das linhas pelo valor da soma da coluna Σ Linhas (ex. $13/18,70 = 0,696$), conforme tabela 4:

Tabela 4 – Matriz de comparação pareada com critérios globais e determinação dos pesos para cada variável

	FORMA DO TERRENO	DECLIVIDADE	SOLO	Σ LINHAS	PESOS
FORMA DO TERRENO	1,00	5,00	7,00	13,00	0,696
DECLIVIDADE	0,20	1,00	3,00	4,20	0,225
SOLO	0,14	0,33	1,00	1,47	0,079
Soma da Coluna Σ Linhas				18,70	

Fonte: Autores, 2026.

Para a verificação da consistência do modelo (valores e pesos) aplicou-se a Razão de consistência (RC):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{EQ.2}$$

em que IC é o Índice de Consistência e IR é o Índice Randômico que varia de acordo com o número de fatores avaliados na construção da matriz, para dimensão de matriz= 3 o IR será de 0,58 (Saaty e Vargas, 2012; Bagwan and Gavali, 2025).

O Índice de Consistência (IC) foi calculado por:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{EQ.3}$$

em que λ_{max} é o autovetor máximo e n é o número de dimensões (parâmetros) da matriz, sendo, neste caso, $n = 3$.

O autovalor máximo (λ_{max}) é determinado por:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_1 \dots \lambda_3 \quad \text{EQ.4}$$

em que $\lambda_{1...3}$ são os resultados das divisões entre os vetores $a_{1...3}$ e os pesos ($p_{1...3}$) calculados na tabela 4. Os vetores resultados ($a_{1...3}$) foram obtidos através da multiplicação entre as linhas da matriz comparação pareada com a coluna de pesos, ou seja:

$$\lambda_{1...3} = \frac{a_x}{p_x} \quad \text{EQ. 5}$$

$$a_{1...3} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad \text{EQ. 6}$$

O valor recomendado da RC deve ser inferior a 10%, caso esse limite seja ultrapassado, podem existir inconsistências nos julgamentos realizados, nessa situação, recomenda-se a revisão e reestruturação da matriz de comparação pareada para adequar a RC (Saaty e Vargas, 2012). No presente estudo o RC calculado foi de 0,07, IC de 0,04 e λ_{max} de 3,09, valores dentro

do que recomenda Saaty e Vargas (2012) e comparáveis aos reportados por outros estudos (Mokhtari et al., 2023; Aires et al., 2024; Bagwan and Gavali, 2025).

As unidades de paisagem resultantes foram analisadas quanto às suas convexidades, considerando os seguintes parâmetros: forma do terreno, declividade, solos e potenciais de uso humano, com base em fatores como aptidão agrícola e vulnerabilidade à erosão, após a aplicação do julgamento da matriz, obtiveram-se os pesos para cada critério, conforme apresentado na tabela 4.

Para o mapeamento das UPs, as variáveis adotadas foram comparadas em uma matriz par a par de ordem 3, seguindo a metodologia AHP, obtendo-se pesos variando de 0,00 a 1,00, ponderando a influência de cada condicionante na ocorrência dos eventos analisados, como resultando, estabeleceu-se a Equação 7 para a caracterização das unidades de paisagem na sub-bacia:

$$UP = (FT * 0,696) + (Declividade * 0,225) + (Solo * 0,079) \quad \text{EQ. 07}$$

Agrupamento das unidades de paisagem e visita in loco

Posteriormente à aplicação da Equação 07, foi realizado o agrupamento por meio do algoritmo de agrupamento k-means (não supervisionado) no QGIS, no qual o agrupamento é baseado no centróide da feição. Esse processo organiza os dados em grupos (clusters) com características semelhantes, utilizando a proximidade espacial e/ou à semelhança entre variáveis (Folini et al., 2022). O modelo de agrupamento k-means pode ser utilizado de forma totalmente automatizada, ou seja, sem definições das quantidades de classes k ou iterações (Lemenkova e Debeir, 2022) ou com definições de classes k e iterações pelo operador (Ali et al., 2022).

No presente estudo, foi definido inicialmente um agrupamento de 10 classes, posteriormente, com base nas 10 classes agrupadas, foi realizada uma estatística zonal (mínimo, máximo, média e mediana) com valores de FT, Declividade e tipo de solo. Com base nos dados das estatísticas zonais, foi verificado se houve sobreposição das classes. As classes sobrepostas, foram agrupadas com base nos limites semelhantes de FT, Declividade e tipo de solo. Dessa forma, para BHRV foram agrupadas 5 classes distintas de UP.

Por fim, foi realizada a vetorização do raster e delimitação das áreas de cada unidade, evidenciando sua distribuição espacial, o que forneceu uma visão estruturada e objetiva das áreas, facilitando a interpretação e a aplicação dos resultados para a gestão territorial.

Após o agrupamento das UPs foram realizadas visitas in loco em diferentes pontos da BHRV para levantamento fotográfico e análise do terreno, as vistas in loco foram essenciais para conhecimento e descrição das UPs, bem como para avaliação se a metodologia empregada estava delimitando as áreas corretamente.

A definição dos locais que foram visitados in loco foi realizada por amostragem aleatória sobre cada classe de UP delimitada. Inicialmente, BHRV foi dividida em porção leste (próxima ao exultório) e porção oeste (próxima à nascente), haja vista que o comprimento axial da bacia é de aproximadamente 200 km. Após a divisão, foi analisado as questões de facilidade acesso, condições de rodagem, distância e variabilidade de UPs. Nesse contexto, a porção leste apresentava melhores condições de acesso, maior variabilidade de UP e menor distância de rodagem. Com a porção definida, foi gerado aleatoriamente 3 pontos por cada UP. Os pontos de acesso muito restrito foram descartados e um novo ponto aleatório foi gerado.

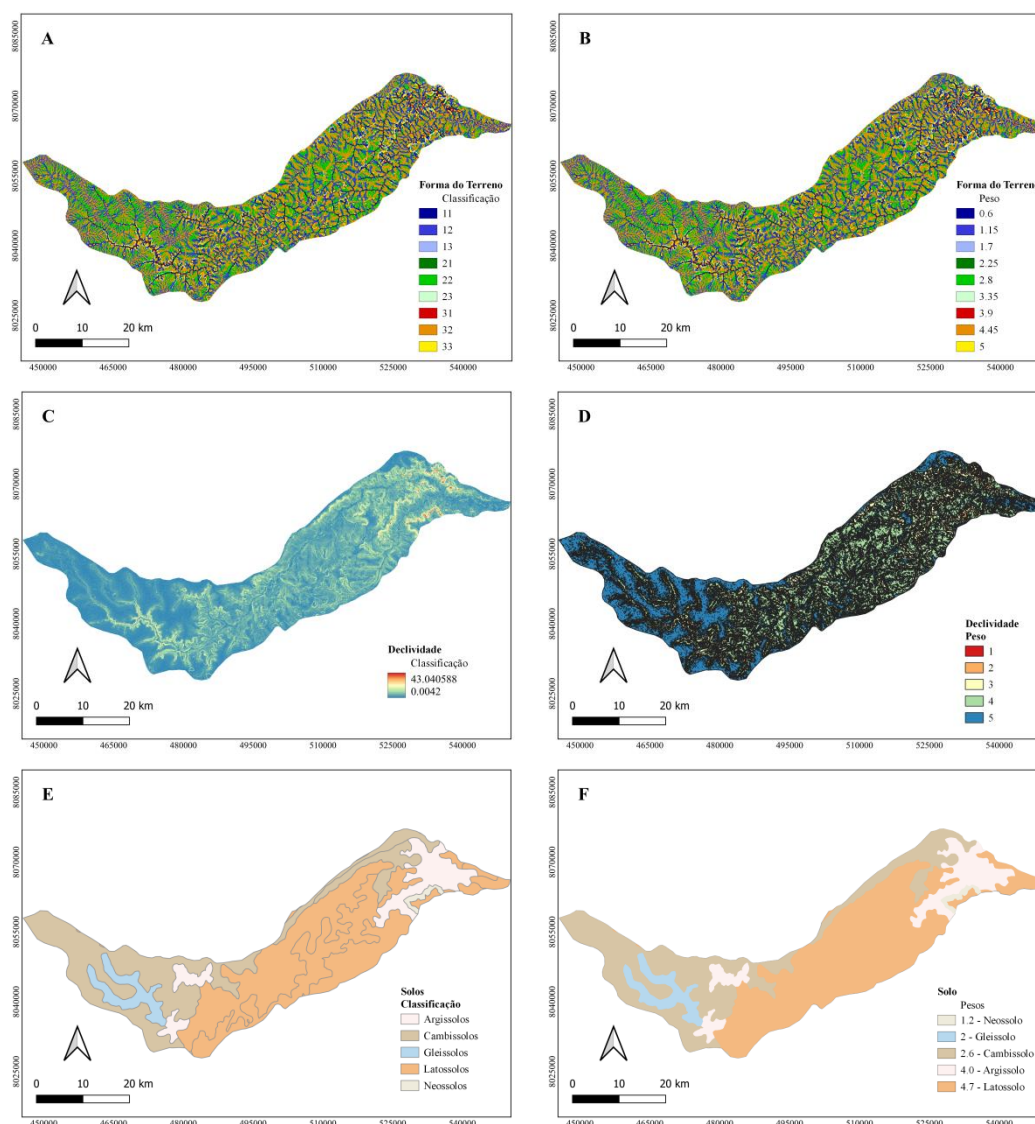
Os pontos gerados foram carregados em um GPS Garmin modelo ETREX 32X e utilizado como guia para acesso aos pontos. Foi realizado levantamento das informações por registro fotográfico, análise de uso do solo no momento da visita e característica do terreno. Dessa forma, os dados das UP foram comparados com os dados colhidos em campo para identificar possíveis inconsistência e auxiliar na descrição das UP delimitadas. Para replicação da presente metodologia, recomendamos a caracterização in loco para compreender os limites e características das UPs.

Resultados e discussões

Análise dos parâmetros geomorfológicos e edáficos

Os resultados da reclassificação dos fatores geomorfológicos e edáficos (declividade, forma do terreno e solos) na BHRV apresentaram informações relevantes acerca da atribuição de cada fator analisado (Figura 4). A adoção da análise digital do relevo em vez dos métodos visuais tradicionais diminuiu a subjetividade na definição das classes. No entanto, vale ressaltar que a resolução de 30 metros do TOPODATA pode gerar incertezas em áreas de vales muito estreitos, onde características sutis do terreno tendem a ser suavizadas pelo modelo computacional (Minár et al., 2020).

Figura 4 – Classes dos fatores ambientais e suas classificações, em que a e b são forma do terreno e sua reclassificação, c e d são a declividade e sua reclassificação “e” e “f” são a classe de solos e reclassificação. UTM SIRGAS 2000 Zona 22S, escala 1:250.00



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Para o fator declividade, a classe suavemente ondulada (3 a 8%) foi a mais predominante, com 48,39% da área total da BHRV, seguido pelo relevo plano (34,60%), com declividade entre 0 a 3%, o que permite uma capacidade elevada de mecanização, entretanto, mesmo em relevo favorável às atividades agrícolas, é essencial adotar técnicas de manejo sustentável, como a manutenção de cobertura vegetal permanente através do uso de sistemas de plantio direto (Bodrud-Doza et al., 2023). Por outro lado, a classe com declividade superior a 45%, corresponde às áreas montanhosas a escarpadas, apresentou a menor extensão, representando apenas 0,01% da área da BHRV (Tabela 5). Essa configuração indica uma elevada aptidão para agricultura mecanizada, mas do ponto de vista interpretativo, a estabilidade dessas áreas depende da manutenção da estrutura do solo para evitar a compactação em profundidade, processo comum em áreas de uso agrícola intensivo (Bodrud-doza et al., 2023).

Tabela 5 – Classes dos fatores ambientais e suas classificações para BHRV, Goiás, Brasil

Declividade (%)	Fases do Relevo	Pesos	Área (ha)	%
0 a 3	Plano	5	56228,029	34,60%
3 a 8	Suave Ondulado	4	78629,292	48,39%
8 a 20	Moderadamente Ondulado	3	25829,728	15,90%
20 a 45	Forte Ondulado	2	1802,3869	1,11%
> 45	Montanhoso a Escarpado	1	10,4314	0,01%

Fonte: Autores, 2026.

Na BHRV, a classe de forma do terreno (FT) de maior abrangência foi a Divergente-Retilíneo (4,45), caracterizada pelo predomínio da dispersão dos fluxos de escoamento, baixa capacidade de transporte e de remoção das partículas do solo, ocorrendo em 34,28% da área da BHRV. A classe de FT de menor abrangência foi a Convergente-Convexo (1,70), que apresenta maior acúmulo e concentração de escoamento superficial, correspondendo a 0,81% da BHRV, conforme o Tabela 6.

A classificação baseada na FT (curvatura horizontal e vertical) indica diferentes comportamentos do escoamento superficial e da capacidade do terreno de reter ou dispersar água, influenciando diretamente o risco de erosão (Valeriano, 2008b). As três classes mais representativas - convergente-retilíneo, planar-retilíneo e divergente-retilíneo –correspondem à maior parte da BHRV, totalizando 85,09% da área. Esse predomínio indica que o relevo da bacia apresenta, em sua maioria, superfícies com baixa variabilidade morfológica e tendência à estabilidade, favorecendo o equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial. Assim, a predominância dessas formas sugere menor propensão de processos erosivos intensos, já que o terreno tende a distribuir o fluxo de água de maneira mais uniforme, reduzindo a concentração de energia do escoamento e, conseqüentemente, o potencial de erosão.

Considerando a ponderação da suscetibilidade à perda de solo como indicativo da vulnerabilidade aos processos erosivos, adotou-se uma escala de valores variando de 0,6 a 5 para a classificação das diferentes classes de vertentes, nessa escala, o valor 5,0 corresponde às classes com baixa vulnerabilidade à erosão, enquanto valores próximos de 0,6 indicam áreas mais suscetíveis a tais processos. Essa abordagem foi utilizada por Carvalho et al., (2019), porém com valores variando entre 1,0 a 0. Essa metodologia permite correlacionar os graus de vulnerabilidade com a distribuição percentual das classes de feições geomorfológicas, possibilitando a identificação de áreas prioritárias para o manejo e conservação do solo (Tabela 6).

Tabela 6 – Distribuição dos valores da forma do terreno (FT) calculados para a BHRV, Goiás, Brasil, onde CH e CV são as curvaturas horizontais e verticais, respectivamente.

CH	CV	FT	Pesos	Percentage individual	Somatório	Vulnerabilidade (erosão)
Convergente	Côncavo	Convergente-Côncavo	0,60	5,89%	30,41%	ALTA
	Retilíneo	Convergente-Retilíneo	1,15	24,12%		
	Convexo	Convergente-Convexo	1,70	0,81%		
Planar	Côncavo	Planar- Côncavo	2,25	1,75%	29,74%	MODERADA
	Retilíneo	Planar- Retilíneo	2,80	26,69%		
	Convexo	Planar- Convexo	3,35	1,21%		
Divergente	Côncavo	Divergente-Côncavo	3,90	1,64%	39,85%	BAIXA
	Retilíneo	Divergente-Retilíneo	4,45	34,28%		
	Convexo	Divergente-Convexo	5,00	3,71%		

Fonte: Autores, 2026.

Em relação ao solo, foram identificadas cinco diferentes classes, sendo os Latossolos os de maior abrangência, correspondendo a 49,93% da área total. O Neossolo foi o tipo de solo de menor abrangência, com apenas 0,85%. Essa classe, mais especificamente a subordem dos Neossolos Litólicos, ocorre, em geral, em áreas mais declivosas, com fortes limitações para atividade agrícolas (Sanzonowicz, 2021) 1) (Tabela 7).

Tabela 7 – Pesos atribuídos ao fator de Solos para BHRV, Goiás, Brasil

Solo	Pesos	Área (ha)	%
Argissolo	4,0	17993,4694	11,16%
Cambissolo	2,6	53359,495	33,11%
Gleissolos	2,0	7972,4054	4,95%
Latossolo	4,7	80475,9564	49,93%
Neossolo	1,2	1364,134	0,85%

Fonte: Autores, 2026.

Na BHRV, os Latossolos apresentam características físico-morfológicas que os tornam amplamente aptos ao uso agrícola, sendo utilizados com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. De modo geral, ocorrem em áreas com relevo plano a suave-ondulado, com declividade inferior a 7%, condição que favorece a mecanização das atividades agropecuárias. São solos profundos, homogêneos, muito intemperizados, bem drenados e altamente permeáveis, mesmo quando muito argilosos, além de apresentarem estrutura friável e facilidade de preparo. Essas propriedades conferem elevado potencial produtivo, especialmente em regiões com boa disponibilidade hídrica e adequada correção e manejo da fertilidade, no entanto, apesar de seu expressivo valor para o uso agrícola, é fundamental que parte dessas áreas seja preservada com cobertura vegetal nativa, a fim de garantir a conservação da biodiversidade, a manutenção dos serviços ecossistêmicos e o equilíbrio ambiental das paisagens em que esses solos ocorrem (Santos e Zaroni, 2021b; Sousa, e Lobato, 2021). Ainda, cabe destacar que os Latossolos de textura média, muito expressivos no sudoeste de Goiás, em função de sua estrutura do tipo microgranular em meio a grãos simples, com baixa força de agregação, são considerados muito susceptíveis a formação de sulcos e voçorocas (Curi et al., 2017).

Os Cambissolos (33,11%) são solos de formação mais recente, caracterizados por um horizonte B incipiente e grande variabilidade de suas características naturais, dentre elas sua

fertilidade natural, são quase sempre de profundidade reduzida, predominando texturas médias, com ocorrência de cascalhos ou pedregosidade. Sua profundidade limitada reduz a capacidade de armazenamento de água e nutrientes, o que impõe restrições ao uso agrícola, especialmente em cultivos exigentes ou em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Em função da grande diversidade de características e condições de relevo em que ocorrem, é difícil generalizar seu potencial de uso e limitações, entretanto, de forma geral, a maioria dos Cambissolos no bioma Cerrado apresenta limitações significativas ao desenvolvimento vegetal, como presença de cascalhos, pouca profundidade e relevo acidentado, sendo no geral muito susceptíveis a erosão (Curi et al., 2017). Essa classe é especialmente indicada para a preservação da mata ciliar e de galeria, sendo, portanto, de grande importância para a ecologia de paisagens.

Os Argissolos são solos normalmente ácidos e pouco férteis, sendo sua principal característica a presença de horizonte B textural, com acúmulo de argila em profundidade, geralmente de baixa atividade e, em alguns casos, com altos teores de alumínio. Apresentam ampla variação no que diz respeito a cor, estrutura e textura, sendo geralmente profundos com horizonte A moderado e de textura média. Sua textura média causa diferenças na infiltração entre os horizontes A e B, tornando-os mais suscetíveis à erosão, especialmente porque ocorrem predominantemente em paisagens de relevo mais acidentado, com superfícies menos suaves. Embora menos férteis que os Latossolos, o uso agrícola sustentável desses solos exige um manejo adequado, incluindo correção da acidez e práticas conservacionistas (Santos e Zaroni, 2021b).

Os Gleissolos (4,95%) são solos hidromórficos, saturados por água por longos períodos, com forte gleização, caracterizada por cores acinzentadas ou azuladas devido à redução do ferro. Formam-se em áreas próximas a cursos d'água, terrenos planos e depressões, geralmente sob vegetação hidrófila. Apresentam baixa fertilidade natural, acidez elevada e possíveis teores tóxicos de alumínio, sódio e enxofre, o que limita seu uso agrícola. O manejo exige drenagem adequada, correção da acidez e adubação específica para mitigar essas restrições (Santos e Zaroni, 2021a).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos do ponto de vista pedogenético, caracterizados pela ausência de horizonte B diagnóstico e predominância de atributos herdados do material de origem, duas principais Subordens ocorrem de forma significativa no bioma Cerrado, os Neossolos Litólicos, com 5 % da área, e os Neossolos Quartzarênicos, com 12% da área. Os Neossolos Litólicos possuem horizonte A sobre horizonte C ou Cr, com contato lítico dentro de 50 cm da superfície, geralmente ocupando as posições mais acidentadas no relevo e com pouco ou nenhum uso agrícola, por sua vez, os Neossolos Quartzarênicos são solos profundos, com textura areia ou areia franca, com no mínimo 1,5 m de profundidade, com baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, e alta susceptibilidade a erosão (Curi et al., 2017). Podem ocorrer em diversos ambientes, desde áreas planas até terrenos montanhosos, com ampla variação de textura e fertilidade. Nas áreas planas e mais profundas, podem ter uso agrícola, como pastagens e plantios de eucalipto, mediante correções químicas, dadas sua textura arenosa e baixa fertilidade natural. Já em encostas, apresentam alta suscetibilidade à erosão, geralmente sendo indicados apenas para a preservação ambiental.

Distribuição espacial das unidades de paisagens na BHRV

A UP 5 foi a classe de maior ocorrência na BHRV, representando 28,13%, do total (Tabela 8). Essa predominância se deve, principalmente, às suas características de declividade suave ondulado (entre 3 e 8%) e à presença de Latossolos. Na UP 5, a forma do terreno predominante é retilíneo-planar, que favorece a mecanização e o cultivo em grandes extensões (Figura 5).

A unidade que apresentou a menor área foi a Unidade de Paisagem 2, com 11,33% da área total (Tabela 8). Essa UP apresenta características de declividade que variam de plano

(0% – 3%) a suave ondulado (3% a 8%). O solo predominante é o Latossolo, a forma do terreno é retilíneo–convergente, o que implica na convergência de fluxos hídricos, favorecendo o acúmulo de água e aumentando o risco de processos erosivos (Figura 5).

Tabela 8 – Unidades de Paisagem Proposta para BHRV, Goiás, Brasil

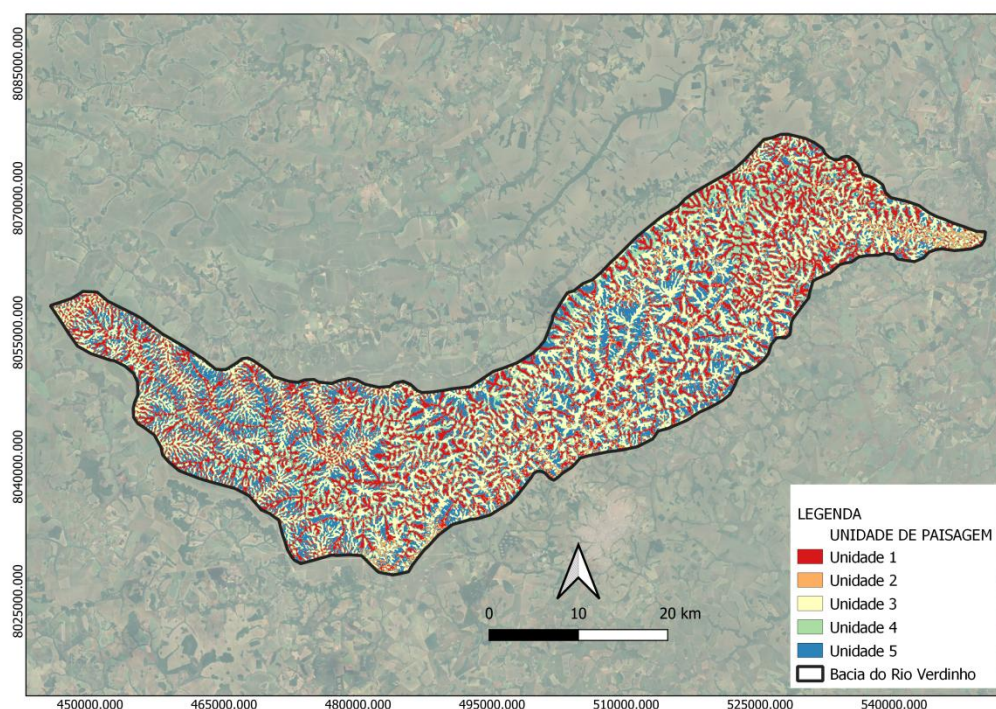
UNIDADES DE PAISAGEM(UP)	ÁREA (ha)	%
1	34015,635	21,48%
2	17946,5566	11,33%
3	40178,8689	25,37%
4	21687,7399	13,69%
5	44561,2968	28,13%

UP 1 - Vale Fechado com Vertente Coletora; UP 2- Faixa de Amortecimento da Planície de Convergência do Vale Fechado; UP 3 - planície de Topo; UP 4 -Ondulado de Meia Encosta; UP 5 - Planície Ondulada

Fonte: Autores, 2026.

A classificação das UPs evidencia uma distribuição espacial heterogênea, refletindo diferentes graus de vulnerabilidade e potenciais de uso. Essas informações são cruciais para a formulação de estratégias de planejamento e gestão ambiental na BHRV, orientando ações voltadas à conservação dos recursos naturais e ao uso sustentável do solo (Figura 5).

Figura 5 – Proposta de Unidade de Paisagem (UP) da Bacia do Rio Verdinho, GO. UTM SIRGAS 2000 Zona 22S, escala 1:250.000



UP 1 - Vale Fechado com Vertente Coletora; UP 2- Faixa de Amortecimento da Planície de Convergência do Vale Fechado; UP 3 - planície de Topo; UP 4 -Ondulado de Meia Encosta; UP 5 - Planície Ondulada

Fonte: Autores, 2026.

Caracterização das unidades de paisagem em campo

Unidade de Paisagem 1 - Vale Fechado com Vertente Coletora

A Unidade de Paisagem 1 ocupa 21,48% da BHRV, representa os setores de maior atividade hidrológica e fragilidade física do sistema. Caracteriza-se por vales fechados e vertentes coletoras funcionando como uma zona de convergência de fluxos hídricos superficiais com uma elevada quantidade de canais e a conformação côncava do terreno (Figuras 6 e 7). Do ponto de vista ecodinâmico, a UP1 é classificada como de instabilidade potencial, onde o equilíbrio geomorfológico é extremamente sensível a alterações na cobertura vegetal e no manejo do solo. Os solos predominantes nessa unidade são Latossolos e Cambissolos, cada um com características e exigências específicas quanto ao uso agrícola, conforme anteriormente detalhado.

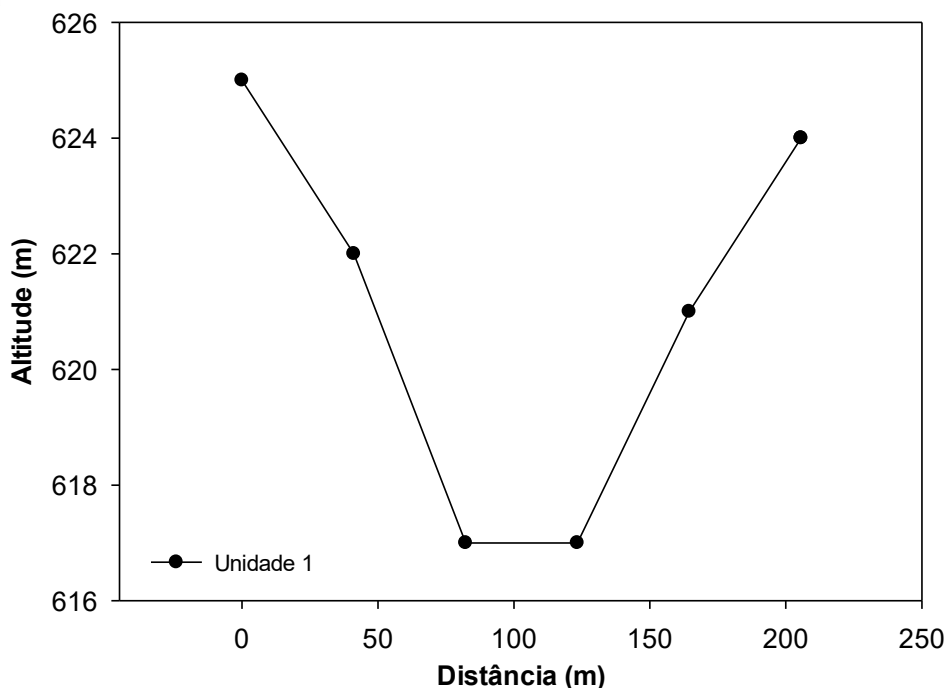
A declividade dessas áreas é geralmente inferior a 8%, com um plano de curvatura da vertente convergente, essa conformação proporciona certa estabilidade para a adoção de práticas de conservação e gestão hídrica. No entanto, a convergência do escoamento superficial nas vertentes coletoras (Figura 5) aumenta a suscetibilidade à erosão, o que demanda atenção especial no manejo do solo para evitar processos degradativos (Gomes, 2017).

A UP 1 apresenta uma configuração marcadamente dendrítica que acompanha a rede de drenagem e reflete a flexibilidade geológica da bacia. Essa geometria ramificada acaba gerando uma métrica que, como discutido por McGarigal et al., (1995) e recentemente por Cushman (2024), revela uma complexidade de forma que reduz drasticamente a área de núcleo preservada. Na prática, esse desenho "em galhos" favorece o contato direto com as áreas de uso intensivo vizinhas, o que acaba intensificando o efeito de borda (Forman, 1995) e a facilidade com que sedimentos e agroquímicos das chapadas alcançam os cursos d'água (Amorim et al., 2021).

Dessa forma, a gestão da UP 1 demanda um olhar mais sistêmico, pois sua própria estrutura física facilita a propagação de impactos, tornando-a uma área fundamental, porém altamente vulnerável às pressões externas.

Dada a sua relevância ecológica, as áreas de vale devem ser consideradas de preservação permanente, com foco na proteção de nascentes e na conservação ambiental, visando à manutenção da qualidade da água e do equilíbrio ecológico. A conservação da paisagem o manejo adequado do solo nessas áreas é fundamental para garantir a regularidade do lençol freático e a integridade dos recursos hídricos (Silva et al., 2024).

Figura 6 – Perfil Altimétrico da Unidade 1 para BHRV, Goiás, Brasil



Fonte: Autores, 2026.

Dessa forma, a gestão da UP 1 demanda um olhar mais sistêmico, pois sua própria estrutura física facilita a propagação de impactos, tornando-a uma área fundamental, porém altamente vulnerável às pressões externas.

Dada a sua relevância ecológica, as áreas de vale devem ser consideradas de preservação permanente, com foco na proteção de nascentes e na conservação ambiental, visando à manutenção da qualidade da água e do equilíbrio ecológico. A conservação da paisagem o manejo adequado do solo nessas áreas é fundamental para garantir a regularidade do lençol freático e a integridade dos recursos hídricos (Silva et al., 2024).

Dessa forma, é essencial adotar práticas de manejo sustentável nessas áreas, como a manutenção da cobertura vegetal, o controle do uso do solo e a implementação de técnicas conservacionistas que reduzam a erosão e promovam a infiltração de água. Tais medidas são imprescindíveis para assegurar a preservação dos recursos hídricos e mitigara vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica.

Figura 7 – Fotografia Unidade 1, Rio Verdinho, Santo Antônio da Barra – GO



Fonte: Pesquisa de Campo em outubro de 2024.

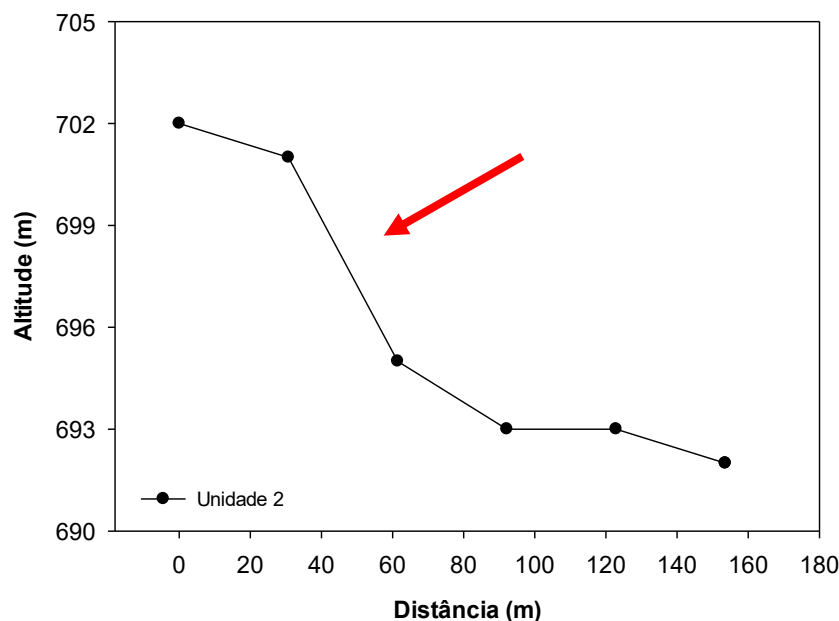
Unidade de Paisagem 2 - Faixa de Amortecimento da Planície de Convergência do Vale Fechado

A Unidade de Paisagem 2 ocupa 11,33% da BHRV e caracteriza-se como uma zona de amortecimento da área de vale fechado, situado na base da região convergente, em uma posição predominantemente horizontal (Figura 9). Essa unidade é composta majoritariamente por Latossolos.

O relevo é plano a suave ondulado, como indicado na Figura 8 (perfil altimétrico), proporcionando estabilidade para a implementação de práticas agrícolas específicas, haja vista que, essa configuração também apresenta elevada suscetibilidade à erosão, exigindo cuidados específicos quanto ao manejo do solo. Por serem áreas de contorno de fluxos de água, seu uso deve ser cuidadosamente planejado, respeitando as limitações legais e ambientais impostas para evitar impactos negativos sobre os ecossistemas protegidos (Walia et al., 2024).

Estruturalmente, a UP 2 também mantém uma formação dendrítica que compartilha das mesmas vulnerabilidades observadas na UP 1, funcionando como uma comunicação crítica entre as áreas produtivas e a rede de drenagem (Amorim et al., 2021).

Figura 8 – Perfil Altimétrico da Unidade 2 para BHRV, Goiás, Brasil



Fonte: Autores, 2026.

Figura 9 – Unidade 2, Serra da Confusão, Santo Antônio da Barra – GO



Fonte: Pesquisa de Campo em outubro de 2024.

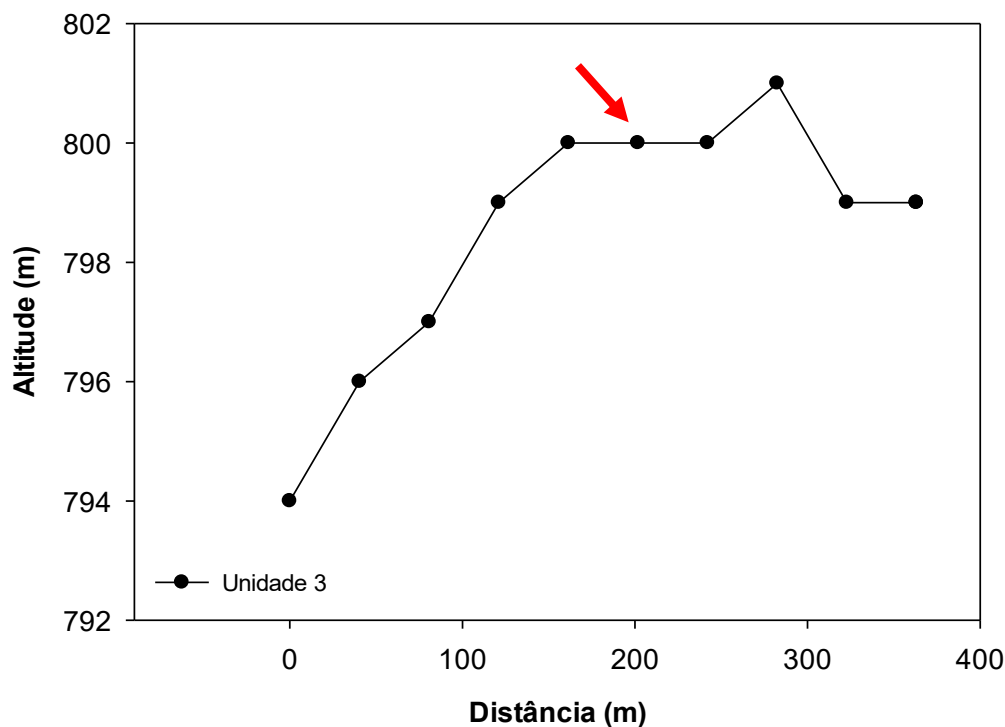
Unidade de Paisagem 3 – Planície de Topo

Essa Unidade de Paisagem ocupa 25,37% da BHRV, englobando os topos de morros da região, apresentando áreas predominantemente planas e suave onduladas, nessas áreas, os Latossolos são o tipo de solo predominante.

O relevo plano a suavemente plano contribui para uma baixa suscetibilidade à erosão, tornando-a estável e menos propensa a processos erosivos, mesmo sob uso agrícola (Figura 10-11). Essas características conferem a planície de topo uma grande abrangência para a agricultura mecanizada, facilitando o uso de máquinas agrícolas e permitindo cultivos em larga escala, ou seja, configura-se uma área com elevado potencial agrícola e baixa fragilidade ambiental, especialmente frente a terrenos mais inclinados e suscetíveis à erosão. Estudos demonstram que, mesmo após décadas de uso agrícola intensivo, sistemas de manejo

conservacionistas adotados em áreas com relevo plano — como o plantio direto — são capazes de manter ou até aumentar os estoques de carbono no solo, contribuindo para a estabilidade estrutural e redução da degradação (Thomaz e Kurasz, 2023). Apesar de sua baixa vulnerabilidade natural a erosão, cabe destacar a importância do manejo adequado desses solos, haja vista que o seu uso intensivo pode ser problemático, mesmo em áreas sob plantio direto, por exemplo sendo possível a compactação nas entrelinhas ou abaixo dos sulcos de plantio, especialmente nos solos mais argilosos, quando trabalhados em condições de umidade excessivas (Curi et al., 2017).

Figura 10 – Perfil Altimétrico da Unidade 3 para BHRV, Goiás, Brasil



Fonte: Autores, 2026.

Figura 11 –Unidade 3, Serra da Confusão, Santo Antônio da Barra – GO

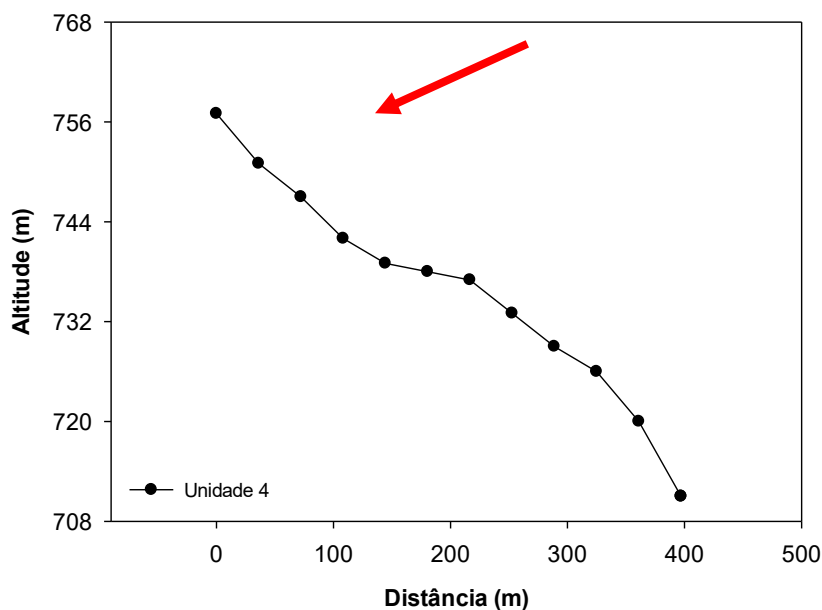


Fonte: Pesquisa de Campo em outubro de 2024.

Unidade de Paisagem 4 – Ondulado de Meia Encosta

A área ocupa 13,69% se apresenta uma uniformidade de relevo que possibilita uma distribuição uniforme do escoamento das águas, localizada em área de meia encosta, caracterizada por um relevo suave a moderadamente inclinado, o que favorece um fluxo de água mais estável e limita a ocorrência de erosão em áreas menos perigosas (Figura 12-13). Os solos predominantemente são Latossolos e Cambissolos, que são comuns em região de relevo suave a moderadamente ondulado (Azevedo et al., 2023).

Figura 12 – Perfil Altimétrico Unidade 4 para BHRV, Goiás, Brasil



Fonte: Autores, 2026.

Figura 13 – Unidade 4, Serra da Confusão, Santo Antônio da Barra – GO



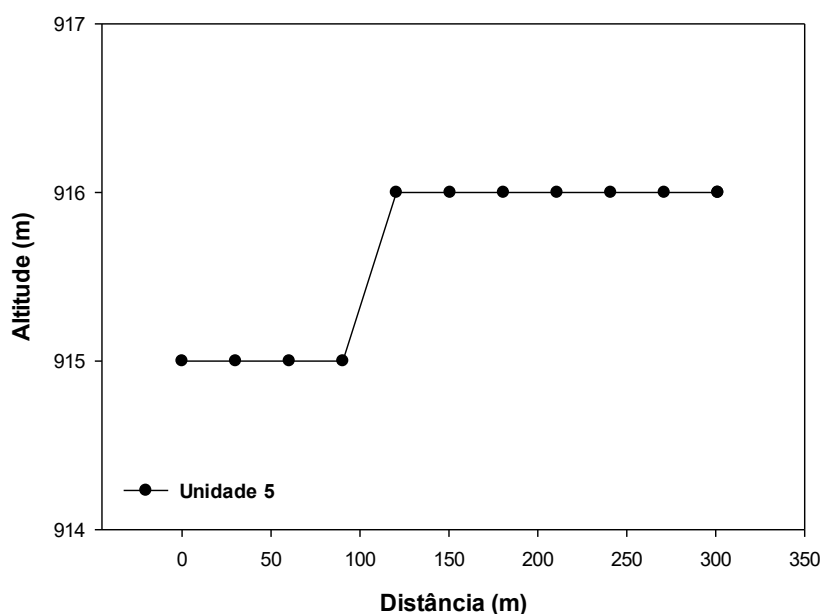
Fonte: Pesquisa de Campo em outubro de 2024.

Unidade de Paisagem 5 – Planície Ondulada

A paisagem ocupa 28,13% da BHRV e apresenta um relevo predominantemente suave ondulado a plano, com declividade inferior a 3% e um terreno com características retilíneas e planas, resultando em um terreno que se estende de maneira uniforme, sem curvas acentuadas, dificultando o escoamento da água da chuva. Essa unidade apresenta predominância de Latossolos. (Figura 14-15).

Latossolos são solos com ampla ocorrência no território brasileiro, cada um com características específicas que influenciam seu uso agrícola. A potencialidade desta unidade é elevada para práticas agrícolas mecanizadas, pois o relevo suave a plano facilita a utilização de máquinas agrícolas de grande porte. Isso permite uma produção em larga escala, no entanto, essa área possui moderada suscetibilidade à erosão, especialmente onde os solos são expostos ou manejados sem a adoção de práticas conservacionistas. Embora a erosão não seja extremamente severa, o uso inadequado do solo e o desmatamento podem agravar esse processo ao longo do tempo (Quinton et al., 2024).

Figura 14 – Perfil Altimétrico da Unidade 5 para BHRV, Goiás, Brasil



Fonte: Autores, 2026.

Figura 15 – Unidade 5, área Agrícola, Serra da Confusão, Santo Antônio da Barra – GO



Fonte: Pesquisa de Campo em outubro de 2024.

A Tabela 9 apresenta uma análise das UP e suas aptidões agrícolas. A unidade 1, que corresponde a 21,48% da BHRV, é considerada inadequada para a atividade agrícola, pois pode convergir com áreas de protegidas. Essa restrição decorre da densidade de drenagem e da predominância de vertentes convergentes com as declividades, fatores que configuram instabilidade geomorfológica.

É importante salientar que as escalas dos mapas de solos disponíveis são mais abrangentes do que as do modelo digital de elevação. Essa diferença de escala pode levar a pequenas inconsistências espaciais, razão pela qual a aptidão natural aqui estabelecida deve ser empregada como um guia para o manejo cauteloso, e não como uma delimitação fixa.

As UPs 2 e 4 são classificadas como aptas ao uso agrícola, desde que submetidas a práticas adequadas de manejo, por estarem localizadas em zonas transição, essas áreas requerem estratégias de conservação do solo para mitigação da erosão.

As UPs 3 e 5 são identificadas como aptas ao uso agrícola, mesmo em condições de solo que eventualmente demandem intervenções específicas para o cultivo. Ainda assim, recomenda-se o manejo sustentável para garantir a conservação dos recursos naturais e a manutenção da produtividade em longo prazo.

As incertezas identificadas, decorrentes da escala dos dados e da complexidade das zonas de transição, abrem caminho para o uso de modelos de maior resolução e inteligência computacional, visando um monitoramento ainda mais preciso da dinâmica ambiental da BHRV.

Tabela 9 – Intervalos de classificação das Unidades da Bacia do Rio Verdinho, GO

Unidade de Paisagem	Aptidão para Uso Agrícola	Área	
		(ha)	(%)
1	Inapta	34015,635	21,48%
2	Apta*	17946,556	11,33%
3	Apta	40178,868	25,37%
4	Apta*	21687,739	13,69%
5	Apta	44561,296	28,13%

*Dependendo de Controle de Manejo

UP 1 - Vale Fechado com Vertente Coletora; UP 2- Faixa de Amortecimento da Planície de Convergência do Vale Fechado; UP 3 - planície de Topo; UP 4 - Ondulado de Meia Encosta; UP 5 - Planície Ondulada

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Considerações finais

Este trabalho delimitou as unidades de paisagem para a BHRV, aplicando parâmetros geomorfológicos e edáficos que fornecem uma análise detalhada da complexidade ambiental da região. A reclassificação dos dados de forma do terreno (FT), declividade e tipos de solos permitiu a identificação de padrões geomorfológicos e edáficos, essenciais para entender as dinâmicas de uso e conservação do solo na bacia.

A aplicação da Análise de Processo Hierárquico mostrou-se eficaz para ponderar as variáveis de acordo com sua relevância nos processos naturais locais, possibilitando uma delimitação precisa das unidades de paisagem. Isso demonstra que o método pode ser reproduzível e adaptável para delimitação de unidades de paisagem em outras regiões. Esse processo foi validado com visitas de campo, confirmando a coerência das categorias identificadas com as características observadas. Cada unidade foi avaliada e detalhada espacialmente, o que possibilitou uma análise abrangente de seu potencial ecológico e de conservação.

Em conclusão, este estudo apresenta uma metodologia para a delimitação de unidade de paisagem baseada em parâmetros geomorfológicos, evidenciando seu potencial para aprimorar a gestão de uso dos solos e esforços de conservação na bacia. Os resultados obtidos servem como modelo para futuras pesquisas na delimitação das unidades de paisagem em outras regiões. Por fim, é importante ressaltar que diferentes bacias hidrográficas podem apresentar novas classes de unidade de paisagem. Portanto, as 5 classes de unidades de paisagem aqui descritas não devem ser consideradas como absolutas. Em bacias com características diferentes podem emergir novas UP e que devem ser analisadas em campo.

Referências

AIRES, L. S. S.; ANGELINI, L. P.; DANELICHEN, V. H. M. Estimating the risk of wildfires in the municipality of Rio Verde, Goiás State, Central Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, V. 60, E2006, 2025. DOI: doi.org/10.5327/Z2176-94782006. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBciamb/article/view/2006. Acesso 01 jun 2026.

ALI, I; REHMAN, Atiq Ur; KHAN, Dost Muhammad; KHAN, Zardad; SHAFIQ, Muhammad; CHOI, Jin-Ghoo. Model Selection Using K-Means Clustering Algorithm for the Symmetrical

Segmentation of Remote Sensing Datasets. *Symmetry*, v. 14, n. 6, art. 1149, 2022. DOI: 10.3390/sym14061149.

AMORIM, A. T.; SOUSA, J. A. P.; PIROLI, E. L. O uso das métricas de ecologia da paisagem para análise dos padrões espaciais da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Boa Vista. *Formação (Online)*, v. 28, n. 53, p. 625-642, 2021. DOI: doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8158 Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/8158>. Acesso 28 mai 2026.

ALVES, W, S. Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho – sudoeste de Goiás – Brasil, 2019, 178 f, Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Jataí, 2019.

ALVES, W, S. MARTINS, A. P.; PÔSSA, E. M.; MOURA, D.M. B.; MORAIS, W. A.; FERREIRA, R. S.; SANTOS, L. N. S. Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Amsterdam, v, 22, n, 100495, 2021, DOI: doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100495. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938521000318>. Acesso 09 jul 2023.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil, *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v, 22, n, 6, p, 711-728, 2013, DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso 10 jul 2023.

AZEVEDO, R. P.; SILVA, L. C. M.; PEREIRA, F. A. C.; PECHE, P. M.; PIO, L. A. S.; MANCINI, M.; CURTI, N.; SILVA, B. M. Interactions between Intrinsic Soil Properties and Deep Tillage in the Sustainable Management of Perennial Crops, *Sustainability*, Basel, v, 15, n, 1, 760, 2023, DOI: 10.3390/su15010760. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/760>. Acesso em 12 agosto 2022.

BAGWAN, W. A.; GAVALI, R. S. Application of analytic hierarchy process for the assessment of soil erosion risk in the Urmodi River watershed of Maharashtra state, India. *Results in Engineering*, v. 26, p. 104606, 2025. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.104606. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123025006838>. Acesso 30 maio 2026.

BODRUD-DOZA, M.; YANG, W.; MIRANDA, R. Q. MARTIN, A.; DEVRIES, B.; FRASER, E. D. G. Towards Implementing Precision Conservation Practices In Agricultural Watersheds: a review of the use and prospects of spatial decision support systems and tools, *Science of The Total Environment*, Amsterdam, v, 905, n, 167118, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167118. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723057455>. Acesso em 03 fev 2023.

BRAGA, M. B.; SILVA, F. A. M.; FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; LIMA, C. E. P.; LIMA FILHO, O. F.; FLUMIGAN, D. L.; CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B.; MICHEREFF FILHO, M. Zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para a cultura do grão-de-bico: sequeiro e irrigado, Brasília, DF, Embrapa Hortaliças, 2023, PDF. 18p.:il,color, (Documentos/Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312, 199). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1156338/1/CNPH-DOC199-01072024.pdf>. Acesso em: 9 jul, 2025.

CARVALHO, T. C.; VIEIRA, E. M.; G, J. A. C.; VITERBO, G. A. Análise das classes de vertentes e sua relação com o processo erosivo: uma visão integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG. Revista Brasileira de Geografia Física v.12, n.04, p. 1619-1634, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1619-1634> Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/240572> Acesso em: 1 ago, 2024.

CIGNETTI, M.; GODONE, D.; TRECATE, D. F.; BALDO, M. New Paradigms For Geomorphological Mapping: a multi-source approach for landscape characterization, Remote sensing, Basel, v, 17, n.4, 581, 2025. DOI: 10.3390/rs17040581. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/4/581>. Acesso 08 jan 2026.

CHEN, J.; XIONG, L.; YIN, B.; HU, G.; TANG, G. . Integrating topographic knowledge into point cloud simplification for terrain modelling. International Journal of Geographical Information Science, v. 37, n. 5, p. 988–1008, 2023. DOI: 10.1080/13658816.2023.2180801. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2023.2180801>. Acesso em 10 ago. 2025.

COELHO, A, L, N, Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. International Review of Geographical Information Science and Technology, n,20, p,183-199, 2017. DOI: 10.21138/GF.565. Disponível em: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/565/448>. Acesso em: 14 jul, 2022.

COSTA, A, M.; VIANA, J. H. M.; EVANGELISTA, L. P.; PEDRAS, K. C.; HORTA, I. M.; SALIS, H. H. C.; PEREIRA, M. P. R.; SAMPAIO, J. L. D. Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o Estado de Minas Gerais, Revista Geografias, v,1, n,1, 2017a. DOI: 10.35699/2237-549X.13439 Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439>. Acesso em: 4 jan, 2022.

COSTA, A, M.; SALIS, H. C.; ARAÚJO, B. J. R.S; MOURA, M. S.; SILVA, V. S.; OLIVEIRA, A. R.; PEREIRA, M. P. R.; VIANA, J. H. M. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte – MG, Revista geografias, v,15, n,2, p,45-66, jul./dez, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19891>. Acesso em: 4 jan, 2022.

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, jun, 2001, 124 p, Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 6 jul, 2023.

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

DAS, S.; SARKAR, S.; KANUNGO, D. P. GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. Environmental Monitoring and Assessment, v. 194, art. 234, 2022.

DOI: 10.1007/s10661-022-09851-7. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-09851-7>. Acesso 30 maio 2026.

CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R.
Pedologia: solos dos biomas brasileiros, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,
2017.

ELKHRACHY, I. Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation
Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 9, n. 4,
p. 1807–1817, 2018. DOI: 10.1016/j.asej.2017.01.007. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447917300084>. Acesso 28 maio
2026.

EVANS, I. S. Cartographic techniques in geomorphology. In: GOUDIE, A. et al (org).
Geomorphological Techniques. 2. Ed. London and New York, 1990, p. 110-122.

FERNANDES, M. R.; BAMBERG, S. M. Estratificação de ambientes para gestão ambiental,
Informe Agropecuário, Gestão Ambiental na Agricultura, Belo Horizonte, v,30, n,252, p,24-
33, 2009. Disponível em:
[http://187.72.210.67:8080/consulta/busca?b=pc&id=2118&biblioteca=vazio&busca=\(autoria:%22BAMBERG.%20Soraya%20Marx.%22\)&qFacets=\(autoria:%22BAMBERG.%20Soraya%20Marx.%22\)&sort=ano-publicacao&paginacao=t&paginaAtual=1](http://187.72.210.67:8080/consulta/busca?b=pc&id=2118&biblioteca=vazio&busca=(autoria:%22BAMBERG.%20Soraya%20Marx.%22)&qFacets=(autoria:%22BAMBERG.%20Soraya%20Marx.%22)&sort=ano-publicacao&paginacao=t&paginaAtual=1) Acesso em:4 nov, 2022.

FERNANDES, M. R. Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem, Belo Horizonte,
MG: EMATER-MG, 92p, 2014Disponível em:
<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=3161&biblioteca=BRT&busca=autoria:%22FERNANDES.%20M.%22&qFacets=autoria:%22FERNANDES.%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> Acesso em:4 nov. 2022.

FOLINI, A.; LENZI, E.; BIRAGHI, C. A. Cluster analysis: a comprehensive and versatile QGIS
plugin for pattern recognition in geospatial data, *In. Arch. Photogramm. Remote Sens.*
Spatial Inf. Sci. v,XLVIII-4/W1-2022, p,151-157, 2022. DOI 10.5194/isprs-archives-XLVIII-
4-W1-2022-151-2022. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-4-W1-2022/151/2022/>. Acesso em: 1 jul, 2024.

FORMAN, R. T. T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge
University Press, 632 p. Cambridge: 1995.

GOIÁS/SIEG. Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). Mapa de Solos. ESRI
Shapefile,2025. Disponível em: <http://www.go.gov.br/siegddownloads/>. Acesso em: 12 nov,
2022.

GOMES, J, H, G, Caracterização morfométrica da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, RJ e
atributos edáficos condicionantes no processo erosivo em pedoformas côncava e convexa,
2017, 87f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2017, Disponível em:
<https://rima.ufrjr.br/jspui/handle/20.500.14407/13319>. Acesso em: 1 fev, 2024.

HE, P.; SHEN, T.; WANG, Y.; ZHU, D.; HU, Q.; LI, H.; YIN, W.; ZHANG, Yi; Y.; YANG, A. A
study on automatic annotation methods for watershed environmental elements based on
semantic segmentation models. *European Journal of Remote Sensing*, v. 58, n. 1, e2473939,
2025. DOI: 10.1080/22797254.2025.2473939. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2025.2473939#references-Section1>. Acesso 01 de junho 2026.

HUANG, J; YU, Y. Vertical Accuracy Assessment of the ASTER, SRTM, GLO-30, and ATLAS in a Forested Environment. *Forests*, v. 15, n. 3, art. 426, 2024. DOI: 10.3390/f15030426. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/426>. Acesso 28 maio 2026.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Demográfico, Censo Brasileiro de 2022, Rio de Janeiro, 2022, Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html> Acesso em: 23 fev, 2024.

KARAMANLI, E.; UZUN, O. F.; Object-Based Image Classification Process at Landscape Level Based on Spectral Index Extraction Using Sentinel 2 MSI Satellite Imagery, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 21(2), 66–81. DOI:10.58816/duzceod.1675848. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/duzceod/article/1675848>. Acesso em 01/06/2026.

KHOROSHEV, A. V. Analyzing vegetation-soil-topography relationships of landscapes: a multiscale geosystem approach and its application, *In: MUELLER, L.; EULENSTEIN, F. (ed.). Current Trends in Landscape Research, Innovations in Landscape Research*, SpringerCham, p.233-251,XX, 680p, 2019. Acesso em: 7 jul, 2024.

KUMAR, A.; PANT, S. Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*, v 10, p. 101954. 2023. DOI: Disponível em:10.1016/j.mex.2022.101954 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016122003260>. Acesso 01 de junho 2026.

LEMENKOVA, P.; DEBEIR, O. R Libraries for Remote Sensing Data Classification by K-Means Clustering and NDVI Computation in Congo River Basin, DRC. *Applied Sciences*, v. 12, n. 24, p. 12554, 2022. DOI: 10.3390/app122412554. Acesso 12 nov 2025.

MALLA, S.; OHGUSHI, K. Flood vulnerability map of the Bagmati River basin, Nepal: a comparative approach of the analytical hierarchy process and frequency ratio model. *Smart Construction and Sustainable Cities*, v. 2, art. 16, 2024. DOI: 10.1007/s44268-024-00041-7. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s44268-024-00041-7>. Acesso 30 maio 2026.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p. (General Technical Report PNW-GTR-351). DOI: 10.2737/PNW-GTR-351. Disponível em <https://research.fs.usda.gov/treesearch/3064>. Acesso 01 jun 2026.

MENDONÇA, R. L; Paz, A R. LiDAR data for topographical and river drainage characterization: capabilities and shortcomings. *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 27, e42, 2022. DOI 10.1590/2318-0331.272220220092. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/Y3L8bZDkwKfYpCpLckX7t4k/?lang=en>. Acesso 27 maio 2026.

MILIARESIS, G. C.; PARASCHOU, C V. E. Vertical accuracy of the SRTM DTED Level 1 of Crete. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 7, n. 1, p.

49–59, 2005. DOI: 10.1016/j.jag.2004.11.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243405000024>. Acesso 28 maio 2026.

MINAS GERAIS, Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP), Metodologia para elaboração do zoneamento ambiental produtivode sub-bacias hidrográficas, 3,ed, Belo Horizonte, 2020a, Disponível em: https://www.meioambiente.mg.gov.br/w/zoneamento-ambiental-produtivo-zap/?p_l_back_url=%2Fbusca%3Fq%3DMetodologia%2Bpara%2Belabora%25C3%25A7%25C3%25A3o%2Bdo%2BZoneamento%2BAmbiental%2BProdutivo%253A%2BZAP%2Bde%2Bsub-bacias%2Bhidrogr%25C3%25A1ficas Acesso em: 5 out, 2024.

MINAS GERAIS, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo de sub-bacias hidrográficas, 5, ed, Belo Horizonte: SEMAD/SEAPA, ago, 2025, Disponível em: <https://ecodrive-dplae.meioambiente.mg.gov.br/s/8daaBor6xcrCF8j>. Acesso em: 27 maio 2026.

MOKHTARI, E. MEZALI, F.; ABDELKEBIR, B. ENGEL, B. Flood risk assessment using analytical hierarchy process: a case study from the Cheliff-Ghrib watershed, Algeria. Journal of Water and Climate Change, London, v. 14, n. 3, p. 694–711, 2023. DOI: 10.2166/wcc.2023.316. Disponível em: <https://iwaponline.com/jwcc/article/14/3/694/93486/Flood-risk-assessment-using-analytical-hierarchy>. Acesso 30 maio 2026.

MORIN, E. O método I - A natureza da natureza. 2. ed. Lisboa: Editora Seuil, 1977.

Murin, N.; Knoch, A.; Uuemaa, E.: Detection of small-scale landscape elements with remote sensing, AGILE GIScience Ser., 4, 34, <https://doi.org/10.5194/agile-giss-4-34-2023>, 2023. Disponível em: <https://agile-giss.copernicus.org/articles/4/34/2023/>. Acesso 01 de junho 2026.

PREETY, Kumari; PRASAD, Anup K.; VARMA, Atul K.; EL-ASKARY, Hesham. Accuracy Assessment, Comparative Performance, and Enhancement of Public Domain Digital Elevation Models (ASTER 30 m, SRTM 30 m, CARTOSAT 30 m, SRTM 90 m, MERIT 90 m, and TanDEM-X 90 m) Using DGPS. Remote Sensing, v. 14, n. 6, art. 1334, 2022. DOI: 10.3390/rs14061334. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/6/1334>. Acesso 29 maio 2026.

QUINTON, J, N.; FIENER, P. SOIL EROSION ON ARABLE LAND: an unresolved global environmental threat, Progress in Physical Geography: Earth and Environment, London, v, 48, n, 1, p,136-161, 2023, DOI: 10.1177/03091333231216595. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03091333231216595>. Acesso ago. 2025.

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

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. 2. ed. New York: Springer, 2012.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Gleissolos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica

(Ageitec), Solos Tropicais, Embrapa Solos, 9 dez, 2021^a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos> Acesso em: 7 jul, 2025.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Neossolos, Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), Solos Tropicais, Embrapa Solos, 9 dez, 2021^b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos> Acesso em: 7 jul, 2025.

SANTOS, L. S.; NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B.; SILVA JUNIOR, O. M. Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana. Revista Brasileira de Geografia Física, v.12, n.7, p.2694-2715, 2019. DOI:10.26848/rbgf.v12.7.p2694-2715 Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242041>. Acesso em: 5 out, 2024.

SANZONOWICZ, C. Bioma Cerrado, Solo. Árvore do Conhecimento. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), 8 dez, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo> Acesso em: 10 jul, 2024.

SILVA, M, A, P.; EVANGELISTA, L. P.; SILVA, W. H. O.; SANTO, F. S. E. Diagnóstico e estratégias para a conservação ou restauração de nascentes em ambientes com ações antrópicas, Ciência Florestal, Santa Maria, v.34, n.3, e71553, p.1-24, 2024. DOI: 10.5902/1980509871553. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/71553/64152>. Acesso em: 1 fev, 2024.

SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do Rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno, Geografia, Londrina, v.22, n.1, p.5-25, 2014, 2013. DOI: 10.5433/2447-1747.2013v22n1p05. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/12722>. Acesso em: 29 ago, 2023.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Latossolos, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, Bioma Cerrado, 8 dez, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 23 maio 2024.

SOUZA, M. L. *Ambientes e territórios: uma introdução à ecologia política*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 352p, 2019.

THOMAZ, E. L.; KURASZ, J. P. Long term of soil carbon stock in no-till system affected by a rolling landscape in Southern Brazil. Soil Systems, Basel, v.7, n.2, p.60, 2023. DOI 10.3390/soilsystems7020060. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-8789/7/2/60>. Acesso em: 19 jul, 2024.

TOPODATA, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, Modelo Digital de Elevação (30m), Curvatura Horizontal, Curvatura Vertical, 2020. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 1 jul, 2022.

VALERIANO, M, de M, Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais, São José dos Campos: INPE, 2008a, Disponível em: <http://mtc->

m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf.

Acesso em: 24 mar, 2022.

VALERIANO, M, de M, Dados topográficos, *In*: FLORENZANO, T, G, (org.), Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais, São Paulo: Oficina de Textos, 2008b, 328p, Cap,3, p,74-103.

VALERIANO, M. M.; ROSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography* (Sevenoaks), v. 32, p. 300-309, 2011. DOI 10.1016/j.apgeog.2011.05.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622811000786>. Acesso: 29 maio 2026.

WALIA, S. S.; KAUR, K.; KAUR, T. Soil and Water Conservation Techniques in Rainfed Areas, *In*: Rainfed Agriculture and Watershed Management, Springer, Singapore, 2024.

Recebido em: 05/02/2026.
Aprovado para publicação em: 10/07/2026.