



ISSN: 2595-1661

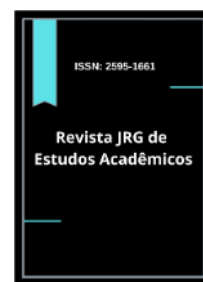
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portaldeperiodicos.capes.gov.br/)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Caracterização morfométrica e análise ambiental de bacias hidrográficas: integração de geotecnologias e indicadores hidrológicos para o planejamento sustentável

Morphometric Characterization and Environmental Analysis of River Basins: An Integration of Geotechnologies and Hydrological Indicators for Sustainable Planning

DOI: 10.55892/jrg.v8i19.2560

ARK: 57118/JRG.v8i19.2560

Recebido: 21/10/2025 | Aceito: 25/10/2025 | Publicado on-line: 26/10/2025

Charlys Seixas Maia Dornelas¹

<https://orcid.org/0000-0002-3580-9593>

<http://lattes.cnpq.br/0148614417148409>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil

E-mail: csmdornelas@hotmail.com

Ingryd Vieira Sales²

<https://orcid.org/0009-0000-8445-0700>

<https://lattes.cnpq.br/1645663475435056>

Universidade Federal da Paraíba, PB, Brasil

E-mail: ingrynd2000@hotmail.com



Resumo

A bacia hidrográfica é a unidade territorial fundamental para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, pois integra processos físicos, bióticos e antrópicos. A análise morfométrica, baseada em trabalhos clássicos, é apresentada como uma ferramenta quantitativa essencial para entender a resposta hidrológica e a suscetibilidade a cheias e erosão, sendo seu potencial analítico ampliado pelas geotecnologias, como SIG e sensoriamento remoto. A metodologia do estudo consistiu em uma revisão de literatura focada no contexto brasileiro, identificando um fluxo de trabalho consolidado que parte da delimitação automática de bacias com Modelos Digitais de Elevação, seguida pelo cálculo de parâmetros morfométricos e pela análise do uso do solo com imagens de satélite, tudo integrado pela abordagem da Geoecologia das Paisagens. Os resultados discutidos apontam que essa combinação de técnicas permite diagnósticos robustos, revelando a forte pressão antrópica sobre os recursos hídricos, como a ocupação inadequada de Áreas de Preservação Permanente (APPs), onde um estudo de caso apontou que 59% das APPs de nascentes estavam irregularmente ocupadas. A discussão reforça que a metodologia mais eficaz cruza indicadores morfométricos com dados de uso do solo e limites legais de APPs para priorizar áreas de manejo. Por fim, o trabalho conclui que a caracterização integrada, unindo morfometria, geotecnologias e a abordagem geoecológica, é indispensável para o planejamento sustentável, fornecendo as bases quantitativas, as ferramentas operacionais e o referencial teórico para uma gestão eficaz dos recursos hídricos

¹ Graduado em Medicina Veterinária; Mestre em Zootecnia; Doutor em Agronomia.

² Graduanda em Agronomia



Palavras-chave Bacia Hidrográfica, Geotecnologias, Planejamento Ambiental.

Abstract

The watershed is the fundamental territorial unit for the planning and management of water resources, as it integrates physical, biotic, and anthropic processes. Morphometric analysis, based on classic works, is presented as an essential quantitative tool to understand the hydrological response and susceptibility to floods and erosion, with its analytical potential expanded by geotechnologies, such as GIS and remote sensing. The study's methodology consisted of a literature review focused on the Brazilian context, identifying a consolidated workflow that starts with the automatic delineation of basins using Digital Elevation Models, followed by the calculation of morphometric parameters and the analysis of land use with satellite imagery, all integrated by the Landscape Geoecology approach. The discussed results indicate that this combination of techniques allows for robust diagnoses, revealing the strong anthropic pressure on water resources, such as the improper occupation of Permanent Preservation Areas (PPAs), where a case study pointed out that 59% of spring-related PPAs were irregularly occupied. The discussion reinforces that the most effective methodology cross-references morphometric indicators with land use data and the legal boundaries of PPAs to prioritize management areas. Finally, the work concludes that the integrated characterization, combining morphometry, geotechnologies, and the geoecological approach, is indispensable for sustainable planning, providing the quantitative foundations, operational tools, and theoretical framework for effective water resource management

Keywords: Watershed; Geotechnologies; Environmental Planning.

1. Introdução

As bacias hidrográficas são amplamente reconhecidas como unidades privilegiadas para o planejamento ambiental por integrarem, de modo sistêmico, processos físicos, bióticos e antrópicos (Silva; Rodriguez, 2014; Soares et al., 2016; Silva; Moreau; Daltro, 2020). A adoção da bacia como unidade de planejamento assume uma atribuição primordial para a manutenção e preservação dos recursos hídricos, uma vez que as modificações em sua disponibilidade impactam diretamente o ambiente e as atividades socioeconômicas (Mello; Silva, 2013). Nesse enquadramento, a análise morfométrica provê um arcabouço quantitativo para interpretar a organização das redes de drenagem e sua relação com a dinâmica hidrológica, gerando subsídios objetivos à gestão (Soares et al., 2016; Campos, 2025). Desde os trabalhos fundadores de Horton (1945) e os desdobramentos metodológicos de Strahler (1957) e Schumm (1956), métricas como densidade de drenagem e fator de forma passaram a expressar a capacidade de concentração de escoamento, a suscetibilidade a cheias e o comportamento erosivo das bacias (Horton, 1945; Strahler, 1957; Schumm, 1956).

A incorporação de geotecnologias elevou esse potencial analítico ao permitir a extração, modelagem e integração de variáveis morfométricas, hidrológicas e de cobertura da terra em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com ganhos notáveis de precisão (Campos et al., 2021; Silva; Moreau; Daltro, 2020). O uso integrado de SIG e sensoriamento remoto possibilita, além da caracterização físico-ambiental, o acompanhamento da dinâmica da cobertura vegetal, qualificando tendências de degradação e apoiando diagnósticos territoriais (Silva, 2020). Complementarmente, a Geoecologia das Paisagens tem sido empregada para



compartimentar o território em unidades geoecológicas e construir indicadores sintéticos de estado ambiental, potencial de uso e capacidade de gestão (Silva; Rodriguez, 2014). Farias (2015) enfatiza que tais unidades, delimitadas a partir de critérios geomorfológicos e da dinâmica da paisagem, orientam a definição de atividades compatíveis com a capacidade de suporte do ambiente.

Diante desse corpo teórico-metodológico, este artigo propõe a caracterização morfométrica e a análise ambiental de bacias hidrográficas por meio da integração de geotecnologias e indicadores hidrológicos, com vistas ao planejamento sustentável. Parte-se do entendimento de que as métricas morfométricas, aliadas a informações de uso e cobertura do solo e a indicadores do regime de vazões, constituem um conjunto coerente de diagnósticos e prognósticos, apto a orientar a gestão territorial, a conservação de solos e águas e a redução de riscos hidrometeorológicos.

1.1. A bacia hidrográfica como unidade de análise e gestão

A bacia hidrográfica é reconhecida como a unidade espacial mais apropriada para estudos e políticas de gestão ambiental. Essa diretriz, consolidada em marcos legais como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), adotou a bacia como unidade de planejamento e gestão, orientando instrumentos como planos, enquadramento e outorga (Brasil, 1997; Silva, 2020; Farias, 2015).

Do ponto de vista científico, a visão sistêmica de bacias foi expandida por abordagens integradas que articulam hidrologia, geomorfologia e uso/cobertura da terra para compreender impactos cumulativos em regiões tropicais, onde a sazonalidade e as mudanças antrópicas modulam recarga e deflúvio (Ben-Daoud et al., 2021; Zerga, 2025).

Em termos operacionais, revisões recentes mostram que a morfometria, quando combinada a dados orbitais e SIG, oferece indicadores robustos para priorização de sub-bacias, avaliação de suscetibilidade erosiva e suporte a decisões de manejo (Shekar et al., 2024; Singh & Dubey, 2021). No Brasil, a literatura técnico-aplicada reforça que a adoção da bacia como unidade de planejamento demanda leitura integrada do meio físico e dos condicionantes sociais, com ênfase em governança por comitês e arranjos institucionais multiescalares (Farias, 2015). Essa visão converge com a Geoecologia das Paisagens, que estrutura a compartimentação de unidades geoecológicas e a construção de indicadores sintéticos de estado e potencial de uso, apoiando o zoneamento ambiental funcional em escala de bacia (Silva, 2020).

A união entre a gestão por bacias hidrográficas e as geotecnologias modernas oferece vantagens práticas. Estudos recentes sobre o tema apontam que essa metodologia de planejamento é fundamental para articular o uso do solo, os ecossistemas e o desenvolvimento sustentável, o que previne impactos eco-hidrológicos e facilita a tomada de decisões adaptativas." (Wang et al., 2016; Zerga, 2025). Em paralelo, a priorização morfométrica com dados de MDE e rede de drenagem extraída em SIG tem sido aplicada para hierarquizar sub-bacias segundo densidade de drenagem, razão de bifurcação e razão de relevo, orientando ações de conservação do solo e controle de cheias (Singh & Dubey, 2021; Shekar et al., 2024).

A conexão entre cobertura vegetal (NDVI) e processos hidrológicos reforça o caráter sistêmico da gestão por bacias, mudanças de LULC (Uso e Ocupação do Solo) e variações no vigor da vegetação afetam escoamento, evapotranspiração e qualidade da água, exigindo monitoramento contínuo para subsidiar o planejamento (Vieira et al., 2024; Beshia et al., 2024). Evidências locais em trabalhos acadêmicos brasileiros mostram que, ao lado de morfometria e hipsometria, séries de NDVI

ajudam a detectar áreas críticas e orientar diretrizes de manejo (Silva, 2020; Farias, 2015).

1.2. Caracterização morfometria: parâmetros e relevância

A morfometria é definida como a análise quantitativa das configurações da superfície de uma bacia hidrográfica, cujos índices podem indicar as características geométricas, da rede de drenagem e do relevo (Campanharo, 2010). A obtenção dessas características físicas auxilia na compreensão do ciclo hidrológico e serve como ferramenta no diagnóstico de suscetibilidade à degradação ambiental, fornecendo subsídios para a tomada de decisão em projetos de manejo (Menezes et al., 2014; Macedo et al., 2024). A abordagem quantitativa, iniciada com os trabalhos de Horton (1945), permite uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (Nunes et al., 2006).

Estudos conduzidos em Minas Gerais exemplificam a aplicação prática desses parâmetros. Na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, por exemplo, os valores do coeficiente de compactidade ($K_c = 1,92$) e do fator de forma ($K_f = 0,42$) indicaram que seu formato alongado contribui para um menor risco de enchentes, em contraste com áreas mais circulares que apresentam maior predisposição a picos de vazão (Almeida et al., 2017). De forma semelhante, o estudo da Bacia Hidrográfica do Córrego Manhuaçu, apesar de seu formato também alongado ($K_c = 1,78$), demonstrou que características como alta declividade média (20,90%) e amplitude altimétrica elevada indicam maior suscetibilidade a escoamentos superficiais intensos, sendo fatores relevantes para o manejo do uso do solo e a delimitação de áreas de preservação (Mesquita et al., 2017).

A análise desses parâmetros, quando integrada, permite categorizar os riscos associados a eventos como enchentes e a aceleração da erosão hídrica, contribuindo diretamente para o planejamento territorial e o manejo conservacionista do solo e da água (Leal e Tonello, 2016). A interpretação conjunta de variáveis como a densidade de drenagem e a declividade, por exemplo, possibilita identificar e priorizar as regiões que carecem de maior atenção, assegurando a integridade ambiental das bacias hidrográficas (Caldas et al., 2018; Soares et al., 2016).

1.3. Sub-bacias e microbacias: escalas de análise

A subdivisão de bacias em sub-bacias e microbacias também é uma abordagem estratégica para o manejo detalhado e o monitoramento ambiental, pois aproxima a leitura dos processos das escalas em que ocorrem as intervenções e as respostas hidrológicas (Soares et al., 2016). Em estudos brasileiros recentes, a adoção de unidades menores tem demonstrado maior sensibilidade às alterações de uso e cobertura da terra, permitindo detectar mais rapidamente mudanças na infiltração, no deflúvio e na qualidade da água (Silva, 2020; Farias, 2015).

No plano hidrológico, as microbacias tendem a apresentar uma resposta mais rápida a eventos de chuva intensa em razão do menor amortecimento interno, tornando-se unidades adequadas para estudos aplicados de erosão, infiltração e priorização de Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Moreira; Souza, 2018). Aplicações locais mostram que métricas morfométricas como densidade de drenagem, razão de relevo e fator de forma explicam grande parte da propensão a enxurradas e da eficiência de infiltração em microescalas (Campos et al., 2021).

A análise multiescalar, da bacia para as sub-bacias, é facilitada por Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e dados orbitais, que automatizam a delimitação



hidrográfica, a extração da rede de drenagem e o ordenamento de canais conforme a hierarquia proposta por Horton 1945 e Strahler 1957 (Silva, 2020). Um estudo com dez sub-bacias do baixo curso do rio Itapecuru, por exemplo, mapeou a rede de drenagem e, ao constatar a predominância de canais de 1ª ordem, relacionou essa baixa hierarquia fluvial a uma maior suscetibilidade a alterações hidrológicas de origem antrópica, evidenciando a utilidade do recorte por sub-bacias para o planejamento (Soares et al., 2016). A escala de microbacia também se revela adequada para integrar o uso do solo com sua capacidade de uso e os indicadores morfométricos, produzindo diagnósticos diretamente aplicáveis para o planejamento local (Campos et al., 2021).

1.4. Geotecnologias e modelagem ambiental

As geotecnologias são compreendidas como um conjunto de ferramentas para a coleta, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas, sendo fundamentais para a elaboração, implantação e monitoramento de políticas públicas para o desenvolvimento territorial (Martins e Oliveira, 2015). A integração de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com o Sensoriamento Remoto abre uma vasta gama de aplicações, permitindo que a visualização e o cruzamento de informações espaciais revelem correlações, padrões e tendências de dados, fornecendo subsídios essenciais para tomar decisões estratégicas e adequadas (Leonardi, 2020). Essa capacidade de analisar o espaço geográfico de forma sistêmica e integrada torna essas ferramentas indispensáveis para o planejamento ambiental (Aquino e Valladares, 2013).

Em termos operacionais, o processo de caracterização de bacias hidrográficas é amplamente facilitado por softwares de SIG, como o QGIS, que permitem a manipulação de dados espaciais e suportam diversos formatos de imagens e vetores (Bruno, 2017). A metodologia consolidada parte da utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE), como os dados SRTM ou Copernicus DEM, que após passar por um pré-processamento para correções hidrológicas, serve de base para a delimitação automática da bacia e a extração da rede de drenagem por meio de algoritmos como o D8 (Campos, 2025; Silva, Moreau e Daltro, 2020). A partir desse modelo, também é possível gerar mapas temáticos essenciais, como os de declividade e hipsometria, que ajudam a compreender a topografia e o potencial de escoamento superficial.

Paralelamente, o Sensoriamento Remoto, utilizando imagens de satélites como os da série Landsat, viabiliza o mapeamento do uso e cobertura do solo através de técnicas como a classificação supervisionada, permitindo acompanhar a dinâmica da paisagem ao longo do tempo (Silva, 2020; Moreau e Daltro, 2020). A modelagem ambiental ocorre com a integração dessas camadas de informação. Por exemplo, a sobreposição do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa de Áreas de Preservação Permanente (APPs), estas últimas delimitadas com a ferramenta *buffer* conforme a legislação, permite identificar e quantificar os conflitos de uso em áreas legalmente protegidas (Moreira 2018; Souza, 2018). Essa combinação de técnicas não apenas permite o diagnóstico, mas também a simulação de cenários e a definição de prioridades, seja pela hierarquização de sub-bacias com métodos multicritério, seja pela identificação de áreas críticas para a conservação (Soares et al., 2016).

1.5. Aspectos ecológicos e legais

Do ponto de vista ecológico, bacias hidrográficas funcionam como sistemas acoplados em que processos hidrológicos e biogeoquímicos se integram através da rede de drenagem, da cobertura vegetal e de interfaces críticas como nascentes e



zonas ripárias (CAMPOS, 2025). Em aplicações brasileiras recentes, análises geoecológicas mostram que esses compartimentos controlam a recarga hídrica, a qualidade da água e a regulação de fluxos em múltiplas escalas (SILVA, 2020).

No arcabouço da Geoecologia das Paisagens, nascentes, áreas úmidas e planícies fluviais são mapeadas como unidades geoecológicas e avaliadas quanto ao estado ambiental, potencial de uso e limitações, o que permite conectar o diagnóstico ecológico a diretrizes de manejo em escala de bacia (FARIAS, 2015; SILVA, 2020). Juridicamente, o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) define Áreas de Preservação Permanente (APPs) em nascentes e margens de cursos d'água, estabelecendo faixas de proteção e critérios espaciais de enquadramento (MOREIRA; SOUZA, 2018; MILESKEI; GARCIA; CAMPOS, 2021). Estudos aplicados com SIG e sensoriamento remoto têm quantificado a extensão, os conflitos de uso e a conformidade legal dessas APPs, oferecendo evidências objetivas para fiscalização e restauração (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020; MOREIRA; SOUZA, 2018).

Na prática, a integração entre ciência e direito ambiental é indispensável. Mapas temáticos de APP, uso e cobertura do solo e fragilidades físicas embasam a delimitação, a priorização de recuperação e o monitoramento do cumprimento da legislação, e demonstram que, em muitos municípios, a proteção ainda é parcial, com ocupações irregulares persistentes (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020; MILESKEI; GARCIA; CAMPOS, 2021). Sob a ótica do planejamento sustentável, a leitura ecológica precisa estar acoplada a indicadores espaciais operacionais. A compartimentação geoecológica identifica Planícies Fluviais/APP, Encostas com Nascentes e outras unidades sensíveis, conectando atributos de geologia, pedologia e hidrologia a recomendações de manejo e restauração (SILVA, 2020).

Dessa forma, ao reconhecer nascentes e faixas ripárias como núcleos ecológicos regulados por APPs (Lei nº 12.651/2012) e quantificá-los via SIG e sensoriamento remoto, os gestores conseguem alinhar o diagnóstico ecológico, as exigências legais e a priorização espacial de ações, da proteção de áreas de recarga à recomposição da mata ciliar, em escala de bacia (SILVA, 2020; SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020; MOREIRA; SOUZA, 2018).

1.6. Bases para a Análise Geoambiental

De forma integrada, observa-se que a caracterização de bacias hidrográficas avançou de leituras predominantemente geométricas para abordagens sistêmicas e multidimensionais, nas quais morfometria, geotecnologias e a geoecologia se articulam sob o paradigma da sustentabilidade. No contexto brasileiro, a Geoecologia das Paisagens tem fornecido a espinha dorsal dessa integração ao compartimentar unidades homogêneas e conectar atributos físicos e sociais ao planejamento em escala de bacia (SILVA; RODRIGUEZ, 2014; FARIAS, 2015; SILVA, 2020).

A literatura recente reforça que a compreensão morfométrica precisa ser complementada por avaliações ecológicas e legais para subsidiar decisões de ordenamento territorial e gestão hídrica. Em diagnósticos aplicados, o cruzamento entre a forma da bacia, a rede de drenagem e as zonas ecologicamente sensíveis, como nascentes e planícies fluviais legalmente protegidas como APPs, permite hierarquizar áreas para conservação e manejo, conectando evidências ambientais a instrumentos de política pública (FARIAS, 2015; SILVA, 2020; MILESKEI; GARCIA; CAMPOS, 2021).

Paralelamente, as geotecnologias democratizaram o acesso e a produção de dados espaciais — como Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e séries de imagens multiespectrais — e, através de softwares SIG, viabilizaram a delimitação automática



de bacias, a extração de redes de drenagem, o cálculo de métricas da paisagem e a avaliação de APPs com maior precisão, rastreabilidade e custo reduzido (CAMPOS et al., 2021; CAMPOS, 2025). Em um estudo de caso, a integração de classificação supervisionada de imagens de satélite, métricas de fragmentação e delimitação de APPs evidenciou conflitos de uso e gerou recomendações de ordenamento, exemplificando como a ciência e a tecnologia podem ancorar políticas baseadas em evidências (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020).

Em complemento, análises morfométricas multiescalares têm sido empregadas para priorizar sub-bacias segundo a densidade e ordem dos canais, o relevo e a forma, direcionando ações de conservação do solo e mitigação de cheias — um caminho metodológico que integra diagnóstico físico, leitura ecológica e suporte legal (SOARES et al., 2016).

Com isso, a fundamentação atual da caracterização de bacias apoia-se em três pilares complementares: (i) a quantificação física (morfometria) para inferir a resposta hidrológica e as suscetibilidades da paisagem (CAMPOS, 2025; SOARES et al., 2016); (ii) a interpretação ambiental (geoecologia) para reconhecer unidades e funções ecológicas críticas (FARIAS, 2015; SILVA; RODRIGUEZ, 2014); e (iii) o suporte tecnológico (geoprocessamento/SIG/RS) para produzir evidências auditáveis e orientar o planejamento sustentável em escala de bacia (SILVA, 2020; SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020).

2. Metodologia

2.1. Delimitação da área de estudo

Este estudo consiste em uma revisão de literatura focada na caracterização morfométrica e na análise ambiental de bacias hidrográficas, com ênfase na integração de geotecnologias e indicadores hidrológicos como subsídio ao planejamento sustentável. O levantamento bibliográfico privilegiou publicações entre 2015 e 2025, incluindo artigos científicos indexados com DOI, dissertações e relatórios técnico-científicos que abordam o tema no contexto brasileiro. A seleção contemplou estudos que adotam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e empregam geotecnologias para a caracterização morfométrica e ambiental, a exemplo dos trabalhos de Silva, Moreau e Daltro (2020) e Silva (2020). Autores clássicos como Horton (1945), Strahler (1957) e Schumm (1956) foram referenciados como base conceitual indispensável.

2.2. Levantamento e sistematização da literatura

O critério de elegibilidade contemplou estudos que tratam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento/gestão e utilizam geotecnologias (SIG/Sensoriamento Remoto) para a caracterização morfométrica e ambiental. A amostra incluiu: (i) artigos de periódicos, (ii) estudos aplicados publicados em periódicos universitários (iii) dissertações com recorte metodológico explícito em Geoecologia e geoprocessamento (Silva; Moreau; Daltro, 2020; RDG/USP, 2016; Silva, 2020). A extração padronizada registrou objetivos, dados insumo (MDE, imagens orbitais, cartografia temática), procedimentos de processamento, parâmetros morfométricos e indicadores ambientais/legais reportados (Silva; Moreau; Daltro, 2020; Silva, 2020).

2.3. Base de dados geoespaciais e geoprocessamento

A caracterização integrada das bacias apoia-se na construção de um banco de dados georreferenciado que articula múltiplas fontes, incluindo o próprio MDE, imagens de satélite (Landsat, Sentinel) para o mapeamento de uso e cobertura do



solo, e cartografia temática de geologia, pedologia e geomorfologia (Farias, 2015; Silva; Moreau; Daltro, 2020). O processamento em SIG, como o QGIS, envolve a classificação supervisionada de imagens para a análise da paisagem e o uso de operações de geoprocessamento, como *buffers*, para a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) conforme a legislação (Silva; Moreau; Daltro, 2020).

2.4. Parâmetros morfométricos e agrupamento de indicadores

A análise morfométrica quantitativa, um componente central nos trabalhos revisados, é realizada em SIG para o cálculo dos parâmetros, geralmente agrupados em três categorias: (i) geométricos/dimensionais (Área, Perímetro, Fator de Forma, Coeficiente de Compacidade); (ii) da rede de drenagem (Densidade de Drenagem, frequência e ordem dos canais); e (iii) do relevo (amplitude altimétrica, declividade, razão de relevo), seguindo o arcabouço clássico de Horton (1945), Strahler (1957) e Schumm (1956). Esses indicadores são frequentemente utilizados em análises multicritério para hierarquizar e priorizar sub-bacias com base em sua suscetibilidade à degradação, orientando assim as ações de gestão (Soares et al., 2016).

2.5. Análise ambiental integrada

A análise ambiental integrada, nesta revisão, foi conduzida por meio da extração sistemática de variáveis reportadas nos estudos selecionados, utilizando a Geoecologia das Paisagens como referencial teórico-metodológico para a síntese dos dados. Essa abordagem, empregada nas próprias fontes, orienta a compartimentação do território em unidades geoecológicas, conectando atributos físico-ambientais a potencialidades, limitações e diretrizes de planejamento (Silva, 2020; Farias, 2015).

Para cada trabalho analisado, o levantamento padronizado incluiu: (i) indicadores morfométricos-chave, como densidade de drenagem (Dd), coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic) e ordem dos canais; (ii) informações sobre o uso e cobertura da terra, como as classes identificadas e o método de classificação; (iii) condicionantes geológicos e pedológicos; e (iv) a sobreposição desses usos com as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

O arranjo analítico frequentemente reportado, que combina classificação supervisionada, métricas da paisagem e avaliação de APPs com base em *buffers* legais, foi registrado como dado para a verificação dos padrões de conformidade e conflitos de uso (Silva; Moreau; Daltro, 2020). Por fim, todos os dados foram consolidados em uma matriz de evidências para estruturar a comparação entre as diferentes bacias hidrográficas e fundamentar a discussão dos resultados.

3. Resultados e Discussão

A caracterização morfométrica, aliada à análise ambiental, oferece uma base sólida para o planejamento e a gestão sustentável em escala de bacia hidrográfica. Os estudos convergem para diagnósticos que conectam a forma do relevo e a arquitetura da rede de drenagem aos padrões de uso e cobertura da terra, com as geotecnologias e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estruturando todo o ciclo analítico, da delimitação automática à proposição de cenários e prioridades de manejo. (SILVA, 2020; SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020).

A morfometria permanece como um eixo interpretativo fundamental para a compreensão da resposta hidrológica das bacias. Em aplicações no contexto brasileiro, índices de forma como o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator de Forma (Kf) e o Índice de Circularidade (Ic) são consistentemente empregados para inferir sobre a suscetibilidade a cheias. Bacias com geometria alongada (Kc alto, Kf/Ic

baixos) tendem a atenuar picos de vazão por apresentarem um maior tempo de concentração, enquanto bacias com formato próximo ao circular ($K_c \approx 1$) favorecem a sincronização dos afluentes, resultando em picos de vazão mais elevados. Esse entendimento é reforçado quando se observam, em campo, áreas com baixa declividade, baixa densidade de drenagem e uma predominância de canais de primeira ordem (SOARES et al., 2016; SILVA, 2020).

O estudo de Soares et al. (2016) sobre dez sub-bacias do baixo curso do rio Itapecuru é exemplar nesse sentido. Os autores identificaram a predominância de canais intermitentes de primeira ordem, com baixa capacidade de transporte de sedimentos e, conseqüentemente, alta suscetibilidade ao assoreamento. Essa vulnerabilidade, no entanto, é localmente moderada pela baixa declividade do relevo, que sugere um escoamento superficial mais lento e menor energia erosiva, informação crucial para orientar medidas conservacionistas. Adicionalmente, a aplicação da técnica de Weighted Sum Analysis (WAS) demonstra que a correlação entre parâmetros lineares, areais e hipsométricos é uma ferramenta operacional eficaz para hierarquizar áreas críticas que demandam prioridade nas ações de conservação do solo e da água (SOARES et al., 2016).

A literatura evidencia uma persistente pressão antrópica sobre as matrizes florestais, resultando em fragmentação da paisagem, assoreamento e perda de qualidade hídrica, processos diretamente associados à expansão de pastagens e áreas urbanas. Em um estudo de caso em Itabuna (BA), Silva, Moreau e Daltro (2020) utilizaram métricas da paisagem (área, perímetro, borda, forma) para analisar os remanescentes florestais, revelando a predominância de fragmentos pequenos, de formato irregular e altamente expostos aos efeitos de borda, condição que compromete as funções ecológicas e a resiliência desses ecossistemas.

Em termos legais e operacionais, a sobreposição do mapa de uso do solo com o mapa de Áreas de Preservação Permanente (APPs) indicou que 68,24% das áreas legalmente protegidas apresentavam uso inadequado. Particularmente alarmante foi a constatação de que 59% das APPs de nascentes estavam irregularmente ocupadas (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020). Essas evidências quantitativas reforçam a urgência de políticas de restauração da mata ciliar, fiscalização e diretrizes de ordenamento territorial. Esse padrão de conflitos em APPs é corroborado por outros estudos, que identificam a pastagem como a segunda classe de uso mais extensa após a cobertura florestal, enquanto áreas urbanas concentradas, muitas vezes fruto de ocupações irregulares, agravam o risco hidrológico e a instabilidade de encostas e margens (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020).

Nos estudos revisados, as geotecnologias atuam como o fio condutor da análise. Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de fontes como SRTM e ALOS PALSAR são a base para a delimitação automática de bacias, a extração da rede de drenagem e a derivação de atributos topográficos, enquanto imagens de satélites como Landsat e Sentinel suportam a classificação supervisionada do uso do solo e o cálculo de métricas da paisagem com alta rastreabilidade, utilizando softwares como QGIS e seus complementos (SILVA, 2020; SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020). Essa combinação permite não apenas o diagnóstico, mas também a simulação de cenários e a definição de prioridades, seja pela hierarquização de sub-bacias com métodos multicritério como o WAS, seja pela identificação de corredores ecológicos e áreas de recarga a partir de análises de conectividade (SOARES et al., 2016; SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020).

A Geoeologia das Paisagens complementa este arsenal ao fornecer um referencial teórico-metodológico para a compartimentação do território em unidades

geoecológicas, que agregam atributos físicos e socioeconômicos. Essa abordagem permite uma leitura do estado ambiental, das potencialidades, das limitações e da capacidade de gestão de cada unidade, conectando ciência, tecnologia e política pública em escala de bacia (FARIAS, 2015; SILVA, 2020). Em termos práticos, a abordagem geoecológica sustenta propostas de zoneamento ambiental e funcional, fazendo a ponte entre os indicadores quantitativos e as ações de planejamento para cada compartimento da paisagem (FARIAS, 2015).

Dessa forma, os resultados indicam que a convergência entre morfometria, análise do uso e cobertura do solo e o enquadramento legal-ecológico permite hierarquizar áreas críticas, orientar a restauração de APPs e ajustar práticas de uso do solo. Estudos recentes mostram que sub-bacias com baixa ordem de canais e relevo suave tendem a responder de forma mais intensa às mudanças de uso, justificando o monitoramento de cabeceiras e a implementação de programas de manejo direcionados (SOARES et al., 2016). Em paralelo, a constatação de conflitos expressivos em APPs (SILVA; MOREAU; DALTRO, 2020) demanda fiscalização, projetos de recomposição ciliar e instrumentos de gestão amparados por evidências cartográficas e métricas, uma agenda diretamente exequível com o uso de SIG e dados abertos.

4. Conclusão

Integrar morfometria, geotecnologias e abordagem geoecológica na caracterização de bacias hidrográficas constitui requisito essencial ao planejamento sustentável dos recursos hídricos.

A análise morfométrica, fundamentada em trabalhos clássicos, permanece como a base quantitativa para compreender a resposta hidrológica e a suscetibilidade a processos como erosão e inundações.

As geotecnologias consolidam-se como as ferramentas operacionais indispensáveis para a extração de dados, mapeamento de uso do solo e identificação de conflitos, como a ocupação inadequada de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

A Geoecologia das Paisagens emerge como o referencial teórico que articula esses elementos, permitindo a compartimentação do território em unidades geoecológicas com potencialidades e limitações distintas, o que subsidia diretamente a elaboração de zoneamentos e diretrizes de manejo.

Referências

A HER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850-860, 2014.

ALMEIDA, I. T.; ABREU, M. C.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Aspectos morfométricos da Bacia do Rio Sapucaí relacionados ao estudo de enchentes. **Nativa**, v. 5, n. 3, p. 169-174, 2017.

AQUINO, C. M. S. DE; VALLADARES, G. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia** (Londrina), v. 22, n. 1, p. 117-138, 2013.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, M. T.; SERRÃO, E. A. O.; SIQUEIRA, M. S.; SANTOS, K. S.; ATAIDE, L. C. P.; DANTAS, L. G. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do



rio Piranhas-Açú: trecho do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 434-444, 2020.

BARRELLA, W.; PRETERE JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. **As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). Matas ciliares: conservação e recuperação. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BEN-DAOUD, M., EL MAHRAD, B., ELHASSNAOUI, I., MOUMEN, A., SAYAD, A., ELBOUHADIOUI, M., ... & ELJAAFARI, S. Integrated water resources management: An indicator framework for water management system assessment in the R'Dom Sub-basin, Morocco. **Environmental Challenges**, **3**, 100062. 2021

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra, **Instituto de Geografia, USP**, São Paulo, 1971.

BESHA, Kokeb Zena; DEMISSIE, Tamene Adugna; FEYESSA, Fekadu Fufa. Effects of land use/land cover change on hydrological responses of a watershed in the Central Rift Valley of Ethiopia. **Hydrology Research**, v. 55, n. 2, p. 83–111. DOI: 10.2166/nh.2024.042. 2024

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1997.

BRUNO, Leandro Obadowiski. Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 8, p. 321–326. DOI: 10.21438/rbgas.040807. 2017

CALDAS, AM, PISSARRA, TCT, COSTA, RCA, NETO, FCR, ZANATA, M., PARAHYBA, RDBV, & PACHECO, FAL. Vulnerabilidade a inundações, conflitos ambientais pelo uso do solo e conservação do solo e da água: um estudo no município de Batatais SP, Brasil. **Água**, **10** (10), 1357.2018

CAMPANHARO, W. A. Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES. **Monografia (Graduação)** – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

CAMPOS, B. L. M. Análise morfométrica e caracterização ambiental de bacias hidrográficas aplicadas ao planejamento territorial. **Monografia** (Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2025.



CAMPOS, S. et al. **Geoprocessamento aplicado na caracterização de bacias hidrográficas visando a sua sustentabilidade**. Curitiba: Editora Reflexão Acadêmica, 2021.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

CUNHA, J. E. DE B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. DA; CHAVES, I. DE B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 539-548. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500010>. 2012

FARIAS, J. F. Aplicabilidade da Geoecologia das Paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Palmeira – Ceará/Brasil. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.

LISBOA, G. N. Diagnóstico do meio físico da microbacia do Rio Farinhas no estado da Paraíba. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

MACEDO, SAMUEL DE AMARAL; MOREAU, MAURICIO SANTANA; SPANGHERO, PEDRO ENRICO SALAMIM FONSECA. Caracterização morfométrica e uso e ocupação da terra da microbacia hidrográfica do rio Água Branca de Itabuna-BA. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 34, p. 82–99, 2019. DOI: 10.21170/geonorte.V.10. N.34.82.99. 2019

MARTINS, R. N. S.; OLIVEIRA, Ivanilton José de. Geotecnologias na gestão e planejamento do espaço urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE (ENANPEGE), 11., Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: ANPEGE/UNESP/UFGD, 2015.

MENEZES, JOÃO PAULO CUNHA DE; FRANCO, CAMILA SILVA; OLIVEIRA, LUIZ FERNANDO COUTINHO DE; BITTENCOURT, RICARDO PARREIRA; FARIAS, MATHEUS DE SÁ; FIA, RONALDO. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, p. 659–672, 2014.

MILESCHI, D. T.; GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S. Monitoramento de áreas de preservação permanente (APP) interceptadas pela ferrovia norte-sul em um trecho do estado de Goiás/Brasil, por meio de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 3, p. 531-545, 2020.



MOREIRA, É. B. F.; SOUZA, J. C. de. Avaliação geoambiental da área de preservação permanente do Córrego Mina d'Água, Campinaçu, Goiás, Brasil. **Elisée Revista de Geografia da UEG**, v. 7, n. 1, p. 119-130, 2018.

NUNES, FABRIZIA GIOPPO; RIBEIRO, NILZO CARLOS; FIORI, ALBERTO PIO. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba–Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO), 6., Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBGEO/UFG. p. 1–10. 2006

QUEIROZ, P. H. B.; SALES, M. C. L.; SILVA, J. M. O. Indicadores morfométricos como subsídio ao planejamento ambiental em um setor do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti – CE. **Revista Equador**, v. 3, n. 1, p. 3-24, 2014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. DA; CAVALCANTI, A. P. B. Geocologia das Paisagens: **uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 81-90, 2005.

SANTANA, M. V. Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica de Coronel João Pessoa/RN. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, p. 597-646, 1956.

SHEKAR, PADALA RAJA; MATHEW, ANEESH. Morphometric analysis of watersheds: a comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, v. 6, p. 13–25. DOI: 10.1016/j.wsee.2023.12.001. 2024

SILVA, E. V. DA; RODRIGUEZ, J. M. M. Planejamento e zoneamento de bacias hidrográficas: a geocologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, v. esp., p. 4-17, 2014.

SILVA, L. S.; MOREAU, M. S.; DALTRO, U. S. Uso do geoprocessamento para mapeamento do uso e ocupação do solo com ênfase em métricas da paisagem: um estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Água Branca. **Acta Ambiental Catarinense**, v. 17, n. 1, p. 34-44, 2020.

SILVA, M. R. de S. Delimitação de unidades geoecológicas como subsídio para o planejamento ambiental no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi – RN (ACBHRP-RN). **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

Silva, JRI, de Assunção Montenegro, AA, de Andrade Farias, CWL, Jardim, AMDRF, da Silva, TGF, & Montenegro, SMGL. Caracterização morfométrica e uso do solo da



bacia do rio Pajeú no semiárido brasileiro. **Journal of South American Earth Science**, **118**, 103939.2022

SINGH, P.; DUBEY, A. Morphometric analysis of a watershed of the Tons River in the central highlands of India using the ASTER DEM and GIS. **Applied Water Science**, v. 11, n. 11, p. 1-17, 2021.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100, 2016.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I. et al. Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-156, 2007.

VIEIRA, LUCIANE; PESSOA, LEONARDO ANTUNES; CARVALHO PEREIRA, VINÍCIUS ESTEVAN; GOIS, KAREN SILVÉRIO; COUTO, EDIVANDO VITOR DO. Integrating water, sediments, and land use analysis for pollution assessment in a countryside urban-farming watershed landscape in Southern Brazil. **International Journal of River Basin Management**, v. 22, n. 2, p. 283–296. DOI: 10.1080/15715124.2022.2130345. 2024.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WANG, G. et al. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. **Journal of Forestry Research**, v. 27, n. 5, p. 967-994, 2016.

ZERGA, Belay. Arid land degradation issues in Ethiopia: the case of the Borana and Afar rangeland systems: a review. **Journal of Rangeland Science**, v. 15, n. 3. DOI: 10.57647/j.jrs.2025.1503.22. 2025