

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Análise morfométrica de bacias hidrográficas em áreas de pré e pós mineração
de bauxita na Zona da Mata Mineira**

César Moreno Pinheiro Carrijo
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

CÉSAR MORENO PINHEIRO CARRIJO

Análise morfométrica de bacias hidrográficas em áreas de pré e pós mineração de bauxita na Zona da Mata Mineira

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C316a
2025
Carrijo, César Moreno Pinheiro, 1989-
Análise morfométrica de bacias hidrográficas em áreas de
pré e pós mineração de bauxita na Zona da Mata Mineira / César
Moreno Pinheiro Carrijo. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (74 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.745>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Hidrologia florestal - Bibliografia. 2. Bacias
hidrográficas - Efeito das minas e mineração. I. Dias, Herly
Carlos Teixeira, 1965-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 634.911690216

CÉSAR MORENO PINHEIRO CARRIJO

Análise morfométrica de bacias hidrográficas em áreas de pré e pós mineração de bauxita na Zona da Mata Mineira

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 6 de agosto de 2025.

Assentimento:

César Moreno Pinheiro Carrijo
Autor

Herly Carlos Teixeira Dias
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 05/11/2025 às 16:35:07 e pelo orientador em 05/11/2025 às 17:03:27. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **CR7D.NJYI.5DNA** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico este trabalho à minha melhor parte, minha esposa, Semíramis. E àquela que não está mais aqui, Lia Pinheiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que proporciona a vida e tudo aquilo que precisamos para sermos melhor. Agradeço a minha mãe, Damiane, que apesar das intempéries sempre esteve firme em suas orações. Ao meu pai, Augusto, pela base filosófica e toda a construção do meu discernimento crítico. Ao meu outro pai, Arnaldo, pelos ensinamentos práticos e grande amizade. Às minhas irmãs, Luna e Morgana, por serem inspiração e carinho eterno. Agradeço, aos meus filhos, Ravi e Lia, por me concederem a oportunidade de construir um futuro melhor. Minha esposa, Semíramis, pela compaixão com minha alma e compreensão infinda. Agradeço, à minha sogra, Semirinha, pela simplicidade de demonstrar gratidão. Ao meu orientador, Herly, por me deixar voar. E mesmo dando liberdade, soube ajustar o voo com palavras precisas. Agradeço ao professor Marcelo, o qual me ensinou sobre o valor do matrimônio. Ao professor Rodrigo, pelo exemplo de grandeza e simplicidade. Ao professor Diogo, por demonstrar que estou no caminho certo e não “Ensaio Sobre a Cegueira”. Agradeço aos colegas do LHF, Bernardo, Henrique, Thiago, Milton e Alexandra, pelos singelos momentos compartilhados e força emanada. Agradeço a professora Angeline, pelo incentivo à maturidade acadêmica em forma de cobrança. Ao professor Jean, pela oportunidade concedida. Ao professor Hélio, por elucidar as aplicações estatísticas em suas aulas de forma acessível. E a todos aqueles que fizeram parte desta caminhada, pois são parte de mim, não por estarem necessariamente envolvidos neste intento, mas por me tornarem a pessoa que sou através da convivência, relacionamento e uma simples conversa durante uma chuva forte.

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação. Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

CARRIJO, César Moreno Pinheiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas em áreas de pré e pós mineração de bauxita na Zona da Mata Mineira.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

Apesar de a água ser fundamental à vida e a diversas atividades humanas, a sua conservação não é o foco principal dos estudos dentre as áreas do conhecimento. Tomar a hidrologia florestal como ponto de partida para a conservação da água, no que tange sustentabilidade, pressupõe as bacias hidrográficas como referência para compreensão dos processos hidrológicos. Contudo, apesar da riqueza de conteúdo neste campo, as interações estudadas contemplam apenas parte do verdadeiro universo, as aplicações práticas ainda são limitadas. Um exemplo emblemático dessa limitação é a dificuldade de conciliar a conservação da água com os impactos gerados pela atividade minerária. Foi a partir de dados de acesso aberto, processados em software livre (QGIS) que pudemos retratar isto, neste trabalho. Desta forma, analisamos 2142 documentos em um período de 54 anos, através de uma revisão bibliométrica, para medir e comparar a qualidade, produtividade, relevância e identificar tendências no quesito conservação da água no âmbito da hidrologia florestal. Além da caracterização morfométrica e uso e ocupação do solo de duas áreas distintas relacionadas à mineração. Afim de compreender a dinâmica hidrológica e auxiliar o planejamento e gestão da água em intervenções futuras. Encontramos uma taxa anual de produtividade acadêmica de 3,56%. As revistas com maior número de publicações são a Hydrological Processes e Journal of Hydrology. Estados Unidos, China e Canadá são os principais países na produção científica. O Brasil ocupa a décima terceira posição. Os autores mais relevantes globalmente são Jeffrey J. McDonnell e Ge Sun. Dentro das áreas de influência de pré e pós mineração, foram encontradas 57 sub-bacias e extraídos os parâmetros morfométricos, área, declividade, densidade de drenagem, coeficiente de compacidade e fator de forma. Neste trabalho percebemos a necessidade da união entre temas fundamentais e o início de explorações pertinentes aos processos da natureza dentro de uma bacia hidrográfica, além de caracterizar duas áreas distintas utilizadas pela mineração.

Palavras-chave: hidrologia florestal; manejo de bacias hidrográficas; recursos hídricos.

ABSTRACT

CARRIJO, César Moreno Pinheiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Morphometric analysis of watersheds in pre- and post-bauxite mining areas in the Zona da Mata Mineira.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

Although water is fundamental to life and various human activities, its conservation is not the primary focus of studies across fields of knowledge. Taking forest hydrology as a starting point for water conservation, with regard to sustainability, presupposes watersheds as a reference for understanding hydrological processes. However, despite the wealth of content in this field, the interactions studied only encompass a portion of the true universe, and practical applications remain limited. A prime example of this limitation is the difficulty of reconciling water conservation with the impacts generated by mining activities. We were able to demonstrate this in this work by using open-access data processed in free software (QGIS). Thus, we analyzed 2,142 documents over a 54-year period through a bibliometric review to measure and compare quality, productivity, and relevance, as well as identify trends in water conservation within forest hydrology. In addition, we performed morphometric characterization and land use and occupation in two distinct areas related to mining. To understand hydrological dynamics and aid future water planning and management, we found an annual academic productivity rate of 3.56%. The journals with the highest number of publications are Hydrological Processes and Journal of Hydrology. The United States, China, and Canada are the leading countries in scientific production. Brazil ranks thirteenth. The most relevant authors globally are Jeffrey J. McDonnell and Ge Sun. Within the pre- and post-mining areas of influence, 57 sub-basins were identified, and morphometric parameters such as area, slope, drainage density, compactness coefficient, and shape factor were extracted. In this work, we identified the need to unite fundamental themes and initiate explorations relevant to natural processes within a river basin, in addition to characterizing two distinct areas used for mining.

Keywords: forest hydrology; watershed management; water resources

Sumário

Introdução Geral	8
Referências	9
Capítulo I - A conservação dos recursos hídricos e sua relação com bacias hidrográficas no contexto da hidrologia florestal: uma revisão bibliométrica.	9
1- Resumo.....	9
2- Introdução.....	10
3- Metodologia.....	11
4- Resultados e Discussão.....	12
5- Conclusão.....	21
6- Referências	22
Capítulo II - Morfometria de sub-bacias em áreas de pré e pós mineração, subsídios para análises integradas	28
1- Resumo.....	28
2- Introdução.....	29
3- Objetivo	32
4- Objetivos específicos.....	33
5- Metodologia.....	33
5.1- Áreas de estudo.....	33
5.2- Área de inserção das Sub-bacias.....	34
5.3- Coleta de dados espaciais.....	35
5.4- Parâmetros morfométricos.....	35
5.5- Dados de campo.....	36
5.6- Processamento dos dados.....	36
6- Resultados.....	37
7- Discussão	55
8- Conclusão.....	58
9- Referências	59
Conclusão geral.....	65
ANEXO A – Parâmetros morfométricos das sub bacias.....	67

Introdução Geral

A demanda ambiental atual não é apenas um desequilíbrio da natureza, mas uma crise da sociedade e das instituições que separaram a ciência da dimensão ecossistêmica humana. Conforme Latour em *Politics of Nature* (2009), os problemas ecológicos revelam não apenas o colapso das condições naturais, mas também a falência de um modelo institucional que separa rigidamente fatos e valores, ciência e política, natureza e cultura. Essa divisão, denominada por “Constituição Moderna”, limitou a construção de respostas democráticas e acessíveis aos desafios comuns. Provocando a academia elucidar novas alternativas entre os diversos setores da sociedade e assim apoiar processos de deliberação pública em torno de um objetivo sustentável. No caso da mineração, essa dicotomia se expressa de forma contundente, embora haja demanda pela conservação dos recursos naturais, principalmente a água, o crescimento econômico é priorizado em detrimento dos ecossistemas e comunidades tradicionais. As soluções propostas, quando existem, tendem a ser paliativas, centradas na compensação de danos ou em práticas rotuladas como sustentáveis, mas que pouco se adequam à lógica estrutural ecossistêmica (Northey et al., 2016).

A água é o principal recurso a ser preservado e utilizado no processo de mineração. Porém, o desafio reside em conservar a dinâmica dos processos hídricos concomitantemente a exploração mineral. Algo possível que requer a compreensão da relação da água intrínseca a cada bacia hidrográfica. Considerando as nuances da bacia – morfometria – podemos intervir efetivamente e mitigar desequilíbrios.

Através de uma revisão bibliométrica, evidenciamos quantitativamente a abordagem acadêmica em torno dos termos “conservação da água” e “recursos hídricos” no âmbito da hidrologia florestal e, posteriormente, descrevemos sub-bacias hidrográficas pela caracterização morfométrica de áreas de pré e pós mineração. Espera-se que este estudo contribua para o entendimento espacial de duas bacias hidrográficas pré e pós mineração e crie subsídio para a intervenção ambiental inteligente deste processo.

Referências

Latour, B. (2009). **Politics of Nature (C. Porter, Trad.)**. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1bzfprt>

Northey, S. A., Mudd, G. M., Saarivuori, E., Wessman-Jääskeläinen, H., & Haque, N. (2016). **Water footprinting and mining: Where are the limitations and opportunities?** *Journal of Cleaner Production*, 135, 1098–1116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.024>

Capítulo I - A conservação dos recursos hídricos e sua relação com bacias hidrográficas no contexto da hidrologia florestal: uma revisão bibliométrica.

1- Resumo

A água, como fator fundamental à vida e a diversas atividades humanas, é objeto de investigação em diferentes áreas do conhecimento. Nesse contexto, a hidrologia florestal é o princípio para a análise das bacias hidrográficas, sobretudo quando o objetivo é a conservação da água em um cenário de sustentabilidade. As bacias hidrográficas delimitam a área relevante para as abordagens dos processos hidrológicos e, apesar da riqueza de conteúdo no âmbito da hidrologia florestal e conservação da água, as investigações contemplam apenas parte do seu verdadeiro universo, as aplicações são limitadas na prática. Há a necessidade de estudos que adotem uma abordagem integrada para explorar as minúcias da relação água, terra, ar, planta e humano. Desta forma, foi proposto neste trabalho analisar quantitativamente o termo “conservação da água”, através de um estudo bibliométrico da literatura. A fim de descobrir os agrupamentos de conhecimento, esclarecer redes temáticas para apresentar o estado de arte, mapear padrões sociais na compreensão dos processos sociais que sustentam o desenvolvimento do conhecimento hidrológico, investigar nuances evolutivas (tendências e dificuldades) e reconhecer lacunas do conhecimento no âmbito da hidrologia florestal. Em um período de tempo de 54 anos foram encontrados 2142 documentos a uma taxa de crescimento anual de 3,56%. As revistas com maior número de publicações foram a *Hydrological Processes*, *Journal of Hydrology*, *Water Resources Research*, *Hydrology and Earth System Sciences*, *Forests* e *Journal of the American Water Resources Association*. Estados Unidos, China e Canadá são os principais países na produção científica, o Brasil

ocupa a décima terceira posição. Os cinco autores mais relevantes globalmente são Jeffrey J. McDonnell, Ge Sun, Markus Weiler, Xiaohua Wei e Brian L. McGlynn. Este trabalho evidenciou a necessidade da união entre temas básicos da hidrologia florestal e os processos dinâmicos de uma bacia hidrográfica, que levam em consideração a relação dos componentes água-floresta-homem.

2- Introdução

A água, como fator fundamental à vida e a diversas atividades humanas, é objeto de investigação em diferentes áreas do conhecimento. Nesse contexto, a hidrologia florestal é o princípio para a análise das bacias hidrográficas, sobretudo quando o objetivo é a conservação da água em um cenário de sustentabilidade. Apesar de incipiente, a compreensão da dinâmica das bacias hidrográficas é crucial para entender os processos hidrológicos complexos (Sun & Vose, 2016; Farooqi et al., 2024). Dessa forma, os impactos ambientais decorrentes da intervenção humana devem servir de base para o planejamento de manejo que busque a sustentabilidade dos recursos hídricos (Ferraz & Lima, 2022).

A heterogeneidade das superfícies terrestres ocasiona uma variedade de respostas à precipitação, no escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e recarga de aquíferos. Desta forma, uma intervenção indica consequências no clima, ecossistema, solo e regime hídrico (Gao et al., 2023). Compreender o peso de cada intervenção e oferecer soluções para a conservação da água, em consonância com a dinâmica dos processos hidrológicos, constitui um modelo de manejo de bacias hidrográficas alinhado à coevolução entre água, terra, ar, plantas e seres humanos, inerente ao desenvolvimento (Hewlett, 1982; Li et al., 2018). Ainda, áreas hidrologicamente sensíveis dependem da heterogeneidade natural da paisagem em termos de geologia, geomorfologia, solos e clima (Ferraz & Lima, 2022). Em regiões de clima tropical, por exemplo, as florestas atuam como receptores e condutores da água (Jones et al., 2022). Ao se desmatar vegetação nativa, altera-se a interceptação, escoamento superficial e infiltração de água no local, podendo trazer danos a curto e longo prazo (Giambelluca, 2002).

Soluções sustentáveis pressupõem a avaliação das incertezas, de modo a aumentar a confiabilidade nas análises integradas. Além disso, quando os indicadores de

impacto são associados diretamente aos serviços ecossistêmicos, as incertezas tendem a diminuir, o que é particularmente relevante no manejo de sub-bacias, as menores unidades das bacias hidrográficas (Alshehri et al., 2024). Ações em sub-bacias são mais acessíveis e economicamente viáveis ao manejo (Adhami & Sadeghi, 2016), elas são caracterizadas pela delimitação topográfica e podem influenciar o ciclo hidrológico dependendo dos fatores morfométricos e de uso e ocupação do solo (Ferraz & Lima, 2022).

Entretanto, de acordo com Webber et al. (2022), o manejo da água da chuva apresenta aplicações desconexas e diversas que frequentemente contemplam apenas parte do seu verdadeiro universo, mesmo quando há interações já investigadas, as aplicações são limitadas na prática. Há a necessidade de estudos que adotem uma abordagem integrada para explorar as inter-relações entre hidrologia, paisagens, ecologia e humanos (de Castro-Pardo et al., 2021). Além disso, estudos sobre conservação dos recursos hídricos estão mais associados ao tratamento das consequências das intervenções humanas do que a manejar os processos que as antecedem (Harrison-Atlas et al., 2016). Em outras palavras, não há um planejamento integrado que restabeleça a dinâmica ecossistêmica da água e favoreça soluções baseadas na natureza.

Desta forma, foi proposto neste trabalho analisar quantitativamente o termo “conservação da água”, através de um estudo bibliométrico da literatura, a fim de descobrir os agrupamentos de conhecimento, esclarecer redes temáticas para apresentar o estado da arte, mapear padrões sociais na compreensão dos processos sociais que sustentam o desenvolvimento do conhecimento hidrológico, investigar nuances evolutivas (tendências e dificuldades) e reconhecer lacunas do conhecimento no âmbito da hidrologia florestal (Mukherjee et al, 2022).

3- Metodologia

O levantamento bibliométrico foi fundamentado no guia proposto por Debmalya Mukherjee (2022), que propõem o mapeamento científico através da análise quantitativa do acervo científico através de cinco fatores base: contribuição do levantamento bibliométrico, valor (impacto científico), relevância para o público alvo, utilidade oportuna (caráter de urgência) e base argumentativa. Deste modo, o pacote Bibliometrix, no ambiente R, foi utilizado para a caracterização quantitativa da

produção científica, por meio da análise relacional de citações, cocitações, palavras-chave e temas-base (Donthu et al., 2021). Utilizou-se as bases de dados Scopus, Web of Science e Dimensions para o levantamento dos documentos através dos seguintes termos de busca: água, recursos hídricos, bacia hidrográfica e hidrologia florestal. Foram consideradas variações nos termos de busca e obtido os melhores resultados com a seguinte forma: (water OR “water resource”) AND “forest hydrology” AND watershed. Foram selecionados apenas artigos, revisões e publicações em conferências indexados nas bases de dados Scopus e Web of Science, abrangendo os últimos 54 anos e retirados os documentos duplicados. O tema “conservação da água” foi utilizado na avaliação crítica das métricas de agrupamento de palavras-chave, autores, coautores, citações e cocitações, para a compreensão da abordagem deste pela academia. O método de Walktrap foi utilizado para dois tipos de resultados, primeiro, os agrupamentos por palavra-chave e, segundo, grupos por acoplamento das palavras chave dos autores. O primeiro aloca os termos pelo seu desenvolvimento e relevância classificando-os em quatro quadrantes, que são os Temas motores, Temas Nicho, Temas em declínio ou emergente e Temas básicos. O segundo, relaciona as palavras-chave através do impacto e centralidade, através da análise de redes de coocorrência de palavras-chave, alocando as palavras-chave com maior frequência, permitindo identificar os principais temas e subáreas neste contexto. Na sequência, o índice Hirsch foi selecionado para mensuração do impacto das revistas e a Lei de Bradford’s, para relevância (Aria & Cuccurullo, 2017). Da base Dimensions os documentos encontrados foram filtrados a partir dos mesmos parâmetros. Scopus e Web of Science foram escolhidas pela melhor interação com a biblioteca bibliometrix, relacionados às palavras-chave. Concomitantemente à base Dimensions selecionada pela melhor adequação dos metadados, abrangência de autores e força relacional ao software VOSviewer, além de uma maior cobertura documental (Van Eck & Waltman, 2010; Singh et al., 2021).

4- Resultados e Discussão

O espaço de tempo da pesquisa avaliado retornou 2142 documentos com média de taxa de crescimento anual de 3,56% (Tabela 1).

Em mais de meio século de pesquisa a produção acadêmica cresce a uma taxa pequena e a quantidade de trabalhos baixa quando comparamos a trabalhos

referentes a hidrologia urbana por exemplo, 10,71% (Khan et al., 2025). Ambas são importantes e deveriam receber o mesmo tratamento pela comunidade acadêmica, visto que a hidrologia florestal precede a hidrologia urbana, ou seja, a água que chega às cidades tem origem na natureza e carece de uma nova abordagem científica (Xia et al., 2022). Além disso, esta disparidade no crescimento produtivo está associado às necessidades urbanas, que geram maior consumo de energia e concentração de esforços científicos, em contraste à natureza, onde a regulação da água ocorre de forma natural e equilibrada, sendo necessária apenas a manutenção dos processos ecológicos (LaPoint et al., 2015).

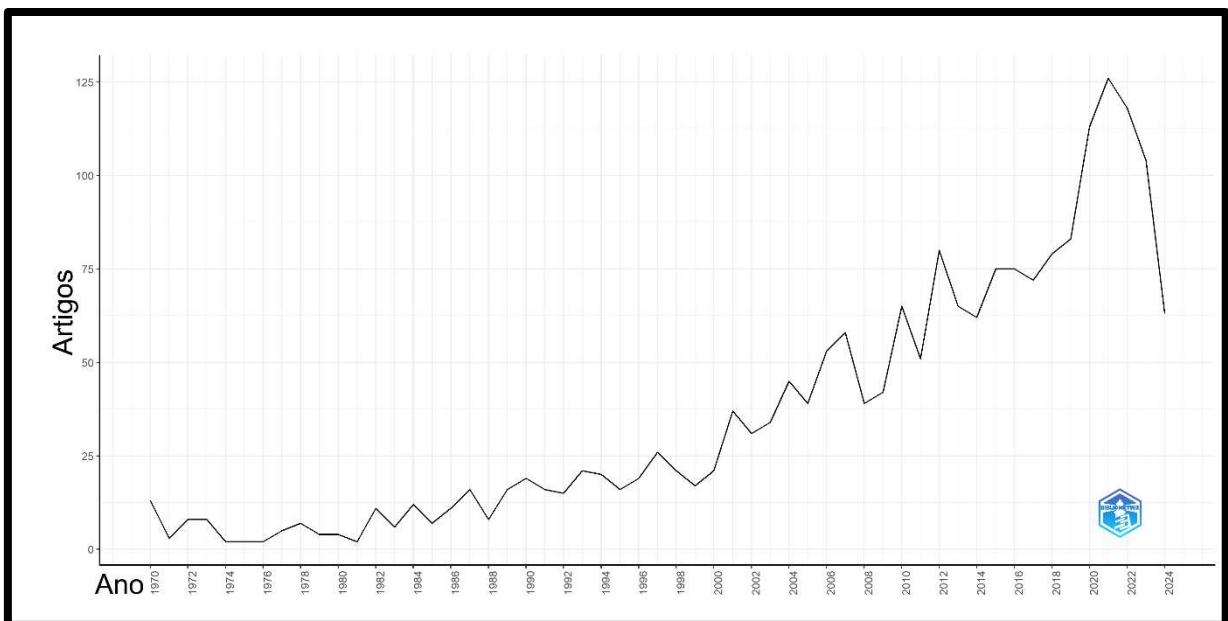
Tabela 1 - Estatística dos metadados das bases de dados Dimensions e Scopus e Web of Science (unidas), trabalhadas no Bibliometrix.

Base de Dados	Dimensions	Scopus and Web of Science
Descrição do campo	Resultados	
Menu Informativo dos Dados		
Espaço de tempo	1970:2024	1970:2024
Fontes (Jornal, Livros, etc)	11	68
Documentos	1967	175
Taxa de Crescimento Anual %	2,97	4,15
Idade média dos documentos	13,8	16,2
Média de citações por doc.	51,23	37,95
Referências	0	8061
Conteúdo dos Documentos		
Palavras-chave	128	880
Palavras-chave dos Autores	128	532
Autores		
Autores	5396	590
Autores de documentos de autoria única	141	21
Colaboração autoral		
Documentos de autoria única	174	24
Coautoria por documento	4,3	4,34
Coautoria Internacional%	24,56	14,86
Tipos de Documento		
Artigos	1967	149
Artigos e Documentos de Procedimentos		10
Documentos de Conferência		3
Documentos de Procedimentos		1
Revisão		12

Fonte: O autor, extraído da ferramenta Bibliometrix (2025).

Dentre os documentos das bases Scopus e Web of Science, 90 e 10% são artigos e revisões respectivamente, propostos por 590 autores, onde 21 destes são de autoria única. Mantêm média de idade de 16,2 e média de citações de 37,95 (Tabela 1). Na base Dimensions, 100% são artigos originais, totalizando 5396 autores, em que 141 são de autoria única. A idade média dos documentos é de 13,8 com média de 51,23 citações por documento. Produtividade anual expoente, Gráfico 1, a partir de 1988, com significativo crescimento nos séculos XX e XXI e queda drástica atual.

Gráfico 1- Produtividade anual científica desde 1970 a 2024.



Fonte: O autor, extraído e adaptado da ferramenta Bibliometrix (2025).

Essa divisão quantitativa entre as bases indexadoras aponta aquelas revistas com maior predileção pelos autores além da relevância de suas citações entre os jornais (Podsakoff et al., 2008). São documentos recentes e distribuídos exponencialmente a partir de 2000, Gráfico 1, precisamente quando houve um desenvolvimento das ferramentas de modelagem hidrológica e a preocupação socio ambiental com os recursos hídricos (Xia et al., 2022). O crescimento abrupto no ano de 2021 está relacionado ao grande número de publicações no momento da COVID-19 (Rousseau et al., 2023).

As revistas com maior número de publicações são a *Hydrological Processes*, *Journal of Hydrology* (JH), *Water Resources Research* (WRR), *Hydrology and Earth System Sciences* (HESS), *Forests* e *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA), com 594, 461, 271, 134, 101 e 86 documentos respectivamente. Em que as duas primeiras correspondem aos periódicos mais relevantes quanto à Lei de Bradford's e, *Journal of Hydrology* apresenta melhor índice de impacto, 93 pelo H-index (índice Hirsch), plataforma Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017).

São revistas com fator de impacto relevante segundo parâmetros Clarivate (2024), que contêm trabalhos com alto índice de citações. Com objetivos e escopo distintos, cada revista engloba uma grande área do conhecimento hidrológico, entretanto, ambas ressaltam a importância do impacto econômico e social que suas publicações devem conter. A *Hydrological Processes*, por exemplo, preconiza mais assuntos relacionados aos processos hidrológicos que em relação a todas outras. Assuntos multidisciplinares são adequados à maioria, com relevância para os aspectos físicos, químicos, biológicos e ecológicos dos recursos hídricos. Características específicas das JH, WRR, HESS e JAWRA, são a gestão baseada nos recursos hídricos, ciências sociais e naturais da água, interação entre hidrologia e o homem e dinâmica dos ecossistemas hídricos local, global e espaço temporal, ecologia de zonas ripárias e manejo adaptativo respectivamente. A revista *Forests* é a mais específica dentre elas, abordando apenas indiretamente questões hidrológicas, no entanto, demanda trabalhos dependentes da hidrologia, como a dinâmica de processos ecológicos e manejo de recursos naturais florestais.

Os treze países, em ordem decrescente de produção científica são: Estados Unidos da América, China, Canadá, Japão, Austrália, Alemanha, Espanha, França, Holanda, Suécia, Suíça, Itália e Brasil, com 1768, 790, 598, 552, 461, 353, 214, 174, 174, 155, 138, 135, e 122 trabalhos respectivamente. Os cinco mais citados em quantidade de trabalhos são: Estados Unidos da América, Canadá, Austrália, Japão e Alemanha. O Brasil ocupada a décima quarta posição.

O pioneirismo nos estudos hidrológicos não está relacionado a hidrografia ou a quantidade de florestas destes países, mas à sua economia e investimento em pesquisa. Muitos destes estudos, inclusive, são transnacionais com relações de coautoria e investigações específicas (Farooqi et al., 2024).

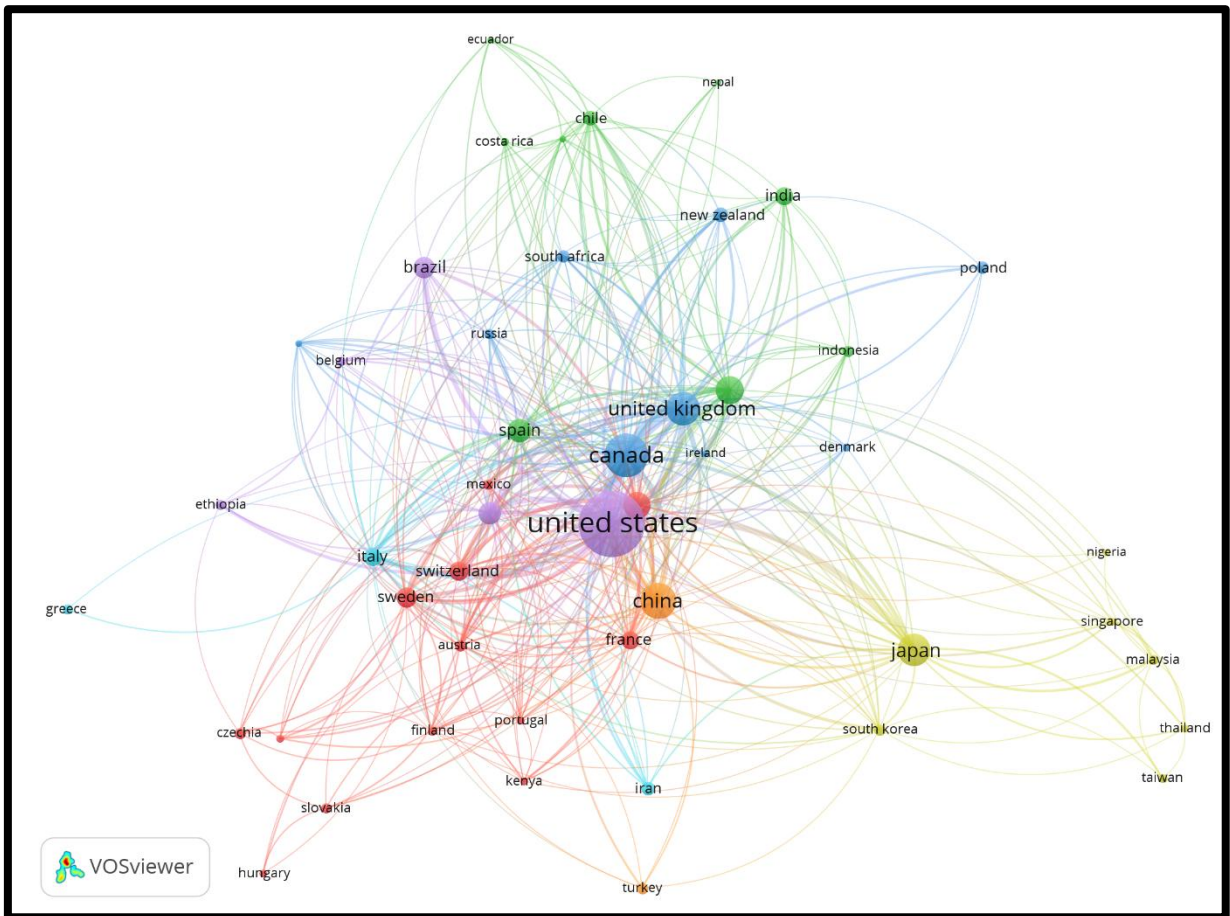
da hidrologia. Os termos de busca associam estes autores que apresentam trabalhos de grande impacto na comunidade científica pela quantidade de citações.

Representados por 6 principais grupos, dentre os 28 encontrados, com quantidade mínima de dez autores cada um, na Figura 1 temos, Jeffrey J. McDonnell (McDonnell, J.J.), Ge Sun (Sun, ge) e James M. Vose (Vose, james M.), que são os três principais autores que mantêm as ligações mais fortes entre cocitações. Dentre os autores que não apresentam ligações, John Pomeroy (Pomeroy, john w.), Latif Kalin (Kalin, latif), David R. DeWalle (Dewalle, david r.) e John D. Hewlett (Hewlett, john d) representam grande importância acadêmica com numerosos trabalhos.

Através da divisão dos grupos, foram encontradas tendências científicas: a força do cooperativismo acadêmico e unidades específicas de estudo. Estes levantamentos auxiliam na escolha criteriosa da literatura e na seleção de autores base, daqueles que emanam maior quantidade de cocitações.

Estão distribuídas na Figura 2 as relações mais significativas de força representadas pelo tamanho do círculo. Estados Unidos, Canada, China, Reino Unido e Japão são os mais relevantes. Brasil, Suécia, Itália e Índia atuam com menor relevância, porém com relações tão importante quanto dos países mais relevantes.

Figure 2 - Grupos dos países mais relevantes em coautoria de acordo com o tamanho da esfera, divididos em cores.



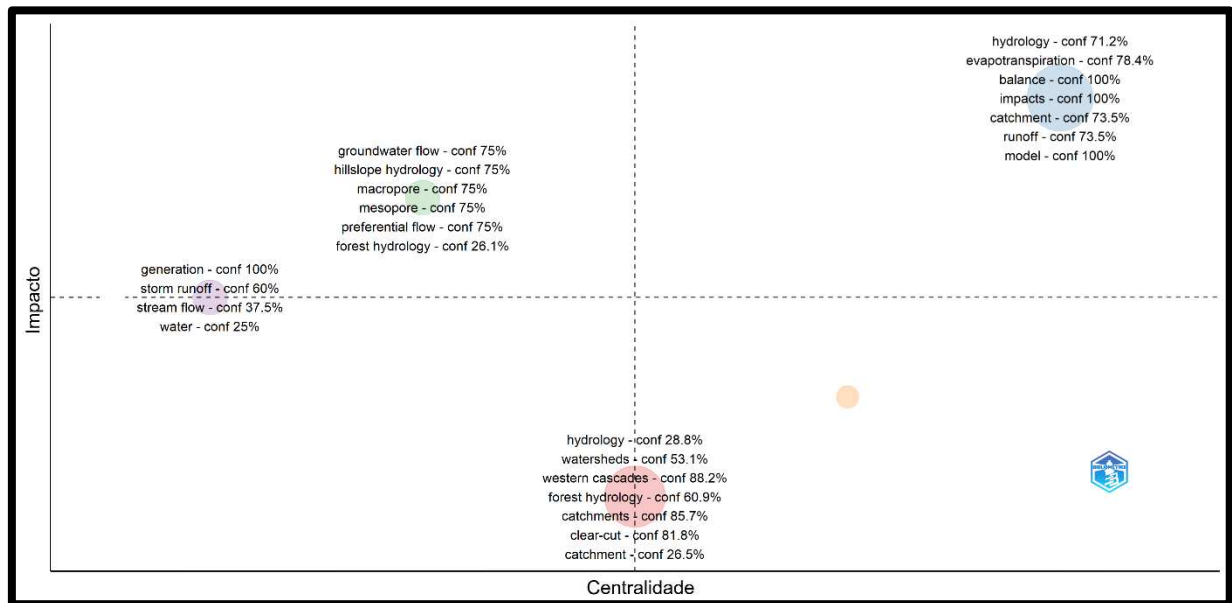
Fonte: O autor, extraído e adaptado da ferramenta VOSviewer (2025).

Apesar de os países desenvolvidos serem mais expressivos nas publicações sobre o tema, as relações transnacionais são significativas e fundamentais para a progressão dos países em desenvolvimento. Atribuído a limitações econômicas e políticas públicas pouco eficazes o alcance internacional dos trabalhos acadêmicos desses países está condicionado a estas cooperações (Pohl, 2020). No Brasil por exemplo a submissão e interesse econômico internacional são determinantes no incentivo à produção científica (Neves & Barbosa, 2020). Não obstante, as oportunidades existem e atendem o compromisso internacional de desenvolvimento mútuo entre os países, o desafio está na forma de tratamento e uso do conhecimento científico por cada nação (Altbach & Knight, 2007). Tal fato é percebido quando se encontra trabalhos publicados fora de seu país de origem, sendo contabilizados no país sede da revista (Abate et al., 2015; Alvarez-Garreton et al., 2018; Junqueira Junior et al., 2019).

A associação das palavras-chave aos autores, Gráfico 2, está proposta pelo grupo mais à direita, o círculo no primeiro quadrante, com o maior impacto e frequência, onde a “modelagem”, “impactos” e o “balanço hídrico” prevalecem nas pesquisas, concomitantemente com o maior percentual de confiabilidade, 100%. O grupo central, círculo vermelho, contempla as “bacias hidrográficas”, a “área de captação” e a relação com a “hidrologia florestal”, representando o grupo com menor impacto de atuação. Os grupos verde e roxo no segundo quadrante apresentam impacto semelhante e palavras-chave coincidentes, relacionadas predominantemente à dinâmica da água. A diferença entre eles está no objeto de avaliação, água subterrânea e superficial respectivamente. O percentual de confiabilidade do termo “água” é o menor dentre o conjunto, 25%, acompanhado de “hidrologia florestal” com 26,1%.

A evidência apresentada no Gráfico 2, que mostra o baixo impacto de termos fundamentais, revela a necessidade de maior integração e pluralidade na compreensão da função das florestas nos processos hidrológicos (Jiménez et al., 2023a). Contudo, a utilização desses termos em estudos de grande relevância, como o de Sun & Vose (2016), pode induzir a interpretações equivocadas. Os trabalhos associados aos temas centrais e de maior impacto (círculos vermelho e azul no gráfico), por exemplo, enquadram-se nesse tipo de julgamento, diferenciando-se apenas pelas metodologias e abordagens adotadas entre eles. Essa tendência corrobora a observação de Webber et al. (2022), de que o excesso de estudos com respostas difusas tende a perder força de impacto quando confrontado com testes de campo, em razão da falta de integração entre diferentes abordagens.

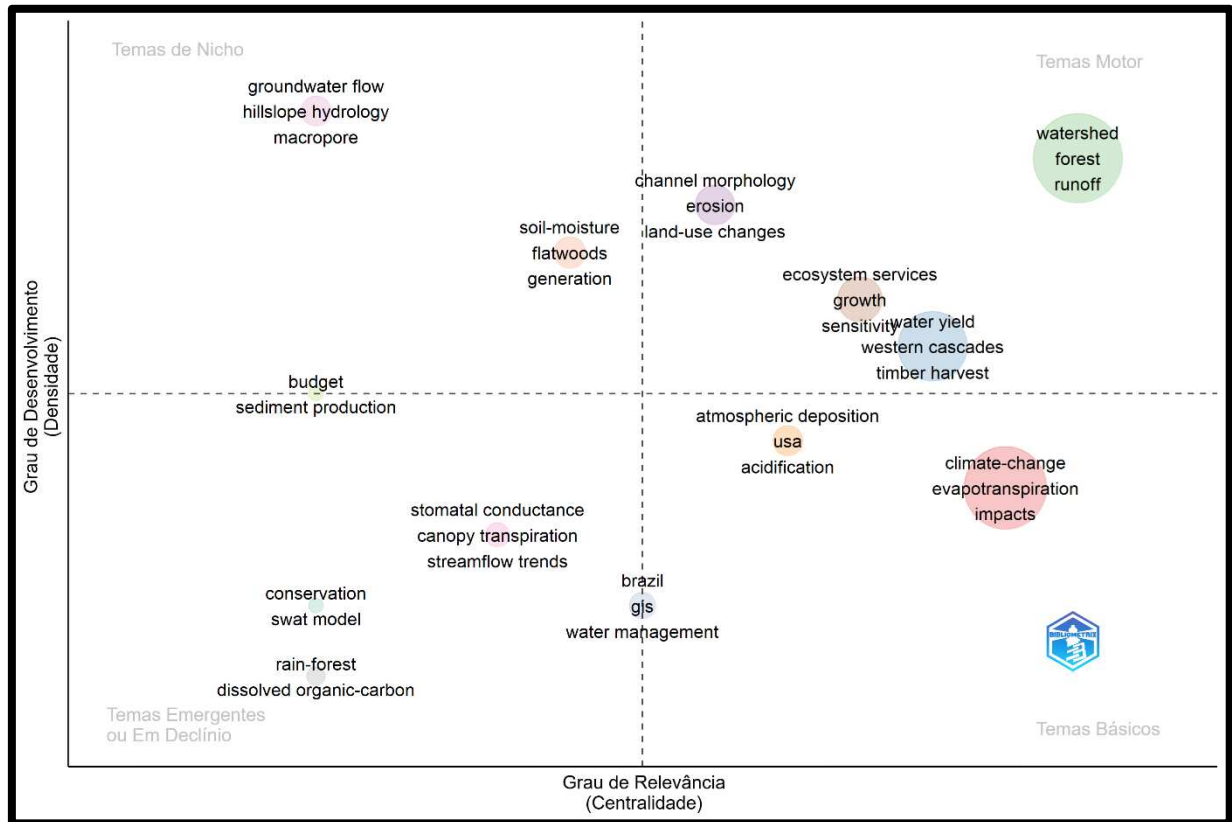
Gráfico 2- Grupos por acoplamento de autores pelo método Walktrap.



Fonte: O autor, extraído da ferramenta Bibliometrix (2025).

No Gráfico 3 a divisão dos quadrantes com caracterização dos temas, elucidada “bacias” e “florestas” como temas motores com maior grau de desenvolvimento dentro dos trabalhos analisados. Acompanhados por “serviços ecossistêmicos”, “corte de madeira” e “mudanças de uso e ocupação” com menor expressão. “Mudanças climáticas”, “impactos” e “evapotranspiração” representam os termos básicos com grau de desenvolvimento em declínio. Palavras associadas à dinâmica da água, “escoamento subterrâneo” e “hidrologia de barrancos” se apresentam no quadrante de temas inusuais. Em contrapartida, “conservação” encontra-se no quadrante de temas emergentes ou em declínio atrás das palavras associadas à dinâmica da água nas folhas das árvores. Os trabalhos que abrangem procedimento em GIS relacionados ao manejo da água ganham relevância e caminham para o quadrante de termos básicos.

Gráfico 3- Mapa temático palavras-chave, método Walktrap.



Fonte: O autor, extraído da ferramenta Bibliometrix (2025).

Independente da dissociação entre os termos no Gráfico 2, é possível perceber no Gráfico 3 a evolução da escala de trabalho e o surgimento de temas mais associados a conservação dos recursos hídricos, mesmo que intrinsecamente, estão correlacionados. A ideia de sustentabilidade e conservação emergem sob a necessidade atual da mitigação da mudança climática, pressupondo o espaço da bacia hidrográfica e a floresta como áreas de estudo, capazes de fornecerem benefícios além da exploração dos recursos, através da maneira que são manejadas (Wang et al., 1998; Kale et al., 2012). Ademais, propostas para a conservação da água advém de trabalhos dedicados a interpretação espacial (pelo Sistema de Informação Geográfica) da dinâmica da água e a correlação com fatores ambientais e uso e ocupação do solo (Zhang Biao et al., 2009; Wang Xiaoxue et al., 2013).

5- Conclusão

A conservação da água é um tema em crescimento no meio acadêmico, porém abordado de forma indireta ou como objetivo secundário nos trabalhos. Nota-se isso quando dos agrupamentos por palavras-chave e acoplamentos por grupos de autores, pertinentes ao tema de conservação, trazem respostas difusas, que podem perder força de impacto com os testes em campo pela falta de integração entre as diversas abordagens.

No caso de florestas tropicais há baixa presença de documentos, não permitindo a avaliação do impacto para este tipo de bioma.

Os autores de maior relevância estão associados aos países sede das revistas mais expressivas, concomitantemente ao seu grupo de trabalho (co-citações). Alguns autores têm seus trabalhos contabilizados fora do país de origem da pesquisa e dos dados utilizados, o que interfere no ranking de publicações.

As métricas encontradas elucidaram comparar a qualidade, produtividade, relevância e tendências no quesito conservação da água no âmbito da hidrologia florestal. Esta análise dos 2142 documentos neste período de 54 anos auxiliará pesquisadores na compreensão do tema, a identificar lacunas do conhecimento e orientar futuras investigações. Além disso, a crítica da visão histórica sistematizada oferece base para que pesquisas futuras possam não apenas dar continuidade, mas também inovar na busca por soluções sustentáveis.

6- Referências

Abate, M., Nyssen, J., Steenhuis, T. S., Moges, M. M., Tilahun, S. A., Enku, T., & Adgo, E. (2015). **Morphological changes of Gumara River channel over 50 years, upper Blue Nile basin, Ethiopia.** *Journal of Hydrology*, 525, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.044>

Adhami, M., & Sadeghi, S. H. (2016). **Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory.** *Journal of Hydrology*, 541, 977–987. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.008>

Alshehri, K., Chen, I.-C., Rugani, B., Sapsford, D., Harbottle, M., & Cleall, P. (2024). **A novel uncertainty assessment protocol for integrated ecosystem services-life cycle assessments: A comparative case of nature-based solutions.** *Sustainable Production and Consumption*, 47, 499–515. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.026>

Altbach, P. G., & Knight, J. (2007). **The Internationalization of Higher Education: Motivations and Realities**. *Journal of Studies in International Education*, 11(3–4), 290–305. <https://doi.org/10.1177/1028315307303542>

Alvarez-Garreton, C., Mendoza, P. A., Boisier, J. P., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A., Puelma, C., Cortes, G., Garreaud, R., McPhee, J., & Ayala, A. (2018). **The CAMELS-CL dataset: Catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset**. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5817–5846. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5817-2018>

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Bekele, D., Alamirew, T., Kebede, A., Zeleke, G., & Melesse, A. M. (2021). **Modeling the impacts of land use and land cover dynamics on hydrological processes of the Keleta watershed, Ethiopia**. *Sustainable Environment*, 7(1), 1947632. <https://doi.org/10.1080/27658511.2021.1947632>

Chen, X., Wang, W., & Xia, X. (2007). **Optimal disposition of water conservation forests in watershed**. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology*, 18(2), 267–271.

Clarivate. **Journal Impact Factor – 2023**. *Journal Citation Reports*. 2024. Disponível em: <https://clarivate.com/academia-government/scientific-and-academic-research/research-funding-analytics/journal-citation-reports/>. Acessado em abril de 2025.

de Castro-Pardo, M., Fernández Martínez, P., Pérez Zabaleta, A., & Azevedo, J. C. (2021). **Dealing with water conflicts: A comprehensive review of mcdm approaches to manage freshwater ecosystem services**. *Land*, 10(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.3390/land10050469>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). **How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines**. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Farooqi, T. J. A., Portela, R., Xu, Z., Pan, S., Irfan, M., & Ali, A. (2024). **Advancing forest hydrological research: Exploring global research trends and future directions through scientometric analysis**. *Journal of Forestry Research*, 35(1), 128. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01771-1>

Ferraz, S. F. de B., & Lima, W. de P. (2022). **Hidrologia florestal aplicada: Planejando as interações entre a floresta e a água**. São Paulo: Edusp. <https://repositorio.usp.br/item/003079039>

Gao, H., Fenicia, F., & Savenije, H. H. G. (2023). **HESS Opinions: Are soils overrated in hydrology?** *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(14), 2607–2620. <https://doi.org/10.5194/hess-27-2607-2023>

Giambelluca, T. W. (2002). **Hydrology of altered tropical forest**. *Hydrological Processes*, 16(8), 1665–1669. <https://doi.org/10.1002/hyp.5021>

Harrison-Atlas, D., Theobald, D. M., & Goldstein, J. H. (2016). **A systematic review of approaches to quantify hydrologic ecosystem services to inform decision-making**. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12(3), 160–171. <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1181105>

Hewlett, J. D. (1982). **Principles of forest hydrology**. University of Georgia Press; WorldCat.

Jiménez, M., Usma, C., Posada, D., Ramírez, J., Rogéliz, C. A., Nogales, J., & Spiro-Larrea, E. (2023a). **Planning and evaluating nature-based solutions for watershed investment programs with a smart perspective using a distributed modeling tool**. *Water*, 15(19), 3388. <https://doi.org/10.3390/w15193388>

Jiménez, M., Usma, C., Posada, D., Ramírez, J., Rogéliz, C. A., Nogales, J., & Spiro-Larrea, E. (2023b). **Planning and evaluating nature-based solutions for watershed investment programs with a smart perspective using a distributed modeling tool**. *Water*, 15(19), 3388. <https://doi.org/10.3390/w15193388>

Jones, J., Ellison, D., Ferraz, S., Lara, A., Wei, X., & Zhang, Z. (2022). **Forest restoration and hydrology**. *Forest Ecology and Management*, 520, 120342. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120342>

Junqueira Junior, J. A., De Mello, C. R., De Mello, J. M., Scolforo, H. F., Beskow, S., & McCarter, J. (2019). **Rainfall partitioning measurement and rainfall interception modelling in a tropical semi-deciduous atlantic forest remnant**. *Agricultural and Forest Meteorology*, 275, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.05.016>

Kale, G. D., Manekar, V. L., & Porey, P. D. (2012). **Watershed development project justification by economic evaluation: A case study of Kachhighati Watershed in Aurangabad District, Maharashtra**. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18(2), 101–111. <https://doi.org/10.1080/09715010.2012.662448>

Khan, M. O., D. Keesstra, S., Słowik-Opoka, E., Klamerus-Iwan, A., & Liaqat, W. (2025). **Determining the role of urban greenery in soil hydrology: a bibliometric analysis of nature-based solutions in urban ecosystem**. *Water*, 17(3), 322. <https://doi.org/10.3390/w17030322>

LaPoint, S., Balkenhol, N., Hale, J., Sadler, J., & Van Der Ree, R. (2015). **Ecological connectivity research in urban areas**. *Functional Ecology*, 29(7), 868–878. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12489>

Li, X., Cheng, G., Lin, H., Cai, X., Fang, M., Ge, Y., Hu, X., Chen, M., & Li, W. (2018). Watershed System Model: **The essentials to model complex human-**

nature system at the river basin scale. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(6), 3019–3034. <https://doi.org/10.1002/2017JD028154>

Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). **A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements.** *Expert Systems with Applications*, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>

McGuire, K. J., McDonnell, J. J., Weiler, M., Kendall, C., McGlynn, B. L., Welker, J. M., & Seibert, J. (2005). **The role of topography on catchment-scale water residence time.** *Water Resources Research*, 41(5), 2004WR003657. <https://doi.org/10.1029/2004WR003657>

Mukherjee, D., Lim, W. M., Kumar, S., & Donthu, N. (2022). **Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research.** *Journal of Business Research*, 148, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.04.042>

Neves, C. E. B., & Barbosa, M. L. de O. (2020). **Internationalization of higher education in Brazil: Advances, obstacles, and challenges.** *Sociologias*, 22, 144–175. <https://doi.org/10.1590/15174522-99656>

Nnaji, C. C., Onyekachi, M. N., Nwankwo, E. J., Emenike, P., Chibueze, C. V., & Ogarekpe, N. M. (2024). **Hydrological and morphometric characterization of anambra-imo river basin using remote sensing.** *Water Conservation Science and Engineering*, 9(1), 23. <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00249-9>

Pinto-López, I. N., Montaudon-Tomas, C. M., & Yáñez-Moneda, A. L. (2020). **Bibliometric analysis as a tool for research-based learning (rbl).** *Inted2020 Proceedings*, 7108–7116. 14th International Technology, Education and Development Conference. <https://doi.org/10.21125/inted.2020.1880>

Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Podsakoff, N. P., & Bachrach, D. G. (2008). **Scholarly influence in the field of management: a bibliometric analysis of the determinants of university and author impact in the management literature in the past quarter century.** *Journal of Management*, 34(4), 641–720. <https://doi.org/10.1177/0149206308319533>

Pohl, H. (2020). **Collaboration with countries with rapidly growing research: Supporting proactive development of international research collaboration.** *Scientometrics*, 122(1), 287–307. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03287-6>

Rousseau, R., Garcia-Zorita, C., & Sanz-Casado, E. (2023). **Publications during COVID-19 times: An unexpected overall increase.** *Journal of Informetrics*, 17(4), 101461. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2023.101461>

Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). **The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis.** *Scientometrics*, 126(6), 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>

- Srinivas, R., Das, B., & Singhal, A. (2022). **Integrated watershed modeling using interval valued fuzzy computations to enhance watershed restoration and protection at field-scale.** *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(5), 1429–1445. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02151-5>
- Sun, G., & Vose, J. (2016). **Forest management challenges for sustaining water resources in the anthropocene.** *Forests*, 7(3), 68. <https://doi.org/10.3390/f7030068>
- Tal-maon, M., Broitman, D., Portman, M. E., & Housh, M. (2024). **Combining a hydrological model with ecological planning for optimal placement of water-sensitive solutions.** *Journal of Hydrology*, 628, 130457. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130457>
- Tundisi, J. G., & Tundisi, T. M. (2016). **Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: Case studies from Brazil.** *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16(2), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.006>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping.** *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wang Xiaoxue, 王晓学, Shen Huitao, 沈会涛, Li Xuyong, 李叙勇, & Jing Feng, 景峰. (2013). **Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales.** *Acta Ecologica Sinica*, 33(4), 1019–1030. <https://doi.org/10.5846/stxb201206130852>
- Wang, H., Hu, S., & Kao, C. (1998). **An economic evaluation of two watershed management practices in taiwan.** *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(3), 595–605. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb00957.x>
- Webber, J. L., Fletcher, T., Farmani, R., Butler, D., & Melville-Shreeve, P. (2022). **Moving to a future of smart stormwater management: A review and framework for terminology, research, and future perspectives.** *Water Research*, 218, 118409. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118409>
- Xia, J., Dong, Y., & Zou, L. (2022). **Developing socio-hydrology: Research progress, opportunities and challenges.** *Journal of Geographical Sciences*, 32(11), 2131–2146. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-2040-3>
- Zhang Biao, Wen-hua, L. I., Gao-di, X. I. E., & Yu, X. (2009). **Water conservation function and its measurement methods of forest ecosystem.** *Chinese Journal of Ecology*, 28(03), 529.
- Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., Ning, D., Hou, Y., & Liu, S. (2017). **A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and**

hydrological regime. *Journal of Hydrology*, 546, 44–59.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>

Capítulo II - Morfometria de sub-bacias em áreas de pré e pós mineração, subsídios para análises integradas

1- Resumo

A complexidade dos processos hidrológicos desafia cientistas na busca de subsídio para intervenções ambientais e políticas públicas de gestão dos recursos hídricos e conservação florestal dentro das bacias hidrográficas. Além disso, a confecção de estratégias específicas e alcançáveis, são limitadas a aplicação prática de tecnologias no manejo das bacias. Em virtude das mudanças climáticas, tornou-se crucial compreender as nuances da relação água-floresta, a fim de preencher lacunas e aprimorar o conhecimento dos processos hidrológicos assegurando a conservação dos recursos hídricos e favorecer intervenções sustentáveis. Simultaneamente, a proliferação de ferramentas tecnológicas, fruto do progresso acelerado, intensificam os desafios, ao apresentar uma infinidade de soluções para questões fundamentalmente persistentes. O projeto propõe caracterizar a superfície do terreno em duas áreas associadas à intervenção minerária, utilizando parâmetros morfométricos relacionados à dinâmica da água e, conseqüentemente, à sua conservação. E, foi através do processamento do modelo digital de elevação com resolução de 30 metros que foi possível determinar os parâmetros e planejar uma expedição para localização de nascentes. A bacia compreendida na área de influência das licenças minerárias tem o Rio Preto como principal afluente. Possui uma área de 184,11 Km², declividade média 17,78°, densidade de drenagem 2,58 Km/Km², coeficiente de compacidade 2,1, denotando uma bacia retangular- oblonga. Fator de forma 0,343, caracterizada como alongada. Ordem da bacia igual a 5. A bacia na área de influência das Reservas Particulares do Patrimônio Natural tem o Rio Novo como principal. Possui uma área de 158,57Km², com perímetro de 90,02 Km, declividade média 14,62°, densidade de drenagem 2,77 Km/Km², coeficiente de compacidade 2,02, bacia retangular-oblonga. Fator de forma 0,606, sendo classificada como intermediária. Ordem igual a 7. Dentro destas áreas de influência, foram encontradas 57 sub-bacias e classificados os parâmetros morfométricos. Concluímos que é fundamental a utilização de Sistemas de Informação Geográfica na concepção de estratégias exequíveis e modeláveis, priorizando a conservação da água em sub-bacias hidrográficas.

2- Introdução

A complexidade dos processos hidrológicos desafia cientistas na busca de alternativas para intervenções ambientais e políticas públicas de gestão dos recursos hídricos e conservação da sua dinâmica. Em virtude das mudanças climáticas, tornou-se crucial compreender as nuances da relação água-floresta, a fim de correlacionar o conhecimento existente e aprimorar processos ecossistêmicos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial assegurando a sustentabilidade dos recursos hídricos e a regulação dos processos ecológicos relacionados. O conhecimento da integração de fatores hidrológicos e ecológicos pode orientar ações mais consistentes e equilibradas de conservação da dinâmica da água no processo de intervenção ambiental, somado a utilização de ferramentas adequadas de geoprocessamento permite transformar percepções espaciais complexas em resoluções eficientes (Tal-maon et al., 2024).

O expoente avanço tecnológico, de certa forma, não acompanhou a sua aplicação no dia-a-dia das pessoas, evidencia a revista *Nature* quando expõem cientistas e organizações científicas, alegando “negligência” por não se empenharem em resolver problemas sociais, de cunho geral (“Researchers Should Reach beyond the Science Bubble”, 2017). Isso nos instiga a perguntar: “Por que não temos soluções mais eficientes apesar de toda tecnologia disponível?”. No caso específico da hidrologia florestal por exemplo, a capacidade atual dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a qualidade de dados disponíveis permitiu a criação de modelos mais sofisticados na compreensão dos processos hidrológicos e maior assertividade nas análises e intervenções no espaço das bacias hidrográficas, inclusive no potencial de previsão e modelagem de eventos extremos, ainda com algumas limitações (Sun et al., 2023). Paradoxalmente, a proliferação dessas ferramentas tecnológicas que deveriam trazer subsídios para a resolução de problemas e facilidade na tomada de decisão pelas autoridades competentes, intensificou os desafios, ao apresentarem uma infinidade de soluções para questões fundamentalmente persistentes, além de aumentarem a busca por aperfeiçoamento de modelos e não teorias novas ou soluções realmente efetivas (McDonnell et al., 2007).

O desafio atual para a conservação dos recursos hídricos é conciliar variáveis distintas ao espaço de trabalho trazendo uma compensação positiva, ou pelo menos neutra, entre os fatores natureza-humano afim de mitigar os impactos negativos das intervenções ambientais (Sun & Vose, 2016). A confecção de estratégias específicas e alcançáveis, na prática, é escassa no que tange o manejo de bacias hidrográficas, visto a dificuldade de associação dos componentes relacionados a dinâmica da água com outros processos do ecossistema da bacia (Jiménez et al., 2023; Webber et al., 2022).

Cada bacia hidrográfica detém geomorfologia única, além da heterogeneidade do uso e ocupação do solo em sua área. Sendo assim, sua gestão, quando assumem grandes dimensões, é economicamente inviável e ineficiente (Bharath et al., 2021; Ghosh & Gope, 2021). As sub-bacias, áreas menores e afluentes do rio principal, são a alternativa por proporcionarem maior acessibilidade a planos de manejo integrado, correlacionando processos ecossistêmicos para aprimorar a coevolução água-terra-ar-planta-humano. Essa abordagem integrada poderá otimizar o manejo dos processos hídricos atendendo as necessidades humanas e gerando valor ecossistêmico à cada intervenção (de Castro-Pardo et al., 2021; Li et al., 2018).

O levantamento de dados geoespaciais é uma etapa essencial para subsidiar intervenções e o manejo de bacias hidrográficas. Mesmo variáveis distintas e complexas podem ser integradas de forma eficiente, impulsionadas pelos avanços computacionais da última década. As análises multivariadas integradas a inteligência artificial, redes neurais e sistemas de aprendizado de máquina, têm contribuído para diversos campos científicos ao permitir tanto o rigor na interpretação dos processos quanto a tradução dos resultados em informações mais acessíveis (Izenman, 2013).

No caso da conservação da água em sub-bacias hidrográficas, esse rigor está vinculado à análise crítica da dinâmica da água, como discutido por Hewlett (1982), ao caracterizar os processos hidrológicos através do tempo de residência dos diferentes tipos de escoamento da água. Já no âmbito da tradução dos dados, abordagens como as aproximações fuzzy podem reduzir erros de interpretação dos parâmetros morfométricos e ajustá-los à realidade das sub-bacias, tornando-os mais compreensíveis e aplicáveis em diferentes contextos sociais e intervenções minerárias (Liu et al., 2020; Quiroz Londoño et al., 2016; Senent-Aparicio et al., 2017).

O processamento geoespacial de sub-bacias, somado à caracterização morfométrica e a ferramentas de análise multivariada, trouxe resultados distintos, que contemplam desde a drenagem espacial da água, caracterização de sub bacias e a classificação destas com prioridade de manejo até a própria comparação da qualidade de dados geoespaciais devido a quantidade disponível (Bharath et al., 2021; Ghosh & Gope, 2021; Joshi et al., 2021; Malik et al., 2019; Nnaji et al., 2024; Raj & Rawat, 2024; Sangma & Guru, 2020; Sridhar & Ganapuram, 2021). Estes resultados subsidiaram gestores com foco na preservação ambiental e favorecem o desenvolvimento socioeconômico de comunidades e municípios adjacentes às bacias hidrográficas, isso inclui o acesso a água potável, segurança alimentar, geração de renda, criação de empregos em atividades sustentáveis e valorização do patrimônio cultural e identitário das comunidades (Garzon, Luis F. L. et al., 2023; Katie Price et al., 2011; Pinheiro et al., 2011; Samal et al., 2015; Srinivas et al., 2022; Tonello et al., 2006).

Como o desenvolvimento e expansão territorial estimulam a exploração de novas áreas, no que tange ao uso e ocupação do solo, as análises geoespaciais são imprescindíveis para o planejamento estratégico e a identificação de alterações que podem impactar a dinâmica da água, sendo as florestas o componente fundamental nesse contexto (Alexander J. Hernandez et al., 2018; Su et al., 2025).

Nas palavras de Ferraz & Lima (2022), o principal papel das florestas, hidrológicamente, é a transferência da água entre os compartimentos do sistema através dos processos de interceptação e de evapotranspiração, além de fornecer matéria orgânica no condicionamento hidrológico e proteção do solo. As florestas influenciam a qualidade da água e beneficiam os processos hidrológicos quando comparado a outras formas de uso e ocupação (Caldwell et al., 2023). No Brasil e em outros países tropicais, onde as florestas são ponto chave para o funcionamento da hidrologia das bacias (Mello et al., 2018; Michael S. Netzer et al., 2019), o processamento das imagens de satélite somado o planejamento geoespacial das florestas é crucial para o monitoramento, análise e gestão eficaz das sub-bacias.

O Brasil através da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o órgão nacional regulador dos recursos hídricos, divulgou no último ano a atualização periódica da situação da gestão dos recursos hídricos no país, o Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023 (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024). Neste documento destacou-se a crescente demanda pela água ao

longo dos anos e entre 2022 e 2040, e aponta para a expansão de uso de 1 bilhão e 290 milhões de metros cúbicos de água médios ao ano, com proeminência da agricultura irrigada, que denota uma capacidade de recarga que extrapola a realidade da gestão das bacias nacionais (Pasqualetto et al., 2022).

As diferenças na disponibilidade de água se manifestam em diversos contextos: regiões áridas densamente povoadas, áreas de elevada pluviosidade, mas com população dispersa, territórios altamente urbanizados com grande demanda para usos industriais e domésticos, além de sistemas agrícolas, tanto intensivos quanto familiares (ANA, 2024). Essas disparidades podem ser atenuadas com estratégias de utilização do espaço apoiadas por ferramentas de SIG (Mashala et al., 2023) e complementadas por abordagens que integram a avaliação de serviços ecossistêmicos aos parâmetros morfométricos, permitindo uma quantificação mais detalhada das incertezas (Alshehri et al., 2024).

Embora a ênfase recaia predominantemente no tratamento de sintomas, ou seja, na mitigação dos impactos após a intervenção humana, em vez da atuação direta sobre as causas (Harrison-Atlas et al., 2016), é notório a relevância das florestas para a manutenção dos processos hidrológicos (United States & Zon, 1927). Esse reconhecimento reforça a necessidade de aprofundar a compreensão científica dos processos e aplicar ferramentas analíticas adequadas para orientar intervenções. Nesse contexto, a caracterização morfométrica das sub-bacias surge como uma abordagem fundamental, pois permite integrar atributos da superfície à dinâmica hidrológica e, assim, subsidiar estratégias de conservação. Este trabalho tem como objetivo caracterizar duas áreas relacionadas à mineração, considerando a morfometria das sub-bacias de modo a favorecer a conservação dos recursos hídricos a partir dos dados obtidos pelo processamento de imagens de satélite.

3- Objetivo

Caracterização morfométrica de sub-bacias hidrográficas presentes nas áreas de influência dos rios principais relacionados a Licenças minerárias e a Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN).

4- Objetivos específicos

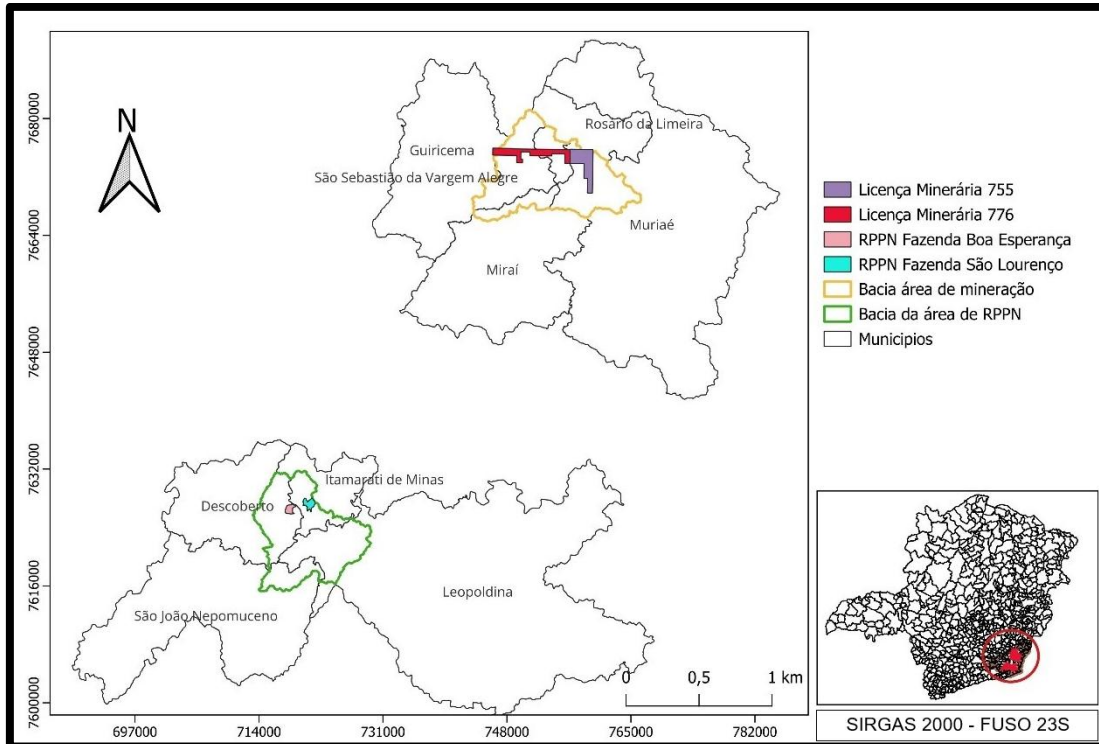
- Encontrar indícios da conservação da água na RPPN através dos dados morfométricos;
- Comparação entre a peculiaridade morfométrica das áreas de pré e pós mineração.

5- Metodologia

5.1- Áreas de estudo

A área de estudo foi dividida entre minerárias e recuperadas, ou seja, pré e pós mineração, nomeadas como: A bacia das Licenças de Direito Minerário e a bacia das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), respectivamente. As bacias hidrográficas estão situadas dentro da Zona da Mata Mineira, e intersectam cinco municípios referentes às licenças minerárias: Guiriciema, São Sebastião da Varge Alegre, Rosário de Limeira, Miraí e Muriaé; e quatro referentes às RPPN: Descoberto, Itamarati de Minas, Leopoldina e São João Nepomuceno, Figura 1. Nesta região o clima é do tipo Cwb com verão chuvoso segundo Koppen (Alvares et al., 2013). O bioma predominante é a mata atlântica e latossolo característico (*IDE-Sisema | Metadados*, [s.d.]) e a temperatura média anual é de 22° a 24°C (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2025).

Figura 1 - Licenças de direito minerário, Reservas Particulares do Patrimônio Nacional (RPPN), áreas de estudo e municípios.

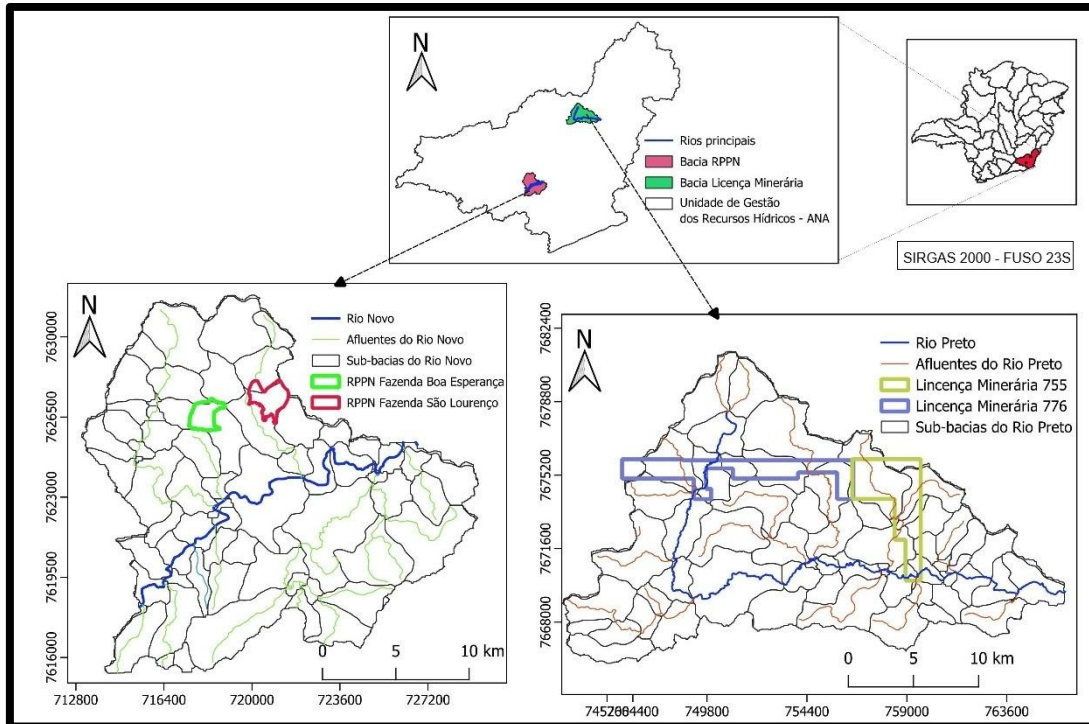


Fonte: O autor.

5.2- Área de inserção das Sub-bacias

A bacia do Rio Paranaíba do Sul ocupa três estados do Sudeste e engloba 184 municípios, totalizando aproximadamente 62.100 Km² de área de drenagem. Ela é subdividida em sete áreas de gestão, duas delas pertencem ao estado de Minas Gerais (Paiva, 2020). As bacias do Rio Preto e Rio Novo estão circunscritas na área hidrográfica dos afluentes mineiros do rio Paranaíba, os rios Pomba e Muriaé, no perímetro da delimitação de Gestão de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). As Unidades de Gestão seguidas das bacias hidrográficas referentes à área de captação dos respectivos rios vinculados às Licenças minerárias e RPPN, estão representados na Figura 2. As sub-bacias analisadas neste estudo são apenas aquelas que interseccionamos polígonos da área da licença e de proteção, ou seja, àquelas que influenciam diretamente na dinâmica hídrica da bacia.

Figura 2 - Unidades de Gestão dos Recursos Hídricos do estado de Minas Gerais, rios principais e sub-bacias referentes à zona de captação das áreas de estudo de acordo com dados geoespaciais da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA).



Fonte: O autor.

5.3- Coleta de dados espaciais

Os Catálogos de Metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Agência Nacional de Mineração foram utilizados concomitantemente com os dados da plataforma Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA) para aquisição das limitações geopolíticas, dos dados geoespaciais e hidrográficos das bacias e os polígonos referentes às licenças minerárias e RPPN (Catálogo de Metadados ANA, 2013; IDE-SISEMA, 2022). O modelo digital de elevação (MDE) para cálculos matriciais foi obtido pelo plug-in Open Topography, da coleção Copernicus Global Digital Elevation Models e utilizada a resolução de 30 metros (OpenTopography, 2021). O mapa de uso e ocupação do solo foi extraído da Coleção 9 do MapBiomas, com resolução de 10 metros (Projeto MapBiomas, 2025).

5.4- Parâmetros morfométricos

Foram considerados os parâmetros Área da bacia (Km²), Perímetro da bacia (Km), Comprimento da bacia (Km), Altura da bacia (Km), Relevo (m), Elevação média (m.a.n), Declividade média da bacia (graus), Declividade média da bacia (%),

Densidade de drenagem (km/km^2), Índice de Circularidade, Coeficiente de compacidade - Gravelius, Fator de forma, Ordem da bacia e Tempo de Concentração - Kirpich (h). Com valores respectivamente extraídos pelo algoritmo do plugin ArcGeek Calculator (Pucha-Cofrep, Franz., 2025/2024).

5.5- Dados de campo

Dentro das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), os parâmetros morfométricos foram empregados para orientar a identificação de indícios da conservação da água na qualidade de nascentes. Utilizando como base, as nascentes catalogadas no Plano de Manejo de cada reserva e, através do módulo “Channel Network and Drainage Basins” da ferramenta System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) QGIS, encontramos pontos de convergência do relevo, os quais denotam a possibilidade da presença de nascente (Raja Shekar & Mathew, 2024; R. Zhang et al., 2024). Em seguida, sobre o polígono das RPPN, Fazenda Boa Esperança e Fazenda São Lourenço, foi criado linhas de grade, com a ferramenta vetorial “Criar grade”, com espaçamentos vertical e horizontal de 30 metros, para orientar o percurso durante a busca ativa de nascentes em campo.

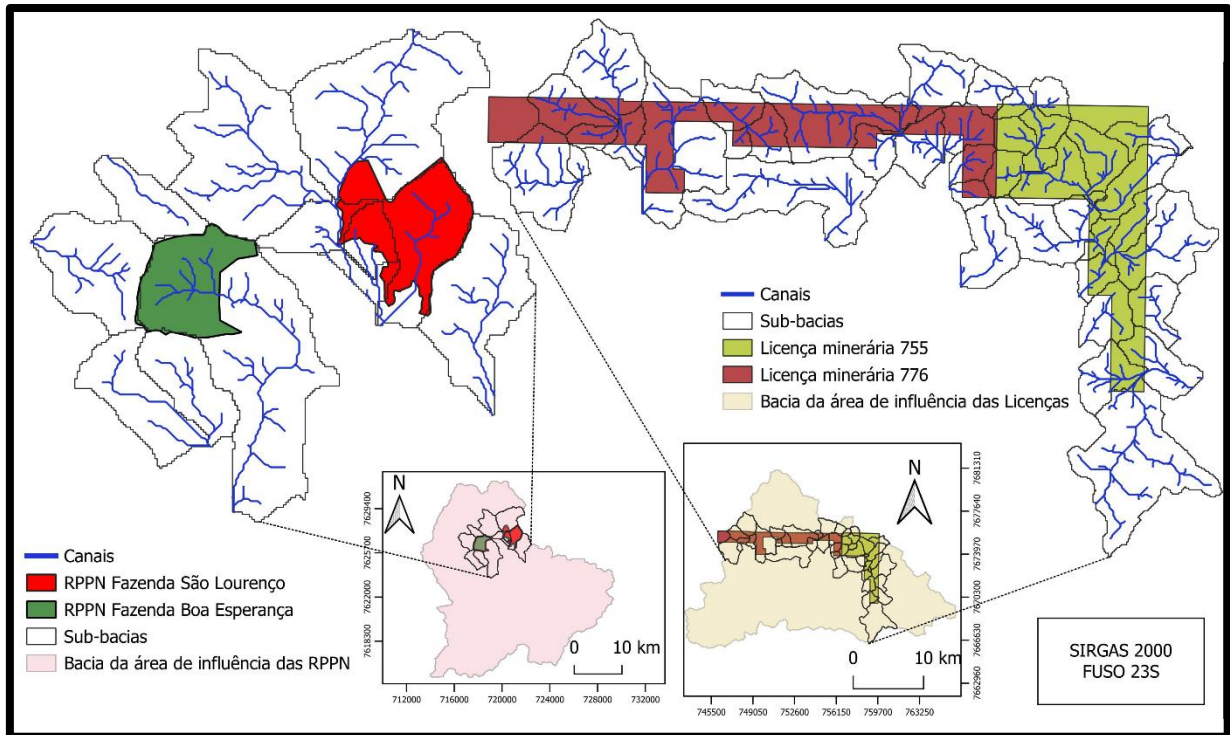
5.6- Processamento dos dados

O software QGIS versão 3.40 foi utilizado no processamento e análise espacial, considerando o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) SIRGAS 2000/UTM 23S. As camadas adquiridas foram reprojetadas para o fuso de trabalho 23S utilizando a ferramenta “Reprojetar Camada”. A correção do Modelo Digital de Elevação (MDE) precedeu todas as análises e cálculos que, através da ferramenta “Fill Sinks (Wang & Liu)” no ambiente SAGA, houve o preenchimento das depressões e preservação do gradiente mínimo de declividade (Wang & Liu, 2006). Após a preparação do MDE, a ferramenta “Channel Network and Drainage Basins” foi utilizada com a configuração do limiar (Threshold) igual a “4”, para confecção mais detalhada dos canais e drenagem. Através destes, para a delimitação das sub-bacias foi utilizado o módulo “Watershed Basins (Extended)”, com configuração padrão, a fim de se alcançar o maior número de sub-bacias e conservando a escala do MDE de 30m (Conrad et al., 2015; Olaya & Conrad, 2009). Ao final, o plug-in ArcGeek Calculator, foi utilizado para cálculo dos parâmetros morfométricos e hipsometria (Pucha-Cofrep, Franz., 2025/2024).

6- Resultados

A partir do processamento dos dados espaciais, foram encontradas 57 sub-bacias. Das quais 45 estão associadas ao polígono de licenças minerárias e 12 referentes a área de influência das RPPN, como na Figura 03.

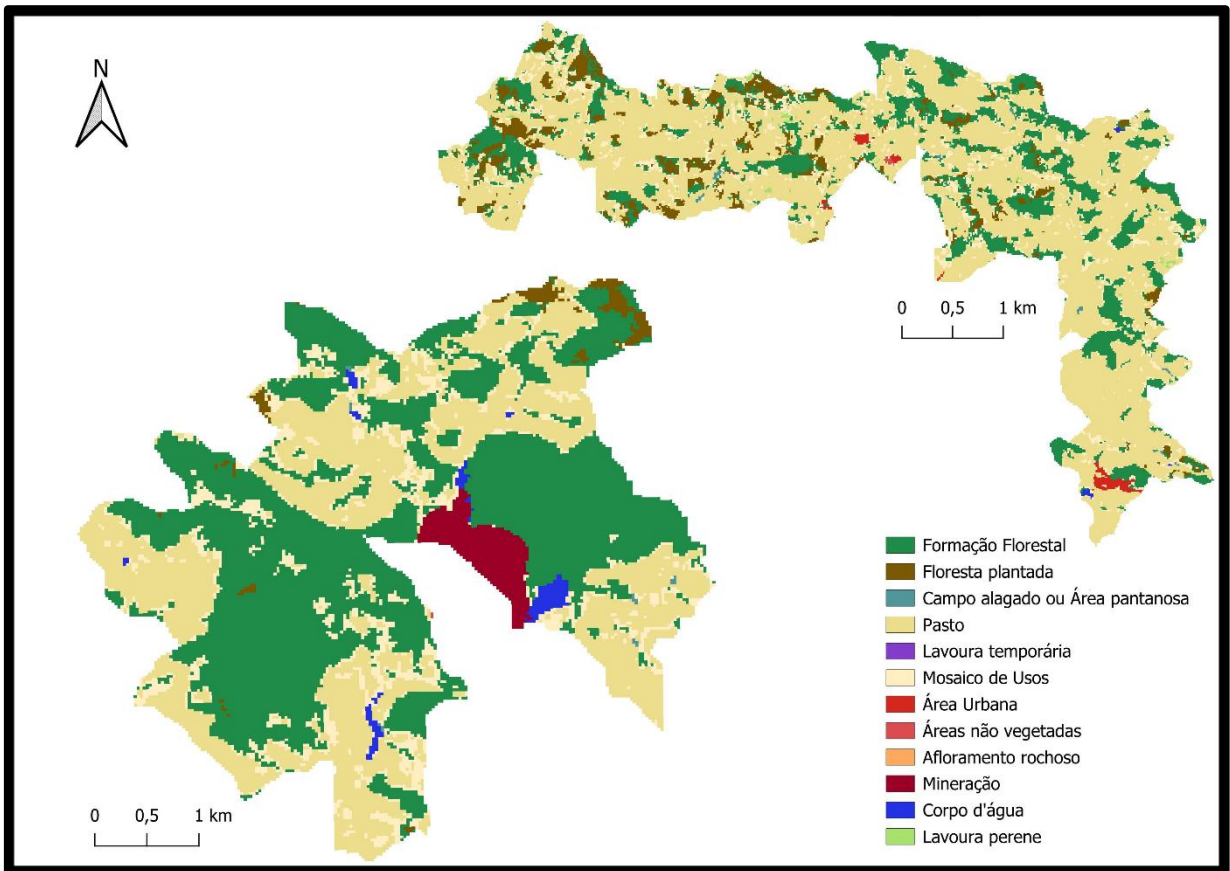
Figura 3- Representação das sub-bacias que condizem com as áreas de influência dos polígonos de Licença de direito minerário e Reservas Particulares do Patrimônio Natural, com respectivos canais e bacias.



Fonte: O autor.

O uso e ocupação do solo entre as sub-bacias apresenta grandes diferenças quando consideramos as bacias, Figura 4. As áreas de reserva apresentam formação florestal em abundância além de uma antiga barragem de rejeito, representada em vermelho magenta. Em contrapartida, a região de licença minerária concentra grandes áreas de pasto, florestas plantadas, áreas urbanas e formações florestais pouco conectadas.

Figure 4- Mapa de uso e ocupação do solo das sub-bacias dentro das áreas de influência.



Fonte: Adaptado de Map Biomas, Coleção 09 com 10m de resolução.

A morfometria das bacias segue de acordo com as Tabelas 2 e 3. Estão listadas por parâmetro, valor, unidade e interpretação segundo Franz Pucha-Cofrep (2024). A bacia compreendida na área de influência das licenças minerárias tem como rio principal o Rio Preto. Possui uma área de 184,11 Km², com perímetro de 101,61 Km. Declividade média 17,78°. Densidade de drenagem 2,58 Km/Km². Coeficiente de Compacidade segundo Gravelius 2,11, bacia retangular- oblonga. Fator de forma 0,343, bacia alongada. Ordem da bacia igual a 5.

Tabela 2 - Parâmetros morfométricos e respectivos valores, unidades e interpretação, referente à bacia da área de influência das Licenças Minerárias.

Parâmetro	Valor	Unidade	Interpretação
Área da Bacia (A)	184,1076	km ²	Bacia de médio porte
Perímetro (P)	101,609	km	Perímetro da bacia
Comprimento da Bacia (Lb)	23,1245	km	Comprimento da bacia
Largura da Bacia (B)	7,9616	km	Largura da bacia
Relevo (H)	1143,4486	m	Relevo muito alto, indicando terreno montanhoso
Elevação Média	734,8909	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação média da bacia
Elevação Mínima	230,1892	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação mínima da bacia
Elevação Máxima	1373,6378	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação máxima da bacia
Elevação Inicial (Canal Principal)	735,3857	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação no início do canal principal
Elevação Final (Canal Principal)	233,6553	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação no final do canal principal
Declividade média da Bacia (graus)	17,7847	graus	Íngreme

Declividade média da Bacia (porcentagem)	32,077	%	Íngreme
Declividade do Canal Principal (Pontos Finais)	1,8339	%	Declive suave
Declividade Compensada do Canal	0,0183	m/m	Declive compensado do canal calculado por regressão linear
Declividade Compensada do Canal (%)	1,8284	%	Declive compensado suave
Densidade de Drenagem (Dd)	2,5843	km/km ²	Textura de drenagem fina
Frequência do Fluxo (Fs)	9,4347	canais/km ²	Frequência de fluxo muito alta
Razão de Alongamento (Re)	0,6621		Formato oval
Razão de Circularidade (Rc)	0,2241		Formato fortemente alongado
Coefficiente de Compactação de Gravelius (Kc)	2,1125		Formato retangular-oblongo
Fator de Forma (Ff)	0,3443		Formato alongado, baixa suscetibilidade a enchentes repentinas
Fator de Forma de Horton	0,3443		Formato da bacia ligeiramente alongado
Razão de Alongamento de Schumm	0,6621		Bacia menos alongada
Comprimento do Fluxo Superficial (Lo)	0,1935	km	Comprimento curto do escoamento superficial, indicando alta densidade de drenagem

Constante de Manutenção do Canal (C)	0,3869	km ² /km	Baixa constante de manutenção do canal, indicando alta densidade de drenagem
Número de Rugosidade (Rn)	2,955		Robustez extremamente alta
Tempo de Concentração - Kirpich (Tc)	3,9542	horas	Tempo moderado de concentração
Tempo de Concentração - Kerby (Tc)	1,5983	horas	Tempo curto de concentração
Tempo de Concentração - Giandotti (Tc)	3,5233	horas	Tempo moderado de concentração
Tempo de Concentração - Témez (Tc)	1,7352	horas	Tempo curto de concentração
Tempo de Concentração - USDA (Tc)	13,4738	horas	Tempo longo de concentração, indicando resposta lenta à precipitação
Tempo de Concentração - Passini (Tc)	25,5236	horas	Longo tempo de concentração, indicando resposta lenta à precipitação
Tempo de Concentração - Ventura-Heras (Tc)	14,9189	horas	Longo tempo de concentração, indicando resposta lenta à precipitação
Tempo de Concentração - Bransby-Williams (Tc)	2,2056	horas	Curto tempo de concentração
Tempo de Concentração - Johnstone-Cross (Tc)	6,5718	horas	Longo tempo de concentração, indicando resposta lenta à precipitação
Tempo de Concentração - Clark (Tc)	3,1163	horas	Tempo moderado de concentração

Razão de Bifurcação (Rb)	1,9784		Baixa razão de bifurcação, indicando litologia uniforme e declives suaves
Ordem dos Fluxos	5		Maior ordem de fluxo (Strahler): 5
Comprimento Médio do Fluxo (Lm)	0,2739	km	Comprimento médio dos fluxos
Intensidade de Drenagem (Id)	3,6507		Intensidade de drenagem muito alta
Gradiente do Canal Principal	41,7939	m/km	Canal com gradiente alto
Sinuosidade do Canal Principal	1,1831		Canal sinuoso
Comprimento do Canal Principal (Lc)	27,3592	km	Comprimento do canal principal
Comprimento Total dos Canais (Lt)	475,7933	km	Comprimento total de todos os canais
Número de Fluxos (Nu)	1737		Número total de fluxos
Textura de Drenagem (Dt)	17,0949		Textura de drenagem muito fina
Número de Infiltração (If)	24,3823		Número de infiltração muito alto
Razão de Aptidão (Rf)	0,2693		Razão de aptidão moderada
Fator de Assimetria (Af)	0,5		Inclinação significativa para a direita (olhando para jusante)
Coeficiente Orográfico (Oc)	210,5176		Alta influência orográfica
Índice de Massividade	3,9916	m/km ²	Baixa massividade, indicando terreno relativamente plano

Densidade de Junção	9,4347	junções/km ²	Alta densidade de junções
Coeficiente de Armazenamento	0,1415	km	Baixa capacidade de armazenamento
Integral Hipsométrica (HI)	0,3685	adimensional	Estágio maduro

Fonte: O autor, através da ferramenta ArcGeek Calculator (QGIS).

A bacia na área de influência das RPPN tem o Rio Novo como principal. Possui uma área de 158,57Km², com perímetro de 90,02Km, declividade média 14,62°, densidade de drenagem 2,77 Km/Km², coeficiente de compacidade segundo Gravelius 2,02 (bacia retangular- oblonga), fator de forma 0,606 (bacia intermediária) e ordem da bacia igual a 7.

Tabela 3 - Parâmetros morfométricos e respectivos valores, unidades e interpretação, referente à bacia da área de influência das Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

Parâmetro	Valor	Unidade	Interpretação
Área da Bacia (A)	158,5679	km ²	Bacia de médio porte
Perímetro (P)	90,0251	km	Perímetro da bacia
Comprimento da Bacia (Lb)	16,1795	km	Comprimento da bacia
Largura da Bacia (B)	9,8006	km	Largura da bacia
Relevo (H)	643,0605	m	Relevo muito alto, indicando terreno montanhoso
Elevação Média	430,8801	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação média da bacia
Elevação Mínima	249,1412	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação mínima da bacia
Elevação Máxima	892,2017	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação máxima da bacia

Elevação Inicial (Canal Principal)	250,5915	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação no início do canal principal
Elevação Final (Canal Principal)	249,1966	m a.s.l. (metros acima do nível do mar)	Elevação no final do canal principal
Declividade média da Bacia (graus)	14,6177	graus	Íngreme
Declividade média da Bacia (porcentagem)	26,081	%	Íngreme
Declividade do Canal Principal (Pontos Finais)	0,1739	%	Declive muito suave
Declividade Compensada do Canal	0,0017	m/m	Declive compensado do canal calculado por regressão linear
Declividade Compensada do Canal (%)	0,1736	%	Declive compensado muito suave
Densidade de Drenagem (Dd)	2,7712	km/km ²	Textura de drenagem fina
Frequência do Fluxo (Fs)	9,1822	canais/km ²	Frequência de fluxo muito alta
Razão de Alongamento (Re)	0,8782		Formato circular
Razão de Circularidade (Rc)	0,2459		Formato fortemente alongado
Coefficiente de Compactação de Gravelius (Kc)	2,0168		Formato retangular-oblongo
Fator de Forma (Ff)	0,6057		Formato intermediário
Fator de Forma de Horton	0,6057		Formato normal da bacia

Razão de Alongamento de Schumm	0,8782		Bacia oval
Comprimento do Fluxo Superficial (Lo)	0,1804	km	Comprimento curto do escoamento superficial, indicando alta densidade de drenagem
Constante de Manutenção do Canal (C)	0,3609	km ² /km	Baixa constante de manutenção do canal, indicando alta densidade de drenagem
Número de Rugosidade (Rn)	1,7821		Alta rugosidade
Tempo de Concentração - Kirpich (Tc)	0,6465	horas	Tempo de concentração muito curto, indicando resposta rápida à precipitação
Tempo de Concentração - Kerby (Tc)	2,3447	horas	Tempo de concentração curto
Tempo de Concentração - Giandotti (Tc)	2,5422	horas	Tempo de concentração curto
Tempo de Concentração - Témez (Tc)	0,0759	horas	Tempo de concentração muito curto, indicando resposta rápida à precipitação
Tempo de Concentração - USDA (Tc)	10,4548	horas	Tempo de concentração longo, indicando resposta lenta à precipitação
Tempo de Concentração - Passini (Tc)	0,7679	horas	Tempo muito curto de concentração, indicando resposta rápida à precipitação
Tempo de Concentração - Ventura-Heras (Tc)	4,6108	horas	Tempo moderado de concentração

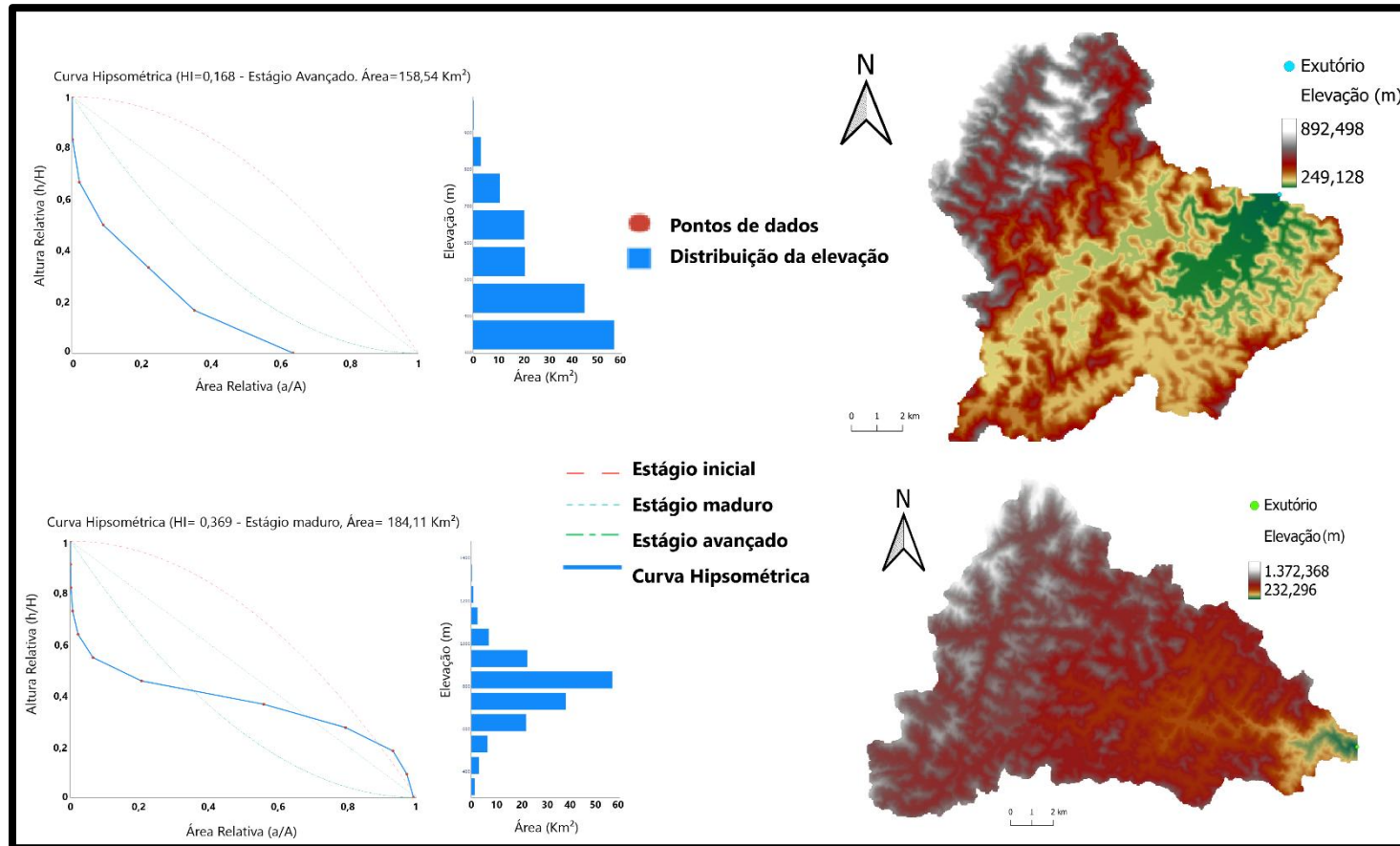
Tempo de Concentração - Bransby-Williams (Tc)	0,1051	horas	Tempo muito curto de concentração, indicando resposta rápida à precipitação
Tempo de Concentração - Johnstone-Cross (Tc)	2,0275	horas	Tempo curto de concentração
Tempo de Concentração - Clark (Tc)	5,7345	horas	Tempo moderado de concentração
Razão de Bifurcação (Rb)	1,9729		Baixa razão de bifurcação, indicando litologia uniforme e declives suaves
Ordem dos Fluxos	7		Maior ordem de fluxo (Strahler): 7
Comprimento Médio do Fluxo (Lm)	0,3018	km	Comprimento médio dos fluxos
Intensidade de Drenagem (Id)	3,3134		Intensidade de drenagem muito alta
Gradiente do Canal Principal	801,8365	m/km	Canal com gradiente alto
Sinuosidade do Canal Principal	0,0496		Canal quase reto
Comprimento do Canal Principal (Lc)	0,802	km	Comprimento do canal principal
Comprimento Total dos Canais (Lt)	439,4277	km	Comprimento total de todos os canais
Número de Fluxos (Nu)	1456		Número total de fluxos
Textura de Drenagem (Dt)	16,1733		Textura de drenagem muito fina
Número de Infiltração (If)	25,4459		Número de infiltração muito alto

Razão de Aptidão (Rf)	0,0089		Baixa razão de aptidão, indicando rede de drenagem ineficiente
Fator de Assimetria (Af)	0,5		Inclinação significativa para a direita (olhando para jusante)
Coefficiente Orográfico (Oc)	101,9688		Alta influência orográfica
Índice de Massividade	2,7173	m/km ²	Baixa massividade, indicando terreno relativamente plano
Densidade de Junção	9,1822	junções/km ²	Alta densidade de junções
Coefficiente de Armazenamento	0,1231	km	Baixa capacidade de armazenamento
Integral Hipsométrica (HI)	0,1676	adimensional	Estágio antigo

Fonte: Adaptado ArcGeek Calculator (QGIS).

A hipsometria, Figura 05, representa o estágio de maturidade das bacias e o comportamento do relevo em cada uma. A bacia das RPPN está em estágio avançado de maturidade e apresenta maior elevação ao norte e extremo sul. O percurso até o exutório segue pela região central e finaliza no sudeste. A bacia das licenças minerárias apresenta estágio médio de maturidade e um perfil de elevação que se distribui decrescente de oeste para leste, onde encontra-se o exutório.

Figura 5- Mapa de elevação, curva hipsométrica e perfil de elevação das bacias da área de influência da RPPN e Licença minerária respectivamente.



Fonte: O autor, através da ferramenta ArcGeek Calculator (QGIS).

As 57 sub-bacias delimitadas e os respectivos parâmetros morfométricos encontram-se no Anexo I deste estudo. A Tabela 4 contém a valores estatísticos de cada parâmetro considerado na caracterização das sub-bacias referentes às licenças minerárias. A que apresenta maior área é a 86, com 5,06 Km²; a menor é a 171, com 0,23 Km². A que mantém o maior perímetro é a 86, com 16,05 Km; o menor perímetro, 2,51 Km é atribuído à sub-bacia número 189. A de maior comprimento entre elas é a 86, com 3,85 Km; a menor é a 175, com 0,55 Km. A maior sub-bacia em largura é a 175, com 1,49 Km, a menor é a 171, com 0,29 Km. A sub-bacia com o relevo maior é a 187, com 408,71 m; a menor é 185, com 106,96 m de altura. A elevação média maior é atribuída a 187, assumindo 962,79 metros acima do nível do mar; a menor é 87, com 553,49 metros acima do nível do mar. A declividade média maior é a da sub-bacia número 171, com 25,12°; a menor é a 176 com 9,88°. A sub-bacia com maior densidade de drenagem é a 185, com 3,50; a menor é a 189, com 1,68. Índice de circularidade maior é atribuído a 180, com 0,5958; a menor é a 155, com 0,233. O maior coeficiente de compacidade é 2,0715, associado à sub-bacia 155; o menor é 1,2955, atribuído a 180. O fator de forma menor é 0,2252, referente a sub-bacia 163; o maior é 0,9717, sub-bacia 175. A maior ordem está associada às sub-bacias 77, 87 e 161, de ordem 5; a 169 apresenta a menor, ordem 1. A sub-bacia com maior tempo de concentração é a 77, com 1,02 h; a com menor tempo é a 171, 0,03h.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros morfométricos considerados na caracterização das sub-bacias das áreas de licença minerária.

	<i>Média</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância da amostra</i>	<i>Curtose</i>	<i>Assimetria</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Área da bacia (Km²)	1,2343	0,1704	0,8546	1,1042	1,2192	3,7285	1,9771	0,2386	5,0611
Perímetro (Km)	6,0577	0,4686	5,6094	3,0369	9,2231	3,1091	1,6474	2,5172	16,0528
Comprimento da bacia (Km)	1,5328	0,1119	1,3871	0,7252	0,5259	1,9708	1,3650	0,5524	3,8578
Largura da bacia (Km)	0,7054	0,0439	0,6706	0,2843	0,0808	0,8327	1,1075	0,2913	1,4971
Relevo (m)	228,021 6	11,2880	208,4007	73,1548	5351,6228	0,1817	0,8323	106,966 4	408,711 9
Elevação média (m.a.n)	740,428 6	15,6340	746,7069	101,3200	10265,7344	-0,4589	-0,0501	553,495 9	962,792 9
Declividade média da bacia (graus)	17,6247	0,4535	17,4807	2,9393	8,6396	0,8969	0,1094	9,8819	25,1276
Declividade média da bacia (%)	31,8605	0,8769	31,4928	5,6827	32,2925	0,9332	0,2422	17,4203	46,9021
Densidade de drenagem (km/km²)	2,4643	0,0669	2,4634	0,4336	0,1880	0,3138	0,4430	1,6870	3,5047

Índice de Circularidade	0,3939	0,0135	0,3906	0,0875	0,0077	0,1172	0,2832	0,2330	0,5958
Coefficiente de compacidade - Gravelius	1,6236	0,0292	1,6002	0,1894	0,0359	0,2536	0,6535	1,2955	2,0715
Fator de forma	0,4921	0,0230	0,4957	0,1488	0,0221	1,7758	0,9373	0,2252	0,9717
Ordem da bacia	2,8095	0,1533	3,0000	0,9936	0,9872	-0,2768	0,7159	1,0000	5,0000
Tempo de Concentração - Kirpich (h)	0,3495	0,0382	0,3059	0,2475	0,0612	1,2162	1,2384	0,0375	1,0224

A Tabela 5 contém a valores estatísticos de cada parâmetro considerado na caracterização das sub-bacias referentes às Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN). A que apresenta maior área é a 112, com 4,27 Km²; a menor é a 152, com 0,24 Km². A que mantém o maior perímetro é a 112, com 12,70 Km; o menor perímetro, 3,17 Km é atribuído à sub-bacia número 157. A de maior comprimento entre elas é a 112, com 3,50 Km; a menor é a 157, com 0,76 Km. A maior sub-bacia em largura é a 163, com 1,25 Km, a menor é a 152, com 0,25 Km. A sub-bacia com o relevo maior é a 112, com 467,35 m; a menor é 152, com 102,75 m de altura. A elevação média maior é atribuída a 166, assumindo 704,51 metros acima do nível do mar; a menor é 142, com 390,85 metros acima do nível do mar. A declividade média maior é a da sub-bacia número 159, com 21,36°; a menor é a 152 com 9,46°. A sub-bacia com maior densidade de drenagem é a 162, com 2,96; a menor é a 157, com 0,72. Índice de circularidade maior é atribuído a 157, com 0,4730; a menor é a 152, com 0,1691. O maior coeficiente de compacidade é 2,4320, associado à sub-bacia 152; o menor é 1,4541, atribuído a 157. O fator de forma menor é 0,2789, referente a sub-bacia 152; o maior é 0,6409, sub-bacia 157. A maior ordem está

associada às sub-bacias 153 e 156, de ordem 5; a 157 apresenta a menor, ordem 1. A sub-bacia com maior tempo de concentração é a 163, com 0,56h; a com menor tempo é a 131, 0,02h.

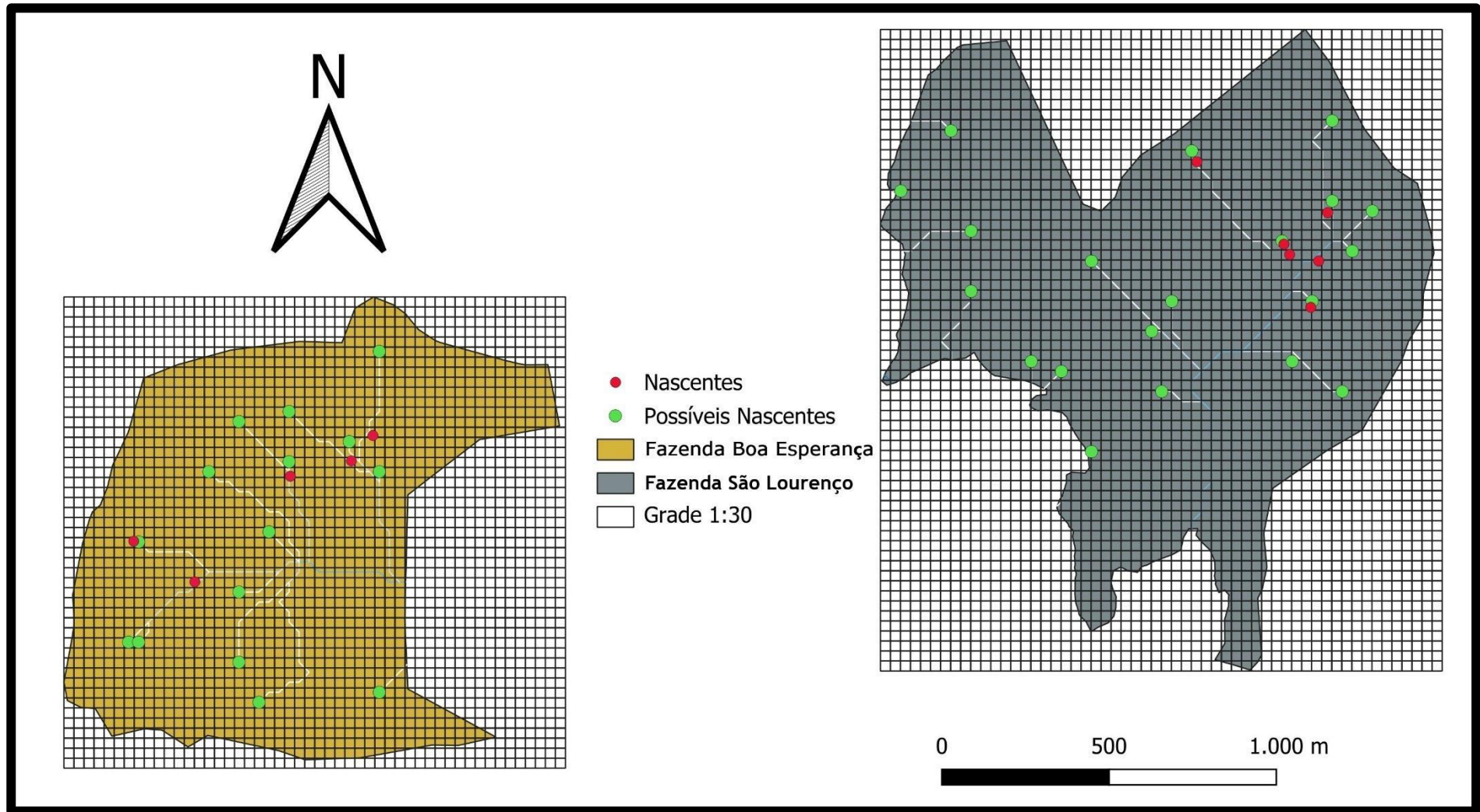
Tabela 5 - - Estatística descritiva dos parâmetros morfométricos considerados na caracterização das sub-bacias das áreas de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

	<i>Média</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância da amostra</i>	<i>Curtose</i>	<i>Assimetria</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Área da bacia (Km²)	1,5544	0,3604	1,2219	1,2485	1,5588	0,5801	1,1456	0,2412	4,2719
Perímetro (Km)	6,8994	0,7969	6,6152	2,7606	7,6207	0,1880	0,7713	3,1753	12,7011
Comprimento da bacia (Km)	1,8584	0,2252	1,7998	0,7803	0,6088	0,3847	0,5743	0,7695	3,5098
Largura da bacia (Km)	0,7283	0,0921	0,6141	0,3190	0,1018	-0,7510	0,5558	0,2594	1,2593
Relevo (m)	321,5568	28,7583	317,1642	99,6218	9924,4961	1,0390	-0,6646	102,7533	467,3544
Elevação média (m.a.n)	529,7406	28,2174	519,2656	97,7481	9554,6816	-0,5829	0,3995	390,8510	704,5180
Declividade média da bacia (graus)	18,1460	0,9358	19,0226	3,2418	10,5092	4,4705	-1,9188	9,4617	21,3666

Declividade média da bacia (%)	32,8687	1,7671	34,4771	6,1214	37,4716	4,1319	-1,8353	16,6655	39,1223
Densidade de drenagem (km/km²)	2,4277	0,1740	2,5720	0,6026	0,3632	6,3336	-2,3147	0,7215	2,9653
Índice de Circularidad e Coeficiente de compacidade - Gravelius	0,3554	0,0228	0,3597	0,0789	0,0062	2,0821	-0,9100	0,1691	0,4730
Fator de forma	1,7161	0,0729	1,6673	0,2526	0,0638	6,4550	2,2600	1,4541	2,4320
Ordem da bacia	0,4010	0,0303	0,3786	0,1049	0,0110	1,0424	0,9828	0,2789	0,6409
Tempo de Concentração - Kirpich (h)	3,2500	0,3509	3,0000	1,2154	1,4773	-0,4062	-0,2051	1,0000	5,0000
	0,1920	0,0418	0,1578	0,1450	0,0210	3,4946	1,6265	0,0280	0,5659

Em campo, precisamente na visita a área da RPPN Fazenda São Lourenço, após as análises morfométricas e elaboração de estratégia de busca através destes dados (Figura 6), foi possível localizar uma nascente não listada no plano de manejo da reserva. Na imagem 1, o olho d'água bem incipiente, característico de nascentes intermitentes. Fato que justifica a importância da caracterização de áreas pré e pós minerárias na intenção de se preservar ou manejar os recursos hídricos

Figura 6 - Mapa estratégico para busca de possíveis nascentes dentro das áreas de Reserva Particular do Patrimônio Natural.



Fonte: O autor.

Imagem 1- Nascente intermitente localizada ao utilizar os parâmetros morfométricos como facilitadores.



Fonte: Acervo do autor.

7- Discussão

Os critérios de conservação da água em um sentido amplo abrangem desde a interceptação da chuva pela copa das árvores até a recarga dos aquíferos, sugerindo inúmeras possibilidades de intervenção e distintas soluções. Ao seccionarmos a bacia em partes menores, as sub-bacias, das quais 45 são associadas ao polígono de licenças minerárias e 12 referentes a área de influência das RPPN, Figura 03. Quando fazemos esta divisão podemos propor melhores estratégias de intervenção pois a manifestação da conservação da água está intimamente ligada ao tamanho da área de estudo, objetivos específicos de uso e ocupação do solo e ao tamanho da área de trabalho (Zhang Biao et al., 2009).

O uso e ocupação do solo e as particularidades do terreno das sub-bacias estão diretamente relacionados ao comportamento dinâmico da água (Katie Price et al., 2011). No caso da área de influência das licenças minerárias, a quantidade de pasto e solo descoberto favorece o escoamento superficial da água, concomitante ao formato circular das sub-bacias, que são mais suscetíveis a processos erosivos e lixiviação de material orgânico, necessitando atenção aquelas sub-bacias com fator de forma maiores que 0,75, as quais alcançam o pico de vazão mais rápido (Jia et al., 2024). As árvores são fundamentais nestes locais, pois a copa das árvores é uma barreira essencial ao escoamento superficial precoce quando comparado a solos expostos ou a vegetação rasteira (Jiakai Liu et al., 2018).

A bacia do rio Novo, referente as áreas de reserva, apresenta cobertura florestal adequada a interceptação, infiltração e escoamento superficial da água. O formato oblongo (coeficiente de compacidade) favorece a contenção da água em sua região central onde a elevação atenua, Figura 05, ressaltando a importância das reservas alocadas onde a elevação é maior, uma vez que o tempo de concentração, Tabela 2, está entre muito curto e curto às respostas da precipitação, a composição arbórea é fundamental tanto na contenção do escoamento quanto na infiltração e percolação da água no solo (Kumar et al., 2013; F. Ferraz et al., 2021).

Os parâmetros morfométricos permitem a caracterização da forma das sub-bacias hidrográficas favorecendo análises técnicas de manejo (Asfaw & Workineh, 2019). A menor densidade de drenagem é fator de forma circular, Tabela 04 e 05, podem ser considerados no manejo do escoamento superficial da água e permitir o controle dos processos dinâmicos mecanicamente, ou, no mínimo, influenciá-los de forma positiva (McGuire et al., 2005). Quando se considera a recuperação de áreas degradadas, a inserção de árvores nas sub-bacias com maior tempo de concentração ou maior índice de circularidade pode favorecer o crescimento vegetal, uma vez que a disponibilidade natural de água nessas áreas tende a ser superior. (Hunt et al., 2022).

A água da chuva após percolar no solo e acessar os canais segue o percurso até o exutório, em um trajeto que pode ser mais lento ou veloz de acordo com a densidade de drenagem e o índice de sinuosidade (Raja Shekar & Mathew, 2024). Proporcional à ordem de cada sub-bacia, é possível direcionar estratégias de intervenção minerária a partir destes parâmetros e encontrar relações pertinentes ao manejo sustentável (Assegide et al., 2024).

A hipsometria das bacias, Figura 05, permitiu a classificação da maturidade das bacias e a caracterização do perfil de elevação do terreno, pontos chave na análise de suscetibilidade a mudanças mais difusas e graduais (Andréassian et al., 2004). Intrínseco a isso, a minuciosa relação da forma do terreno com a floresta é um importante mediador da hidrologia florestal (M. Zhang et al., 2017). A floresta atua na interceptação da precipitação pela heterogeneidade do dossel das copas (Jiakai Liu et al., 2018), na disponibilidade de matéria orgânica no solo que favorece a infiltração da água (Farrick et al., 2018) e na dinâmica subterrânea da água pela percolação da água através das raízes das árvores (Bargués Tobella et al., 2014).

O desafio apontado por Sun & Vose (2016), de que ainda não existem ferramentas plenamente capazes de lidar com eventos hidrológicos extremos, permanece atual e abrange diversos modelos já desenvolvidos (Sun et al., 2023). Essa limitação torna-se evidente em campo: durante a visita à RPPN Fazenda São Lourenço, com base nas análises morfométricas e na elaboração de uma estratégia de busca fundamentada nesses dados (Figura 6), foi possível identificar uma nascente não listada no plano de manejo da reserva — um olho d'água incipiente, típico de nascentes intermitentes. Tal constatação reforça a importância da caracterização das áreas pré e pós-minerárias como instrumento essencial para a preservação e o manejo dos recursos hídricos. Essas observações evidenciam que a compreensão da interação entre a floresta e suas características hidrológicas é fundamental, não apenas para o entendimento do escoamento superficial (Henrique Haas et al., 2022), mas para todos os estágios dos processos hidrológicos dinâmicos da água, conforme já indicado por J. D. Hewlett (1982).

O percurso que água faz precisa obedecer ao tempo de residência que compõem cada processo, pois assim as intervenções no ecossistema não se tornam um desequilíbrio ambiental. Essa abordagem não se refere à criação de novas práticas, tampouco ao aperfeiçoamento tecnológico das ferramentas de trabalho. Diz respeito à compreensão do conjunto dos processos e manejá-los de forma integrada. Nesse sentido, qualquer intervenção na dinâmica hidrológica deve ser compensada proporcionalmente no intuito de atender à necessidade sustentável de utilização da bacia hidrográfica, priorizando as iniciativas em sub-bacias pela acessibilidade e tempo de resposta ao manejo.

No caso da mineração, conhecer minuciosamente o terreno torna-se fundamental para o processo de intervenção. Além de os parâmetros morfométricos subsidiarem estratégias de execução, é possível planejar o condicionamento da água afim de conservar a dinâmica dos processos hídricos. Atrelados a um planejamento escalonado de intervenções, faz da conservação da água não uma necessidade, mas uma consequência natural do próprio processo.

8- Conclusão

Através dos dados geospaciais de livre aquisição pudemos extrair os parâmetros morfométricos (área, perímetro, comprimento, altura, relevo, elevação média, declividade média, densidade de drenagem, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, fator de forma, ordem e tempo de concentração) de 57 sub-bacias, que podem ser utilizados no planejamento a demandas futuras de intervenção minerária e no manejo das mesmas no âmbito da conservação da água. Além da curva hipsométrica e elevação de ambas bacias correspondentes, que auxiliariam intervenções em escalas maiores.

A análise dos dados morfométricos permitiu traçar uma estratégia de prospecção de nascentes nas áreas de RPPN, culminando, durante a verificação em campo, na identificação de uma nascente intermitente.

O uso e ocupação do solo nos permitiu análises integradas no que tange a conservação da água nas áreas de pré e pós mineração. No sentido de compreender a importância das florestas e as nuances do terreno para a composição do processo hidrológico.

O SIG é fundamental para a gestão espacial de sub-bacias hidrográficas, na intenção de se alcançar melhores resultados nas intervenções, quanto melhor a resolução dos Modelos Digitais de Elevação, melhor serão os resultados de morfometria.

9- Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2024). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.- Brasília. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso em: maio de 2025.
- Alexander J. Hernandez, Sean P. Healey, Hongsheng Huang, & R. Douglas Ramsey. (2018). **Improved prediction of stream flow based on updating land cover maps with remotely sensed forest change detection**. *Forests*, 9(6), 317. <https://doi.org/10.3390/f9060317>
- Alshehri, K., Chen, I.-C., Rugani, B., Sapsford, D., Harbottle, M., & Cleall, P. (2024). **A novel uncertainty assessment protocol for integrated ecosystem services-life cycle assessments: A comparative case of nature-based solutions**. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 499–515. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.026>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andréassian, V. (2004). **Waters and forests: From historical controversy to scientific debate**. *Journal of Hydrology*, 291(1–2), 1–27. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>
- Asfaw, D., & Workineh, G. (2019). **Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation**. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>
- Assegide, E., Alamirew, T., Walsh, C. L., & Zeleke, G. (2024). **Prioritizing Watersheds for Intervention Design Using GIS and Remote Sensing**. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7(1), 167–195. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i1.6887>
- Bargués Tobella, H. Reese, A. Almaw, J. Bayala, A. Malmer, H. Laudon, & U. Ilstedt. (2014). **The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso**. *Water Resources Research*, 50(4), 3342–3354. <https://doi.org/10.1002/2013wr015197>
- Bharath, A., Kumar, K. K., Maddamsetty, R., Manjunatha, M., Tangadagi, R. B., & Preethi, S. (2021). **Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi basin using geospatial technology**. *Environmental Challenges*, 5, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100277>
- Caldwell, P. V., Martin, K. L., Vose, J. M., Baker, J. S., Warziniack, T. W., Costanza, J. K., Frey, G. E., Nehra, A., & Mihiar, C. M. (2023). **Forested watersheds provide the highest water quality among all land cover types, but the benefit of this ecosystem service depends on landscape context**. *Science of the Total Environment*, 882. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163550>

Catálogo de Metadados ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul**. Brasil: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2013. Dado em formato vetorial (shapefile). 1:250000. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 20 maio. 2025.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015). **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4**. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>

de Castro-Pardo, M., Fernández Martínez, P., Pérez Zabaleta, A., & Azevedo, J. C. (2021). **Dealing with Water Conflicts: A Comprehensive Review of MCDM Approaches to Manage Freshwater Ecosystem Services**. *Land*, 10(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.3390/land10050469>

Etxano, I., & Villalba-Eguiluz, U. (2021). **Twenty-five years of social multi-criteria evaluation (SMCE) in the search for sustainability: Analysis of case studies**. *Ecological Economics*, 188, 107131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107131>

Farrick, K. K., Akweli, Z., & Wuddivira, M. N. (2018). **Influence of manure, compost additions and temperature on the water repellency of tropical soils**. *Soil Research*, 56(7), 685. <https://doi.org/10.1071/SR17303>

Ferraz, F., Zanetti, S., Cecílio, R., De Carvalho, D., & De Oliveira, F. (2021). **Method for the analysis of the relationship between forest cover and streamflow in watersheds**. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 14(4), 344–352. <https://doi.org/10.3832/ifer3536-014>

Ferraz, S. F. de B., & Lima, W. de P. (2022). **Hidrologia florestal aplicada: Planejando as interações entre a floresta e a água**. <https://repositorio.usp.br/item/003079039>

Garzon, Luis F. L., Matthew F. Johnson, Nicholas Mount, & Hernan Gomez. (2023). **Exploring the effects of catchment morphometry on overland flow response to extreme rainfall using a 2D hydraulic-hydrological model (IBER)**. *Journal of Hydrology*, 627, 130405. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130405>

Ghosh, M., & Gope, D. (2021). **Hydro-morphometric characterization and prioritization of sub-watersheds for land and water resource management using fuzzy analytical hierarchical process (FAHP): A case study of upper Rihand watershed of Chhattisgarh State, India**. *Applied Water Science*, 11(2), 17. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01340-x>

Harrison-Atlas, D., Theobald, D. M., & Goldstein, J. H. (2016). **A systematic review of approaches to quantify hydrologic ecosystem services to inform decision-making**. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12(3), 160–171. <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1181105>

Henrique Haas, Latif Kalin, & Puneet Srivastava. (2022). **Improved forest dynamics leads to better hydrological predictions in watershed modeling**. *Science of The Total Environment*, 821, 153180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153180>

Hewlett, J. D. (1982). **Principles of forest hydrology**. University of Georgia Press; WorldCat.

Hunt, A. G., Faybishenko, B., & Powell, T. L. (2022). **Test of model of equivalence of tree height growth and transpiration rates in percolation-based phenomenology for root-soil interaction**. *Ecological Modelling*, 465, 109853. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109853>

IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Circunscrições Hidrográficas. Belo Horizonte: **INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Gerência do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (Geirh)**,2022. Dado em formato vetorial (shapefile). Base multiescalar Otto Igam 2021 (1:50.000 / 1:100.000). Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 20 maio. 2025.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **INMET: Clima. Brasil - Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/prec>. Acesso em: 22 de maio de 2025.

Izenman, A. J. (2013). **Introduction and Preview**. Em G. Casella, S. Fienberg, & I. Olkin (Eds.), **Modern Multivariate Statistical Techniques** (p. 1–16). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78189-1_1

Jia, Z., Weng, B., Yan, D., Peng, H., & Dong, Z. (2024). **The effects of different factors on soil water infiltration properties in High Mountain Asia: A meta-analysis**. *CATENA*, 234, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107583>

Jiakai Liu, Zhenming Zhang, & Mingxiang Zhang. (2018). **Impacts of forest structure on precipitation interception and run-off generation in a semiarid region in northern China**. *Hydrological Processes*, 32(15), 2362–2376. <https://doi.org/10.1002/hyp.13156>

Jiménez, M., Usma, C., Posada, D., Ramírez, J., Rogéliz, C. A., Nogales, J., & Spiro-Larrea, E. (2023). **Planning and evaluating nature-based solutions for watershed investment programs with a smart perspective using a distributed modeling tool**. *Water*, 15(19), 3388. <https://doi.org/10.3390/w15193388>

Joshi, M., Kumar, P., & Sarkar, P. (2021). **Morphometric parameters based prioritization of a Mid-Himalayan watershed using fuzzy analytic hierarchy process**. *E3S Web of Conferences*, 280, 10004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128010004>

Katie Price, C. Rhett Jackson, Albert J. Parker, Trond Reitan, John Dowd, & Mike Cyterski. (2011). **Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge Mountains, Georgia and North Carolina, United States**. *Water Resources Research*, 47(2). <https://doi.org/10.1029/2010wr009340>

Kumar, R., Jat, M. K., & Shankar, V. (2013). **Evaluation of modeling of water ecohydrologic dynamics in soil–root system**. *Ecological Modelling*, 269, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.08.019>

Li, X., Cheng, G., Lin, H., Cai, X., Fang, M., Ge, Y., Hu, X., Chen, M., & Li, W. (2018). **Watershed System Model: The Essentials to Model Complex Human-**

Nature System at the River Basin Scale. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(6), 3019–3034. <https://doi.org/10.1002/2017JD028154>

Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). **A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements.** Expert Systems with Applications, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>

Malik, A., Kumar, A., Kushwaha, D. P., Kisi, O., Salih, S. Q., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. (2019). **The Implementation of a Hybrid Model for Hilly Sub-Watershed Prioritization Using Morphometric Variables: Case Study in India.** Water, 11(6), 1138. <https://doi.org/10.3390/w11061138>

Mashala, M. J., Dube, T., Mudereri, B. T., Ayisi, K. K., & Ramudzuli, M. R. (2023). **A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes impacts on surface water resources in semi-arid tropical environments.** Remote Sensing, 15(16), 3926. <https://doi.org/10.3390/rs15163926>

McDonnell, J. J., Sivapalan, M., Vaché, K., Dunn, S., Grant, G., Haggerty, R., Hinz, C., Hooper, R., Kirchner, J., Roderick, M. L., Selker, J., & Weiler, M. (2007). **Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology.** Water Resources Research, 43(7), 2006WR005467. <https://doi.org/10.1029/2006WR005467>

McGuire, K. J., McDonnell, J. J., Weiler, M., Kendall, C., McGlynn, B. L., Welker, J. M., & Seibert, J. (2005). **The role of topography on catchment-scale water residence time.** Water Resources Research, 41(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.1029/2004WR003657>

Mello, K. D., Valente, R. A., Randhir, T. O., & Vettorazzi, C. A. (2018). **Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil.** Ecological Indicators, 93, 1293–1301. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.030>

Michael S. Netzer, Gabriel Sidman, Timothy R.H. Pearson, Sarah M. Walker, & Raghavan Srinivasan. (2019). **Combining global remote sensing products with hydrological modeling to measure the impact of tropical forest loss on water-based ecosystem services.** Forests, 10(5), 413. <https://doi.org/10.3390/f10050413>

Nature. (2017). **Researchers should reach beyond the science bubble.** 542(7642), 391–391. <https://doi.org/10.1038/542391a>

Nnaji, C. C., Onyekachi, M. N., Nwankwo, E. J., Emenike, P., Chibueze, C. V., & Ogarekpe, N. M. (2024). **Hydrological and Morphometric Characterization of Anambra-Imo River Basin Using Remote Sensing.** Water Conservation Science and Engineering, 9(1), 23. <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00249-9>

Olaya, V., & Conrad, O. (2009). **Chapter 12 Geomorphometry in SAGA.** Em Developments in Soil Science (Vol. 33, p. 293–308). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00012-3)

OpenTopography. (2021). **Copernicus GLO-90 Digital Surface Model.** OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>

Paiva, Ana Carolina da Encarnação. **P166s Segurança hídrica da bacia do rio Paraíba do Sul / Ana Carolina da Encarnação Paiva.**– São José dos Campos :

INPE, 2020. xxii + 112 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/09.17.15.42-TDI) Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre)– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020. Orientadores : Drs. Javier Tomasella e Daniel Andrés Rodriguez.

Pasqualetto, A., Pasqualetto, A. G. N., Pasqualetto, T. L. L., & Mendes, T. A. (2022). **Water Resources Availability and Demand in Brazil / Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil**. Informe GEPEC, 26(1), 46–61. <https://doi.org/10.48075/igepec.v26i1.27755>

Pinheiro, R. C., Tonello, K. C., Valente, R. O. A., Mingoti, R., & Santos, I. P. (2011). **Occupation and hydrologic characterization of Ipaneminha watershed, Sorocaba-SP**. IRRIGA, 16(3), 234–245. Scopus. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n3p234>

Projeto MapBiomias. **Coleção 2 (beta) de mapas anuais de cobertura e uso da terra do brasil com 10 metros de resolução espacial**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>. Acessado em 25/maio/2025.

Pucha-Cofrep, Franz. (2024). **ArcGeek Calculator (Version 2.8) [QGIS Plugin] (GitHub) [Python]**. Disponível em: <https://github.com/franzpc/ArcGeekCalculator>. Acesso em: Abril de 2025.

Quiroz Londoño, O. M., Romanelli, A., Lima, M. L., Massone, H. E., & Martínez, D. E. (2016). **Fuzzy logic-based assessment for mapping potential infiltration areas in low-gradient watersheds**. Journal of Environmental Management, 176, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.038>

Raj, S., & Rawat, K. S. (2024). **A Morphometric and Multivariate Analysis Approach to Prioritization of Sub-Watershed: A case study on Muzaffarpur District of Bihar, India**. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 23(1), 37–54. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/183163>

Raja Shekar, P., & Mathew, A. (2024). **Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques**. Watershed Ecology and the Environment, 6, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>

Samal, D. R., Gedam, S. S., & Nagarajan, R. (2015). **GIS based drainage morphometry and its influence on hydrology in parts of Western Ghats region, Maharashtra, India**. Geocarto International, 30(7), 755–778. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.978903>

Sangma, F., & Guru, B. (2020). **Watersheds characteristics and prioritization using morphometric parameters and fuzzy analytical hierarchal process (fahp): a part of lower subansiri sub-basin**. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48(3), 473–496. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01091-6>

Senent-Aparicio, J., Soto, J., Pérez-Sánchez, J., & Garrido, J. (2017). **A novel fuzzy clustering approach to regionalise watersheds with an automatic determination of optimal number of clusters**. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 65(4), 359–365. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0024>

Sridhar, P., & Ganapuram, S. (2021). **Morphometric analysis using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and geographic information systems**

(GIS) for the prioritization of watersheds. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(4), 236. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06539-z>

Srinivas, R., Das, B., & Singhal, A. (2022). **Integrated watershed modeling using interval valued fuzzy computations to enhance watershed restoration and protection at field-scale.** *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(5), 1429–1445. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02151-5>

Su, S., Ma, K., Zhou, T., Yao, Y., & Xin, H. (2025). **Advancing methodologies for assessing the impact of land use changes on water quality: A comprehensive review and recommendations.** *Environmental Geochemistry and Health*, 47(4), 101. <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02413-z>

Sun, G., & Vose, J. (2016). **Forest Management Challenges for Sustaining Water Resources in the Anthropocene.** *Forests*, 7(3), 68. <https://doi.org/10.3390/f7030068>

Sun, G., Wei, X., Hao, L., Sanchis, M. G., Hou, Y., Yousefpour, R., Tang, R., & Zhang, Z. (2023). **Forest hydrology modeling tools for watershed management: A review.** *Forest Ecology and Management*, 530. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120755>

Tal-maon, M., Broitman, D., Portman, M. E., & Housh, M. (2024). **Combining a hydrological model with ecological planning for optimal placement of water-sensitive solutions.** *Journal of Hydrology*, 628, 130457. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130457>

Tonello, K. C., Dias, H. C. T., De Souza, A. L., Ribeiro, C. A. A. S., & Leite, F. P. (2006). **Morphometric characteristics of Cachoeira das Pombas watershed, Guanhões—MG, Brazil.** *Revista Arvore*, 30(5), 849–857. Scopus. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500019>

United States., & Zon, R. (1927). **Forests and water in the light of scientific investigation By Raphael Zon.** Forest service, United States Department of agriculture. Govt. print.off. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.114941>

Wang, L., & Liu, H. (2006). **An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling.** *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2), 193–213. <https://doi.org/10.1080/13658810500433453>

Webber, J. L., Fletcher, T., Farmani, R., Butler, D., & Melville-Shreeve, P. (2022). **Moving to a future of smart stormwater management: A review and framework for terminology, research, and future perspectives.** *Water Research*, 218, 118409. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118409>

Zhang Biao, Wen-hua, L. I., Gao-di, X. I. E., & Yu, X. (2009). **Water conservation function and its measurement methods of forest ecosystem.** *Chinese Journal of Ecology*, 28(03), 529.

Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., Ning, D., Hou, Y., & Liu, S. (2017). **A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime.** *Journal of Hydrology*, 546, 44–59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>

Zhang, R., Shao, H., & Lim, H. (2024). **Analysis of water conservation mechanisms in the river source area of northwest sichuan from the perspective of vegetation cover zoning**. *Water*, 17(1), 54.
<https://doi.org/10.3390/w17010054>

Conclusão geral

Neste trabalho foi analisado quantitativamente o termo “conservação da água”, através de um estudo bibliométrico da literatura. Através de agrupamentos de conhecimento, evidenciamos redes temáticas para apresentar o estado de arte, mapeamos padrões sociais na compreensão dos processos sociais que sustentam o desenvolvimento do conhecimento hidrológico, investigamos nuances evolutivas (tendências e dificuldades) e reconhecemos lacunas do conhecimento no âmbito da hidrologia florestal. Em um período de tempo de 54 anos foram encontrados 2142 documentos a uma taxa de crescimento anual de 3,56%. As revistas com maior número de publicações foram a *Hydrological Processes*, *Journal of Hydrology*, *Water Resources Research*, *Hydrology and Earth System Sciences*, *Forests* e *Journal of the American Water Resources Association*. Estados Unidos, China e Canadá são os principais países na produção científica, o Brasil ocupa a décima terceira posição. Os cinco autores mais relevantes globalmente são Jeffrey J. McDonnell, Ge Sun, Markus Weiler, Xiaohua Wei e Brian L. McGlynn

E, foi através do processamento do modelo digital de elevação com resolução de 30 metros que foi caracterizado os parâmetros morfométricos e planejado uma expedição para a busca de nascentes. A bacia compreendida na área de influência das licenças minerárias tem o Rio Preto como principal afluente que possui uma área de 184,11 Km², declividade média 17,78°, densidade de drenagem 2,58 Km/Km², coeficiente de compacidade 2,1, denotando uma bacia retangular- oblonga. Fator de forma 0,343, caracterizada como alongada. Ordem da bacia igual a 5. A bacia na área de influência das Reservas Particulares do Patrimônio Natural tem o Rio Novo como principal. Possui uma área de 158,57Km², com perímetro de 90,02 Km, declividade média 14,62°, densidade de drenagem 2,77 Km/Km², coeficiente de compacidade 2,02, bacia retangular-oblonga. Fator de forma 0,606, sendo classificada como intermediária. Ordem igual a 7. Dentro destas áreas de influência, foram encontradas 57 sub-bacias e classificados os parâmetros morfométricos. Concluimos que é fundamental a utilização de Sistemas de Informação Geográfica na concepção de estratégias

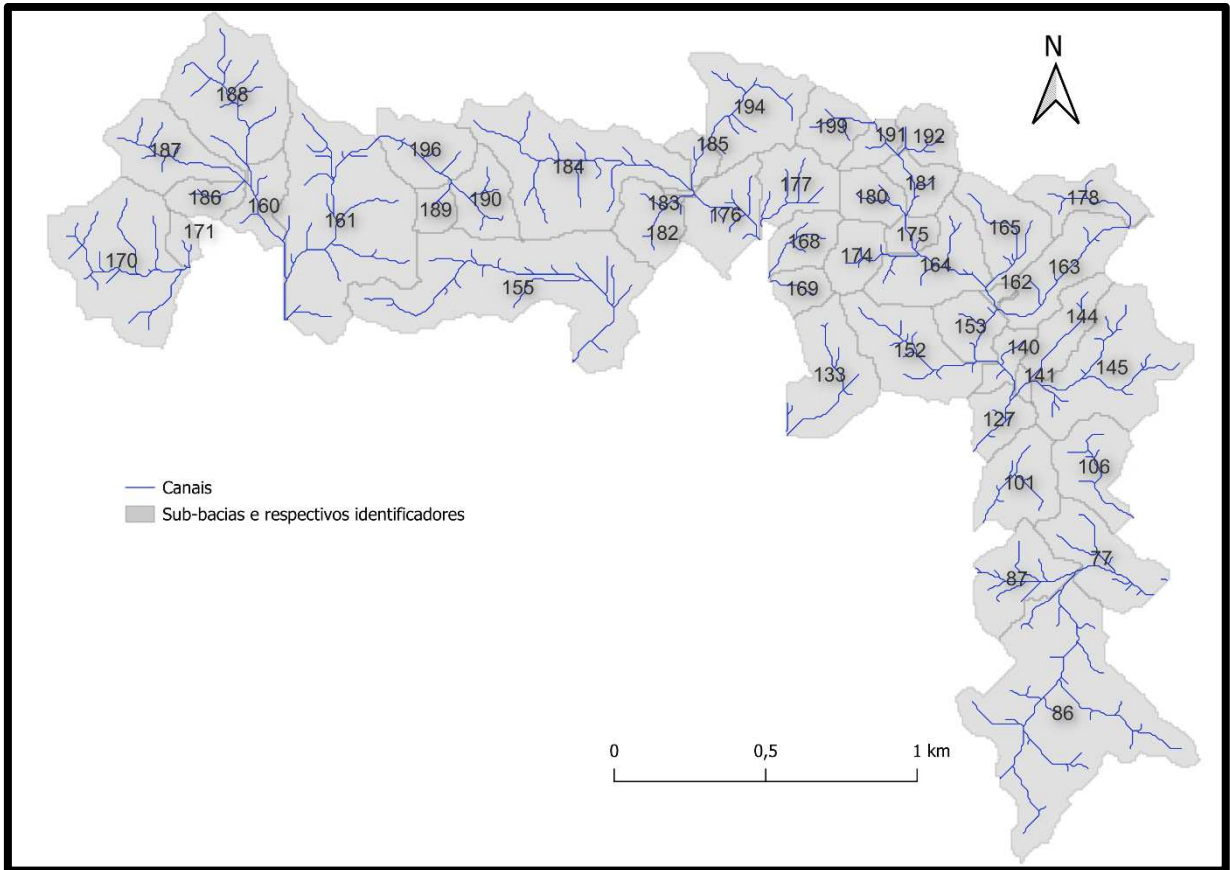
exequíveis e modeláveis, priorizando a conservação da água em sub-bacias hidrográficas.

Embora a conservação da água seja um tema recorrente na literatura científica, ela ainda é abordada de forma fragmentada e frequentemente como objetivo secundário. Estudos recentes tendem a tratar componentes isolados do sistema hidrológico, o que dificulta a aplicação prática dos resultados, especialmente em florestas tropicais.

Destacamos a importância de experiências interdisciplinares e da articulação entre os elementos água-floresta-homem para uma gestão mais eficaz das bacias hidrográficas, alinhada aos princípios da hidrologia florestal. Além disso, podemos ressaltar quanto benéfico pode ser a utilização dos dados geoespaciais de livre acesso no planejamento e gestão de sub-bacias, sobretudo por meio da análise morfométrica e da geração de mapas temáticos. Destaca-se, ainda, o plug-in ArcGeek Calculator como recurso acessível para o processamento de dados espaciais no que tange bacias hidrográficas.

ANEXO A – Parâmetros morfométricos das sub bacias

Figura 7- Mapa representativo das sub-bacias das áreas de Licença minerária com os canais e respectivos identificadores.



Fonte: O autor.

Tabela 6 - Parâmetros morfométricos das sub-bacias das áreas de influência das Licenças Minerárias.

Bacia	Área da bacia (Km ²)	Perímetro (Km)	Comprimento da bacia (Km)	Largura da bacia (Km)	Relevo (m)	Elevação média (m.a.n)	Declividade média da bacia (graus)
101	1,1148	5,809	1,4807	0,7529	224,5189	587,2211	18,474
106	1,0399	6,1154	1,4879	0,6989	234,4587	617,4561	18,6527
127	0,5653	4,1161	1,0286	0,5496	201,9888	576,2526	14,7956
133	1,5188	6,8798	2,0045	0,7577	216,8575	735,0548	19,5579
140	0,3656	3,7386	0,8138	0,4492	127,8653	587,2254	14,6199
144	0,7538	5,4097	1,7209	0,438	204,4007	605,5168	16,7767
145	2,3469	9,2906	2,2323	1,0513	222,7143	626,5141	17,7177
152	1,5527	6,8468	1,9986	0,7769	314,486	695,8402	20,7237
153	0,6595	5,1157	1,1481	0,5744	281,6193	638,2332	19,1353
155	4,0937	14,8574	3,1851	1,2853	267,92	789,8468	16,1137
160	0,7243	6,0308	1,4394	0,5032	217,6939	805,9697	15,8961
161	4,0065	12,1131	2,6761	1,4971	328,1351	814,5703	17,3731
163	1,2257	7,6442	2,3327	0,5254	186,3965	644,7515	16,2427
164	1,3035	6,6446	1,6467	0,7916	239,6962	717,4653	19,181
165	1,0922	6,045	1,569	0,6961	281,9509	726,9706	19,5243
168	0,5982	3,9985	1,2765	0,4686	168,6019	745,8648	12,4489
169	0,3726	3,0577	0,8652	0,4306	159,036	769,0245	19,1319
170	2,6632	8,5262	2,0045	1,3286	352,4316	859,5821	18,4209
171	0,2386	2,5873	0,819	0,2913	324,4681	878,202	25,1276
174	0,6137	4,5865	0,8995	0,6823	227,9243	746,9897	20,3927
175	0,2965	2,5873	0,5524	0,5367	137,6347	690,2057	17,5373
176	1,0909	5,939	1,15	0,9486	180,7583	742,0978	9,8819
177	0,8993	5,3989	1,2647	0,7111	186,556	772,6136	15,8937
178	0,8022	6,4094	1,5912	0,5041	202,0081	703,0684	16,9066
180	0,5515	3,4105	1,0479	0,5263	200,7939	766,9221	18,6781

181	0,5178	4,0573	0,9185	0,5637	201,1153	746,424	19,1698
182	0,8099	4,8805	1,1852	0,6834	161,0745	753,0998	14,1817
184	3,0902	11,2311	3,2349	0,9553	299,0017	813,5041	15,8486
185	0,287	3,2341	0,8237	0,3484	106,9664	737,5609	13,841
186	0,4325	3,3444	1,0768	0,4016	306,5909	891,8162	23,1469
187	1,2353	6,2891	1,8749	0,6589	408,7119	962,7929	23,0967
188	2,2993	8,1146	2,0825	1,1041	408,4731	936,4119	22,5212
189	0,2996	2,5172	0,7791	0,3845	138,9382	831,5455	16,555
190	0,7728	4,8217	1,2724	0,6073	166,5192	829,4606	15,2096
191	0,3449	3,0577	0,8201	0,4206	181,7507	773,1898	19,1389
192	0,5255	4,0539	0,8633	0,6087	176,4175	793,1523	16,5392
194	1,5836	7,1738	1,6593	0,9544	206,4315	783,8435	16,5781
196	0,9768	4,9393	1,3347	0,7318	210,3699	836,2373	18,6038
199	0,65	4,1751	1,0382	0,6261	149,8081	803,0777	16,5671
77	1,3001	6,9974	1,8279	0,7112	216,9233	565,0597	18,9786
86	5,0611	16,0528	3,8578	1,3119	346,0235	643,8687	17,424
87	1,1622	6,3234	1,4929	0,7785	200,877	553,4959	13,6327

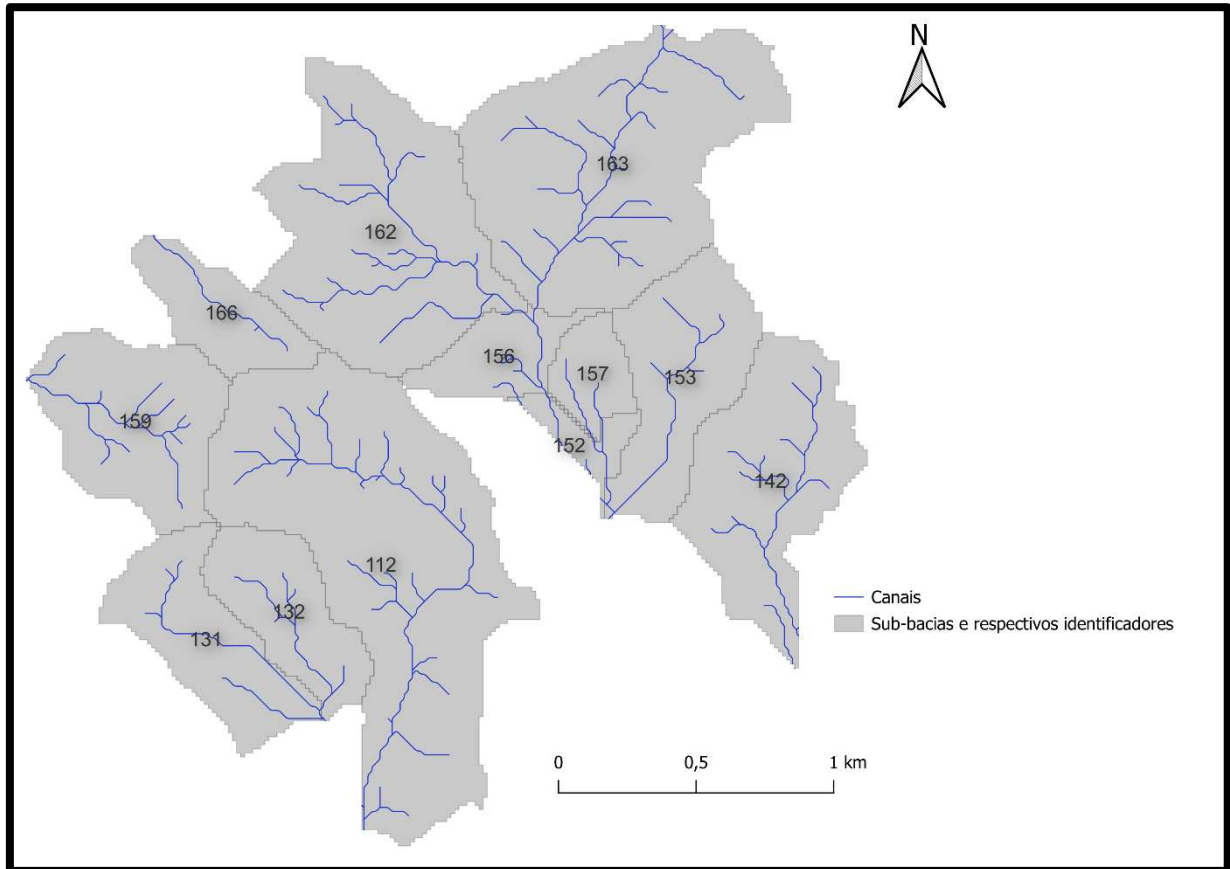
Tabela 6- Continuação Tabela 6.

Bacia	Declividade média da bacia (%)	Densidade de drenagem (km/km ²)	Índice de Circularidade	Coefficiente de compacidade - Gravelius	Fator de forma	Ordem da bacia	Tempo de Concentração - Kirpich (h)
101	33,409	2,1285	0,4151	1,5521	0,5085	2	0,3787
106	33,7561	2,3167	0,3494	1,6917	0,4697	2	0,2808
127	26,413	2,872	0,4193	1,5443	0,5343	4	0,3025
133	35,5256	1,8415	0,4032	1,5748	0,378	2	0,445
140	26,0852	3,0737	0,3287	1,7443	0,552	4	0,1829
144	30,1475	2,1037	0,3237	1,7578	0,2545	2	0,3093
145	31,9482	2,3415	0,3417	1,7108	0,4709	3	0,3899
152	37,8341	2,3329	0,4162	1,5501	0,3887	2	0,2216
153	34,6972	2,6682	0,3167	1,777	0,5003	4	0,3385
155	28,8895	2,3774	0,233	2,0715	0,4035	2	0,8263
160	28,4784	3,4454	0,2502	1,999	0,3496	4	0,2878
161	31,2865	2,4071	0,3431	1,7072	0,5594	5	0,0657
163	29,1335	2,573	0,2636	1,9478	0,2252	3	0,4693
164	34,7865	2,6157	0,371	1,6418	0,4807	4	0,2606
165	35,4595	2,497	0,3756	1,6317	0,4437	2	0,1148
168	22,0759	2,7402	0,4702	1,4584	0,3671	2	0,3345
169	34,6905	1,7197	0,5007	1,4132	0,4977	1	0,1474
170	33,3062	2,723	0,4604	1,4739	0,6628	3	0,5004
171	46,9021	1,9947	0,4479	1,4943	0,3557	2	0,0375
174	37,1751	1,7439	0,3666	1,6516	0,7585	2	0,0857
175	31,6015	2,4297	0,5566	1,3404	0,9717	3	0,1219
176	17,4203	2,9257	0,3887	1,6041	0,8248	4	0,7019
177	28,4739	3,0675	0,3877	1,6061	0,5622	2	0,3227
178	30,395	2,3589	0,2454	2,0188	0,3168	2	0,391
180	33,8054	1,9004	0,5958	1,2955	0,5023	2	0,094

181	34,7647	2,5506	0,3953	1,5906	0,6137	3	0,256
182	25,2699	2,1983	0,4273	1,5298	0,5766	2	0,4003
184	28,3887	2,5365	0,3079	1,8023	0,2953	3	0,4494
185	24,6383	3,5047	0,3448	1,703	0,4229	4	0,4674
186	42,7504	2,1665	0,4859	1,4346	0,373	2	0,1064
187	42,6468	2,6484	0,3925	1,5963	0,3514	2	0,2333
188	41,4647	2,5761	0,4388	1,5096	0,5302	3	0,2395
189	29,7257	1,687	0,5942	1,2973	0,4936	2	0,1184
190	27,1873	2,5373	0,4177	1,5473	0,4773	3	0,1372
191	34,7041	2,5601	0,4636	1,4688	0,5129	3	0,1422
192	29,6958	2,3392	0,4018	1,5776	0,705	2	0,1152
194	29,7696	2,3648	0,3867	1,6082	0,5752	3	0,4421
196	33,661	2,0187	0,5031	1,4099	0,5483	3	0,8827
199	29,7488	2,1136	0,4686	1,4608	0,6031	2	0,4001
77	34,391	2,5681	0,3337	1,7312	0,3891	5	1,0224
86	31,3841	2,5736	0,2468	2,0129	0,3401	3	0,6548
87	24,253	3,3604	0,3653	1,6547	0,5215	5	1,0017

Fonte: O autor.

Figura 8- Mapa representativo das sub-bacias das áreas de Reserva Particular do Patrimônio Nacional com os canais e respectivos identificadores.



Fonte: O autor.

Tabela 7 - Parâmetros morfométricos das sub-bacias das áreas de influência das Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

Bacia	Área da bacia (Km²)	Perimetro (Km)	Comprimento da bacia (Km)	Largura da bacia (Km)	Relevo (m)	Elevação média (m.a.n)	Declividade média da bacia (graus)
112	4,2719	12,7011	3,5098	1,2171	467,3544	508,1958	19,9758
131	1,1151	6,9386	1,8356	0,6075	389,5791	562,8896	21,1179
132	0,8998	5,4097	1,5135	0,5945	387,8185	530,3353	20,2073
142	1,7971	8,1146	2,2209	0,8092	310,595	390,851	16,7382
152	0,2412	4,2337	0,9298	0,2594	102,7533	406,4309	9,4617
153	1,3286	6,821	2,1404	0,6207	290,3863	494,4355	18,8181
156	0,5333	4,5865	1,0796	0,494	323,7333	479,6536	15,4972
157	0,3795	3,1753	0,7695	0,4931	216,373	447,0523	17,1802
159	1,4548	6,4094	1,764	0,8247	304,4042	633,6288	21,3666
162	2,6805	9,6434	2,4396	1,0988	448,2955	660,2421	18,9049
163	3,2502	9,8198	2,5809	1,2593	341,6486	538,6543	19,3443
166	0,7002	4,9393	1,5176	0,4614	275,74	704,518	19,1403

Tabela 7 - Continuação da Tabela 7.

Bacia	Declividade média da bacia (%)	Densidade de drenagem (km/km²)	Índice de Circularidade	Coefficiente de compacidade - Gravelius	Fator de forma	Ordem da bacia	Tempo de Concentração - Kirpich (h)
112	36,3492	2,6057	0,3328	1,7335	0,3468	4	0,0497
131	38,6227	2,7362	0,2911	1,8536	0,3309	3	0,028
132	36,8072	2,4785	0,3864	1,6088	0,3928	3	0,1208
142	30,0742	2,884	0,343	1,7076	0,3644	3	0,3164
152	16,6655	2,3598	0,1691	2,432	0,2789	2	0,221
153	34,0781	2,253	0,3588	1,6694	0,29	5	0,2581
156	27,7271	2,5383	0,3186	1,7717	0,4576	5	0,1592
157	30,9173	0,7215	0,473	1,4541	0,6409	1	0,0933
159	39,1223	2,8652	0,445	1,4991	0,4675	3	0,2183
162	34,2472	2,9653	0,3622	1,6616	0,4504	4	0,1166
163	35,1063	2,6866	0,4236	1,5366	0,4879	4	0,5659
166	34,7069	2,0387	0,3606	1,6652	0,304	2	0,1564

Fonte: O autor.