1º HIDROGEOMINAS
SIMPÓSIO MINEIRO DE HIDROGEOMORFOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
07 – 10 de setembro de 2026
Departamento de Geografia – UFMG
Belo Horizonte - MG

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO MÉDIA EM BACIA COM ESCASSEZ DE DADOS: ESTUDO DA BACIA DO RIO UBERABINHA (MG)

Rafaela Cristina Alves Neves [1]
Davi Shinji Toyoda Gomes [2]
Caroline Yuka Mori Saito [3]
Carlos Eugênio Pereira [4]
Márcio Ricardo Salla [5]

RESUMO

A gestão de recursos hídricos no Brasil enfrenta limitações decorrentes da baixa densidade de monitoramento e da descontinuidade de séries históricas, dificultando a análises hidrológicas em bacias hidrográficas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a morfometria a bacia do rio Uberabinha (MG) e aplicar técnicas de regionalização de vazões para estimar a vazão média em condições de escassez de dados. A caracterização foi realizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30 m, permitindo a obtenção de parâmetros geométricos, topográficos e da rede de drenagem. Para a regionalização, foram selecionadas oito bacias com dados fluviométricos consistentes, considerando similaridade hidrológica. Foram ajustados modelos de regressão potencial entre a vazão média e variáveis fisiográficas e climáticas, incluindo área de drenagem, densidade de drenagem e precipitação média anual. Os resultados indicaram que a bacia apresenta forma alongada, relevo suave ondulado e densidade de drenagem moderada, características associadas a uma resposta hidrológica menos abrupta. Os modelos de regressão apresentaram coeficientes de determinação entre 0,71 e 0,74, sendo que o modelo baseado exclusivamente na área de drenagem apresentou melhor desempenho global, considerando significância estatística. A inclusão de variáveis adicionais não resultou em melhorias consistentes, evidenciando limitações associadas ao tamanho da amostra. Assim, a regionalização de vazões constitui ferramenta eficaz para estimativa hidrológica em bacias com dados limitados, com potencial aplicação na calibração de modelos hidrológicos e no suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Estimativa de vazões; Gestão de recursos hídricos; Regressão logarítmica; Ciclo hidrológico.

[1] Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia – UFU rafaelaaneves@ufu.br;
[2] Graduando do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, davi.shinji@ufu.br;
[3] Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia – UFU Caroline.saito@ufu.br;
[4] Professor orientador: doutor, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, cepereira@ufu.br.
[5] Professor orientador: doutor, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, marcio.salla@ufu.br.

INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos no Brasil enfrenta desafios significativos devido à assimetria e à insuficiência de dados monitorados, tanto em termos de disposição espacial das estações de monitoramento quanto de informações em escala temporal. Em muitas bacias hidrográficas a desativação de estações fluviométricas, as lacunas em séries históricas e a baixa densidade de monitoramento comprometem a confiabilidade das estimativas de disponibilidade hídrica e o enquadramento de corpos d'água (Boeira *et al*., 2025). Essa limitação é particularmente crítica em regiões de agricultura intensiva e expansão urbana, como ocorre no município de Uberlândia (MG), onde a bacia do rio Uberabinha, abastece a população e atende às demandas das atividades econômicas sob pressão crescente. Assim, a modelagem hidrológica surge como resposta estratégica para suprir essas deficiências.

A disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos em uma bacia refletem a interação complexa entre parâmetros climáticos (precipitação, evapotranspiração, temperatura e umidade relativa do ar), características do escoamento (área de drenagem, rede hidrográfica e presença de reservatórios) e atributos do meio físico, como geologia, topografia, solos, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo (Khan *et al*., 2024). Nesse contexto, a compreensão integrada desses fatores é fundamental para a interpretação da dinâmica hidrológica e para a estimativa de variáveis de interesse.

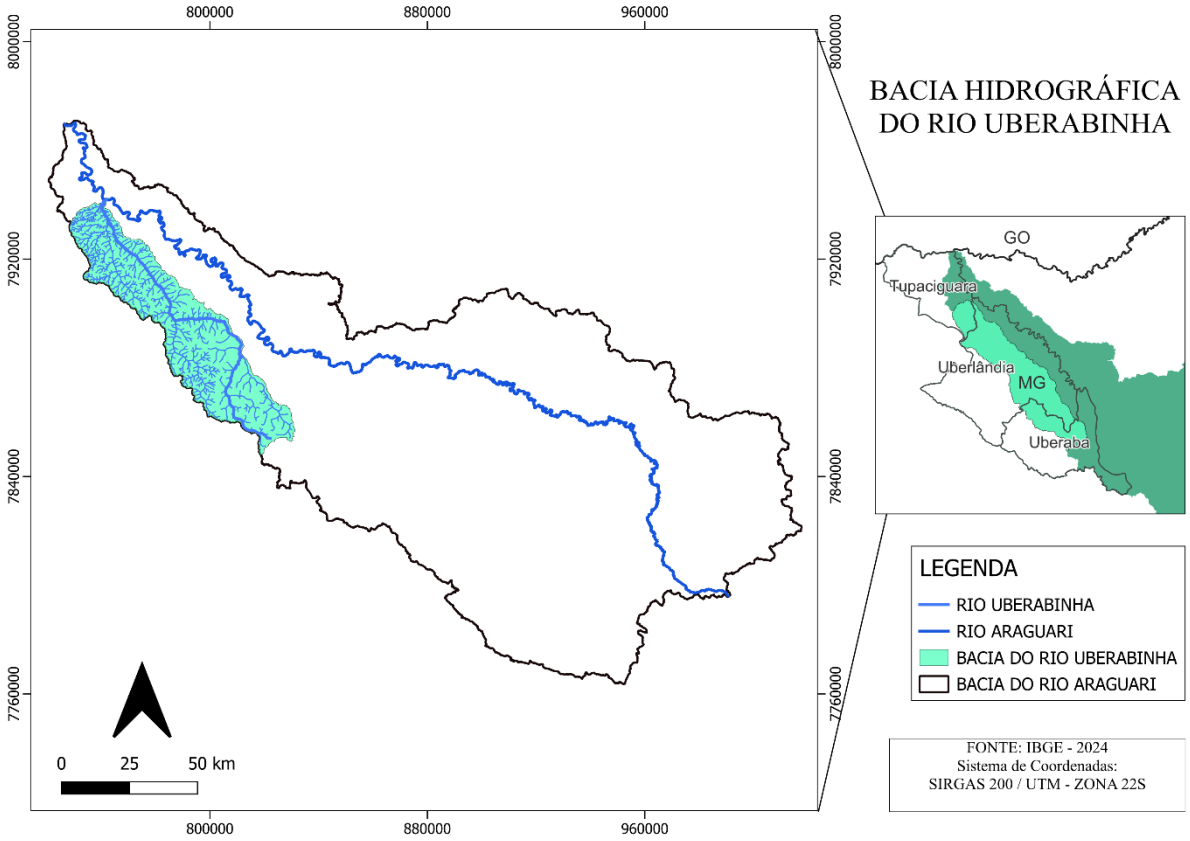
Diante dessas limitações, abordagens indiretas baseadas em características físicas da bacia e em técnicas de transferência de informação entre regiões hidrologicamente semelhantes tornam-se essenciais. A regionalização de vazões permite a estimativa de variáveis hidrológicas em locais sem monitoramento, a partir de relações estabelecidas com bacias de referência (Kebebew; Awass, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do rio Uberabinha e aplicar técnicas de regionalização de vazões, com o intuito de compreender seu comportamento hidrológico e estimar vazões características em seções sem monitoramento, subsidiando a modelagem hidrológica e o planejamento de recursos hídricos na região.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Uberabinha (Figura 1) está localizada no Estado de Minas Gerais e abrange os municípios de Uberlândia, Uberaba e Tupaciguara e está inserida na Bacia do Rio Araguari. Possui área aproximada de 2188 km² e perímetro aproximado de 360 km, caracterizando uma unidade hidrográfica de grande extensão regional.

Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha na Bacia do Rio Araguari



Fonte: Autor, 2026

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Uberabinha foi realizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software QGIS versão 3.40.15. A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem. Para essa etapa, foi utilizado o módulo GRASS GIS, integrado ao QGIS, por meio da ferramenta r.watershed, que realiza o processamento hidrológico do MDE, incluindo o cálculo da direção e da acumulação de fluxo, permitindo a delimitação automática da área de contribuição e a extração da rede de drenagem. A partir do MDE, foram extraídos os dados altimétricos (altitudes mínima e máxima) e gerado o mapa de declividade por meio da ferramenta Slope, que calcula a inclinação do terreno com base nas variações altimétricas das células do MDE, permitindo a determinação da declividade média da bacia.

A rede de drenagem obtida por meio do processamento hidrológico possibilitou o cálculo do comprimento total da rede e da densidade de drenagem. Foram obtidos os parâmetros básicos da

bacia, incluindo área de drenagem, perímetro e comprimento do eixo principal, que subsidiaram o cálculo do índice de compacidade (Kc), coeficiente de circularidade (Cc), fator de forma (Kf) e índice de alongamento (Re). Com base nesses parâmetros, foram ainda estimados a amplitude altimétrica e o tempo de concentração da bacia, conforme equações apresentadas na Tabela 1 (Negri; Fill, 2023).

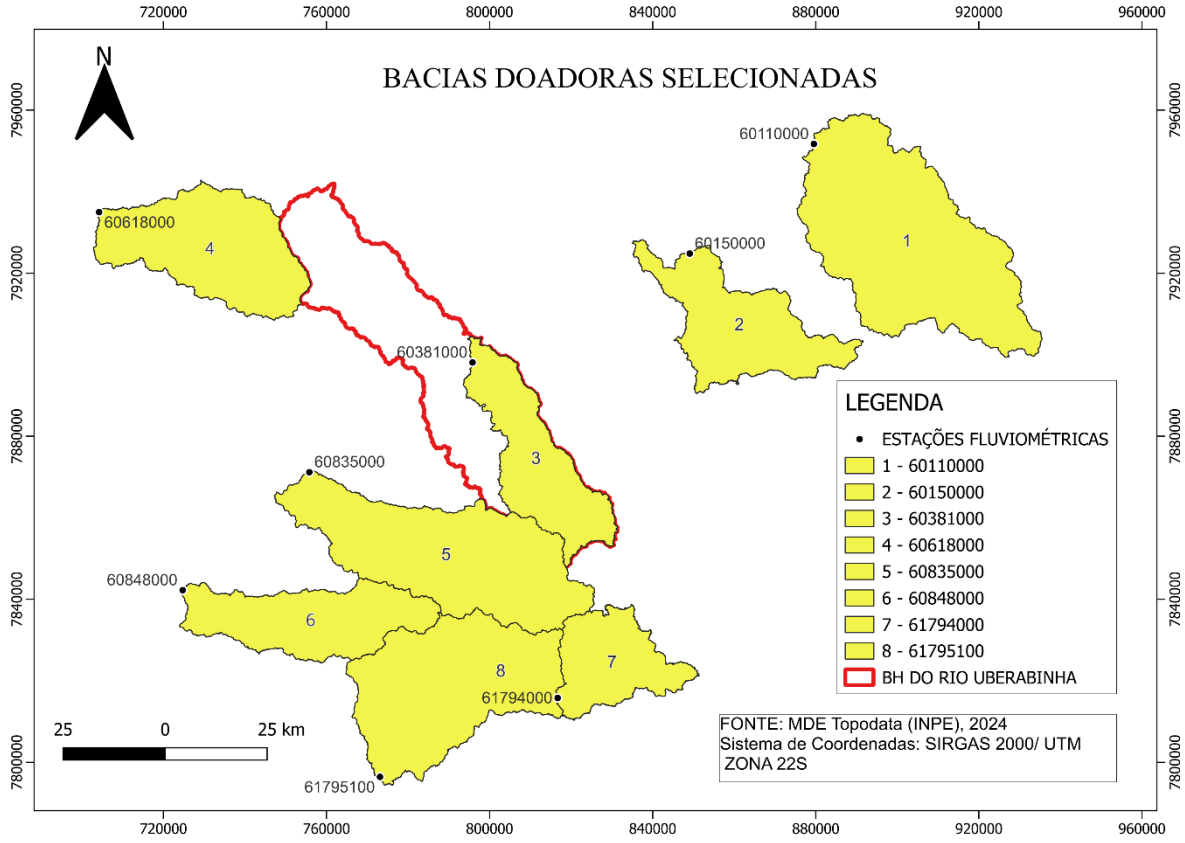
Tabela 1 – Equações e Ferramentas

Parâmetro	**Método**
Área (A)	Calculadora de campo - $area
Perímetro (P)	Calculadora de campo - $perimeter
Índice de Compacidade (Kc)	0,28 (P/$\sqrt{A}$)
Índice de Circularidade (Ic)	$\frac{4\pi A}{P^2}$
Comprimento do Eixo Principal (Lb)	Medir linha
Fator de Forma (kf)	A/Lb²
Índice de Alongamento (Re)	$\frac{2\sqrt{A/\pi}}{Lb}$
Altitude Máxima Hmax	Amostragem de valor raster
Altitude Mínima Hmin	Amostragem de valor raster
Amplitude Altimétrica ΔH	Hmax - Hmin
Declividade Média	Estatísticas zonais - declividade
Declividade Média	Tanθ.100
Comprimento Total (Lt)	Estatísticas zonais – rede de drenagem

Fonte: Autor, 2026

Devido à ausência de séries históricas consistentes de vazão na seção de interesse da bacia do rio Uberabinha, adotou-se a técnica de regionalização de vazões para estimativa da vazão média (Qm). Para isso, foram selecionadas estações fluviométricas com séries mínimas de 20 anos de dados consistidos, localizadas em um raio de até 100 km da área de estudo, e com áreas de drenagem compreendidas entre 0,33 e 3 vezes a área da bacia analisada, visando garantir similaridade hidrológica. Com base nesses critérios, foram selecionadas oito estações fluviométricas (Figura 2), cujas bacias contribuintes foram delimitadas em ambiente SIG, empregando o mesmo procedimento metodológico adotado para a bacia do rio Uberabinha, enquanto a rede hidrográfica foi extraída da Base Hidrográfica Ottocodificada da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para cada bacia, foram determinados os atributos fisiográficos utilizados na regionalização: área de drenagem, densidade de drenagem, declividade média e precipitação média anual.

Figura 2- Bacias utilizadas na regionalização



Fonte: Autor, 2026

Para cada bacia delimitada, foi associada uma estação pluviométrica obtida junto ao sistema Hidroweb, priorizando séries com, no mínimo, 80% de dados válidos no período de 2000 a 2024. Esses dados foram utilizados para o cálculo da precipitação média anual de cada bacia.

Com base nas informações obtidas, foram ajustados três modelos de regressão com a vazão média como variável dependente. O modelo I considerou apenas a área de drenagem como variável explicativa, o modelo II incluiu a área de drenagem acrescido da precipitação média anual e o modelo III considerou, além das anteriores, a densidade de drenagem. Considerando o reduzido tamanho amostral, optou-se por um modelo simplificado, visando avaliar de forma objetiva as influências climáticas e geomorfológicas na resposta hidrológica das bacias e subsidiar a estimativa da vazão média para a bacia do rio Uberabinha. Inicialmente, foi realizada a análise estatística descritiva das variáveis explicativas e da vazão média anual das bacias doadoras, por meio do cálculo da média, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimos e máximos, visando caracterizar a distribuição dos dados e a variabilidade observada entre as bacias. Para o ajuste dos modelos, aplicou-se a transformação logarítmica às variáveis, linearizando a relação potencial entre a vazão média e as variáveis explicativas. Os coeficientes foram estimados pelo método dos mínimos quadrados

ordinários (MQO), utilizando modelos de regressão linear ajustados às variáveis transformadas. O desempenho dos modelos foi avaliado por meio do coeficiente de determinação (R^2), do coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), da significância global do modelo (teste F) e da significância individual dos coeficientes (teste t). Desta forma, os modelos ajustados para a estimativa da vazão média podem ser representados pela equação geral:

$$ln(Y) = ln(\alpha) + \beta_1\ ln(x_{1i}) + \beta_2\ ln(x_{2i}) + \beta_3 ln(x_{3i})$$

Onde Y representa a vazão média anual, β é o coeficiente da variável explicativa e x é a variável explicativa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros morfométricos da bacia do rio Uberabinha estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros morfométricos da bacia do Rio Uberabinha

Parâmetro	Valor	Unidade
Área (A)	2187,99	km²
Perímetro (P)	359,57	km
Índice de Compacidade (Kc)	2,17	-
Índice de Circularidade (Ic)	0,21	-
Comprimento do Eixo Principal (Lb)	115,07	km
Fator de Forma (kf)	0,17	-
Índice de Alongamento (Re)	0,46	-
Altitude Máxima Hmax	996,44	m
Altitude Mínima Hmin	513,15	m
Amplitude Altimétrica ΔH	483,29	m
Declividade Média	3,05	°
Declividade Média	5,30	%
Comprimento Total (Lt)	1397,26	km
Densidade de Drenagem (Dd)	0,64	km−1
Altitude Nascente HN	976,00	m
Altitude Exutório HE	517,00	m
Diferença Altimétrica (H)	459,00	m
Comprimento do Curso Principal (L)	142,00	km
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (h)	23,34	h
Declividade Media Do Talvegue (S)	0,32	%

Fonte: Autor, 2026

Os índices relacionados à forma da bacia indicam geometria alongada. O índice de circularidade (Ic = 0,21), indica baixa semelhança com uma forma circular. Esse resultado é reforçado pelo fator de forma (Kf = 0,17) e pelo índice de alongamento (Re= 0,46), ambos característicos de

bacias alongadas. Essa configuração tende a reduzir a simultaneidade da contribuição do escoamento ao exutório, resultando em hidrogramas com menor pico de vazão e maior tempo de resposta, quando comparados a bacias mais circulares (Shekar; Mathew, 2024). A densidade de drenagem moderada (Dd = 0,64 km/km²) reflete uma rede hidrográfica espaçada, que resulta em equilíbrio na entre escoamento superficial e infiltração na resposta aos eventos de precipitação (Santos; Moura; Casanova, 2025). O relevo da bacia é caracterizado como predominantemente suave ondulado, com declividade média de 5,30% enquanto a declividade do talvegue (0,32%) indica gradiente longitudinal baixo. O tempo de concentração de 23,34 horas resulta da interação entre grande área da bacia, forma alongada e baixa densidade de drenagem, evidenciando resposta hidrológica moderada a eventos pluviométricos intensos (Cunha, 2024).

De forma integrada, os parâmetros confirmam entre si a indicação de uma bacia com resposta hidrológica atenuada, com picos de vazão menos pronunciados e maior tempo de resposta à precipitação. A Tabela 3 apresenta os dados das bacias doadoras utilizadas na regionalização, incluindo área de drenagem, perímetro, densidade de drenagem, precipitação média anual e vazão média.

Tabela 3 – Dados das bacias doadoras

ID	Código	Nome da Estação	Area de contribuição (km²)	Perímetro (km)	Densidade de drenagem (km/km²)	Precipitação anual média (mm)	Vazão média anual (m³/s)
1	60110000	ABADIA DOS DOURADOS	1951,69	340,60	0,96	1302,12	20,43
2	60150000	ESTRELA DO SUL	867,55	297,27	0,57	1398,98	12,29
3	60381000	FAZENDA LETREIRO	788,20	271,27	0,46	1338,3	12,59
4	60618000	PCH PIEDADE JUSANTE	1074,35	240,10	0,65	1436,51	9,33
5	60835000	FAZENDA PARAÍSO	1540,89	328,10	0,87	1263,76	22,3
6	60848000	PONTE BR-153 (FAZ. N0SSA SENHORA APARECIDA)	830,31	253,22	0,95	1368,44	11,42
7	61794000	UBERABA	566,11	192,43	1,06	1312,27	10,98
8	61795100	UHE PORTO COLÔMBIA RIO UBERABA	1976,14	404,19	0,90	1462,44	27,90

Fonte: Autor, 2026

A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas. Observa-se que a área de drenagem apresentou o maior coeficiente de variação (45,86%), seguida da vazão média anual (42,31%), em contrapartida, a precipitação média anual apresentou o menor coeficiente de variação (5,07%).

Tabela 4 – Estatística descritiva das variáveis explicativas

Estatística	Área	Densidade de drenagem	Precipitação média anual	Vazão média anual
Máximo	1976,14	1,06	1462,44	27,90
Mínimo	566,11	0,46	1263,76	9,33
Média	1199,40	0,80	1360,00	15,90
Desvio Padrão	550,06	0,21	68,97	6,73
Coeficiente de Variação	45,86%	26,63%	5,07%	42,31%

Fonte: Autor, 2026

Os resultados obtidos na Tabela 5 mostram que as variáveis dos três modelos explicaram entre 70,98% e 75,28% da variabilidade da vazão média das bacias, conforme os valores de R^2. Porém ao considerar o coeficiente R^2 ajustado, o Modelo I apresentou o maior valor (0,6615), indicando que o acréscimo de variáveis no modelo não gerou melhora na capacidade explicativa dos modelos. A significância do modelo avaliada por meio do teste F, apontou o Modelo III como não significativo, já que o valor p foi maior que 0,05. Como os modelos I e II foram significativos, o teste F indicou que o acréscimo da densidade de drenagem não resultou em uma melhoria estatisticamente significativa do modelo.

Observa-se ainda que o erro padrão residual aumentou progressivamente do Modelo I para o Modelo III, indicando redução da precisão das estimativas à medida que novas variáveis foram incorporadas ao modelo. Em conjunto, esses resultados sugerem que o Modelo I apresentou o melhor equilíbrio entre capacidade explicativa, precisão e parcimônia. O modelo baseado exclusivamente na área de drenagem apresentou melhor desempenho global, considerando o equilíbrio entre capacidade explicativa e significância estatística. As equações da vazão média ajustadas para cada modelo são apresentadas na forma potencial após a aplicação da transformação inversa da equação logarítmica ajustada.

Tabela 5 – Resultado da regressão

Modelo	Variáveis explicativas	R^2	R^2 ajustado	Erro residual	p-valor	Estatística F	Equação ajustada
I	Área de drenagem	0,7098	0,6615	0,2311	0,0086	14,68	Q=e^−2,4078·A^0,7292
II	Área de drenagem + Precipitação média anual	0,7436	0,6411	0,2379	0,0332	7,253	Q=e^7,9551·A^0,7411·P^−1,4480
III	Área de drenagem + Precipitação média anual + Densidade de drenagem	0,7528	0,5674	0,2612	0,1046	4,061	Q=e^6,5400·A^0,7166·P^−1,2232·D^0,1387

Fonte: Autor, 2026

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise morfométrica é possível compreender o comportamento do escoamento e resposta à precipitação na bacia e subsidiar análises hidrológicas. No que se refere à regionalização de vazões, verificou-se que o modelo baseado exclusivamente na área de drenagem foi o que demonstrou maior consistência estatística, considerando o equilíbrio entre capacidade explicativa, significância dos parâmetros e parcimônia do modelo.

A partir da análise morfométrica e hidrológica das bacias estudadas, foi possível compreender a relação entre características fisiográficas e a resposta em termos de vazão média, contribuindo para a regionalização hidrológica da área de estudo. Entre os modelos testados, aquele baseado exclusivamente na área de drenagem apresentou melhor desempenho estatístico, considerando o equilíbrio entre capacidade explicativa, significância dos parâmetros e parcimônia do modelo.

Embora os modelos multivariados tenham apresentado leve aumento no coeficiente de determinação, não houve melhoria consistente na capacidade explicativa quando considerados o R^2 ajustado, a significância global e o erro padrão residual. Esses resultados indicam que a inclusão da precipitação média anual e da densidade de drenagem não contribuiu de forma relevante para o ajuste dos modelos nas condições analisadas.

Como aplicação prática, a equação ajustada pode ser utilizada para estimativa de vazões em bacias sem monitoramento fluviométrico inseridas na mesma localização e com características semelhantes às utilizadas para a configuração deste modelo. As vazões obtidas a partir da equação podem servir como dado de entrada em modelos hidrológicos distribuídos ou conceituais. Entretanto, destaca-se como limitação do estudo a reduzida variabilidade da precipitação média anual entre as bacias analisadas, o que restringe a capacidade do modelo em representar adequadamente o efeito dessa variável e limita sua aplicabilidade a condições climáticas semelhantes às do conjunto de dados utilizado.

Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação do número de bacias amostrais, de modo a incluir maior diversidade fisiográfica e climática, aumentando assim a robustez e a capacidade de generalização dos modelos desenvolvidos.

AGRADECIMENTOS

Ao Comitê de Bacia do rio Araguari - CBH Araguari e sua Entidade Equiparada às funções de Agência de Bacia – ABHA Gestão de Águas, por meio do Edital de Chamamento Público ABHA nº 003/2024 - Apoio a Projeto de Pesquisa no qual foi financiado com recursos da Cobrança pelo uso da água da bacia do rio Araguari.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Portal HidroWeb: Série histórica de dados fluviométricos e pluviométricos**. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb. Acesso em: 28 jan. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Base Hidrográfica Ottocodificada**. 2023. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home. Acesso em: 08 mar. 2026.

BOEIRA, L. dos S. et al. Influence of multiple water uses on an cross-border watershed in South America. **Revista Thema**, Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, v. 24, n. 2, setembro 2025. ISSN 2177-2894. Disponível em: https://doi.org/10.15536/revistathema.24.2025.3429.

CUNHA, Alessandra Luiza Silva. **Modelagem Hidrológica das Sub-bacias do Alto Rio Uberabinha e do Ribeirão Bom Jardim a Montante das Captações para Análise de Disponibilidade Hídrica**. 2025. 133 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.311. Acesso em: 20 fev. 2026.

KEBEBEW, A. S.; AWASS, A. A. Regionalization of catchments for flood frequency analysis for data scarce Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Elsevier BV, v. 43, p. 101187, outubro 2022a. ISSN 2214-5818. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101187.

KHAN, A. N. et al. Morphometric Analysis of Jhelum Basin for Water Management Using Geospatial Tools. **Springer Nature Switzerland**, 2024. p. 19 – 33. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57777-2_2.

NEGRI, R.; FILL, H. Caracterização física de 14 bacias hidrográficas brasileiras: proposição do indicador da declividade média dos rios e do coeficiente de suscetibilidade de enchentes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, FapUNIFESP (SciELO), v. 28, 2023. ISSN 1809-4457. DOI: https://doi.org/10.1590/s1413-415220220194.

SANTOS, C. M. dos; MOURA, N. S. V.; CASANOVA, F. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio, Porto Alegre (RS): Estudo comparativo entre morfologia original e antropogênica. **Derbyana**, Derbyana, v. 46, setembro 2025. ISSN 2764-1465. DOI: https://doi.org/10.69469/derb.v46.854.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, Elsevier BV, v. 6, p. 13 – 25, 2024. ISSN 2589-4714. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001.