ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERIDÓ, NE DO BRASIL, UTILIZANDO O MODELO SWAT

Carlos César de Araújo [1]; José Yure Gomes dos Santos [2] & Geraldo da Silva Wanderley[3]

RESUMO – O presente estudo apresenta a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó, localizada entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. O objetivo foi caracterizar seus parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo utilizando os *softwares* QGIS e SWAT+ integrados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). A metodologia consistiu na delimitação automatizada da bacia e no cálculo das variáveis por meio de equações numéricas e ferramentas geográficas. Os resultados indicaram uma área de drenagem de 9.930,97 km² e perímetro de 816,35 km. O Fator de Forma (Kf = 0,63) apontou formato intermediário com tendência ao alongamento, embora o Coeficiente de Compacidade (Kc = 2,29) e o Índice de Circularidade (IC = 0,187) sugiram formato alongado devido à alta sinuosidade periférica do limite. A bacia possui tempo de concentração elevado (≈ 23h 47min), densidade de drenagem pobre (0,163 km/km²) e relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com declividade média de ~3,0%. Conclui-se que essas características físicas e topográficas resultam em uma resposta hidrológica amortecida, conferindo à bacia menor susceptibilidade a picos de cheias e enchentes.

ABSTRACT– This study presents a morphometric analysis of the Seridó River Hydrographic Basin, located between the states of Paraíba and Rio Grande do Norte. This study aimed to characterize its physical, hydrological, and relief parameters using QGIS and SWAT+ software integrated into a Geographic Information System (GIS) environment. The methodology consisted of automated basin delineation and parameter estimation using numerical equations and geospatial tools. The results indicated a drainage area of 9,930.97 km² and a perimeter of 816.35 km. The Form Factor (Kf = 0.63) pointed to an intermediate shape with an elongation tendency, although the Compactness Coefficient (Kc = 2.29) and Circularity Index (CI = 0.187) suggested an elongated shape due to the high sinuosity of the vectorized boundary. The basin exhibits a high time of concentration (≈ 23 h 47 min), poor drainage density (0.163 km/km²), and a predominantly flat to gently undulating terrain with an average slope of ~3.0%. In conclusion, these physical and topographical characteristics result in a dampened hydrological response, rendering the basin less susceptible to peak flows and flooding.

Palavras-Chave – Análise morfométrica; Bacia Hidrográfica; Modelo SWAT+.

[1]) Mestrando em Geografia pelo GEOCERES – e-mail: carlos01cesar@hotmail.com
[2]) Professor do Departamento de Geografia do CERES, UFRN – e-mail: jose.yure.santos@ufrn.br
[3]) Mestrando em Geografia pelo GEOCERES – e-mail: geraldowanderley15@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem unidades territoriais fundamentais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, especialmente em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro (Alcântara *et al.,* 2020). Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Seridó (BHRS) está sujeita à escassez hídrica e a processos de degradação ambiental intensificados pelo uso e ocupação do solo (Bernardino *et al.,* 2023). Assim, a compreensão de sua dinâmica hidrológica requer a análise de suas características físicas e de relevo, que influenciam diretamente o comportamento hidrológico da bacia.

Nesse sentido, a análise de uma bacia hidrográfica pode ser estabelecida por diversos parâmetros (Rodrigues *et al.,* 2013), e na caracterização morfométrica destaca-se os parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo. Assim, tais parâmetros alinhados podem fornecer subsídios ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos, além de contribuir para a compreensão de processos como enchentes, inundações e erosão (Villela; Mattos, 1975).

A compreensão das características morfométricas de bacias hidrográficas é gerida por diversas ferramentas, inclusive modelos hidrológicos (Silva; Farias, 2021). Dentre eles destaca-se o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), reconhecido como um instrumento robusto e multidisciplinar, com diversas potencialidades, dentre elas a simulação e a predição de processos hidrossedimentológicos, a integração entre interfaces de SIG, como por exemplo o *software* Quantum GIS (QGIS) (Kuwajima *et al.,* 2011).

Objetiva-se, portanto, com o presente trabalho, realizar uma análise morfométrica da BHRS, utilizando-se dos *softwares* QGIS e o SWAT+, integrados ao SIG.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área

A área de estudo corresponde à BHRS, uma importante sub-bacia do sistema hidrográfico Piancó–Piranhas–Açu. Com área de drenagem aproximada de 10.000 km², a bacia estende-se entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, e abrange cerca de 41 municípios, compreendida entre as coordenadas 6°02' e 6°58' de latitude sul e 36°15' e 37°17' de longitude oeste (Figura 1).

O clima predominante é o semiárido quente (BSh), caracterizado por temperaturas médias entre 25 °C e 29 °C, sendo influenciado principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pelos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e pelas Ondas de Leste (OL) (Monteiro, 2022). A rede hidrográfica é composta por rios efêmeros e intermitentes, com drenagem exorreica de padrão dendrítico, destacando-se o Rio Seridó como principal curso d'água da bacia.

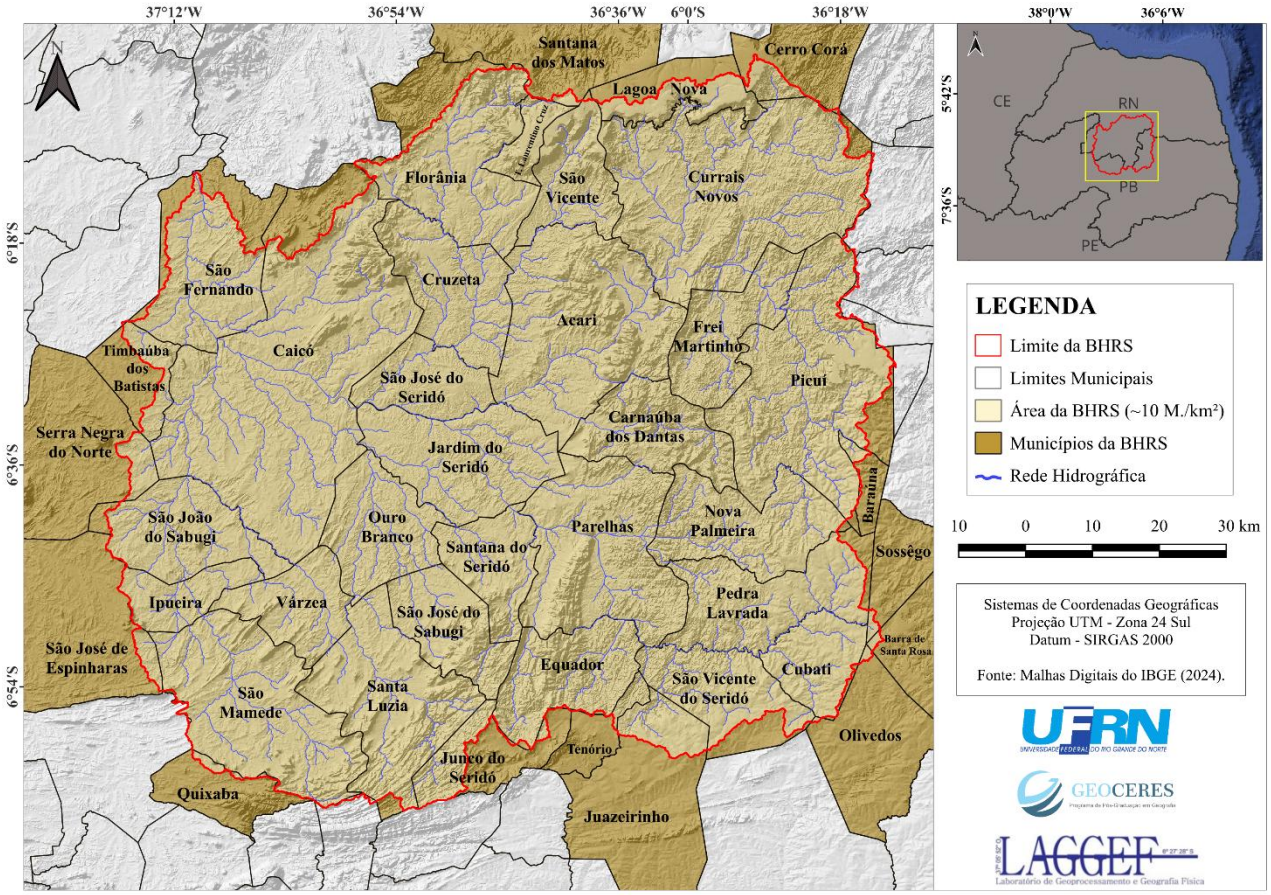


Figura 1 – Mapa de localização da BHRS.

Apresenta predomínio da fitofisionomia savana-estépica e vegetação adaptada às condições semiáridas, composta por espécies caducifólias, arbustos e árvores de pequeno porte (Brito *et al.,* 2025). Geologicamente, predominam rochas metamórficas do Pré-Cambriano Superior, associadas a formas de relevo resultantes da erosão diferencial (Rabelo; Silva, 2016). Os solos mais representativos são os Neossolos Litólicos e os Luvissolos Crômicos (Santos *et al.,* 2018).

2.2. Processamento de dados para a caracterização morfométrica

Para o processamento dos dados utilizou-se o *software* QGIS (versão 3.40.7), além do modelo SWAT+ (versão 3.1.2) integrado ao QGIS. A delimitação da bacia foi realizada através do modelo SWAT+, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do sistema Copernicus (Global DSM 30 m), obtido por meio do plugin *OpenTopography DEM Downloader*. A delimitação da bacia foi precedida pela correção de depressões do MDE por meio da extensão *r.fill.dir*.

Através da extensão do modelo SWAT+ no QGIS, foram utilizados os valores de 220 e 220 km para a delimitação da rede de drenagem e sub-bacias. A delimitação das sub-bacias, com base nesses parâmetros, foi confrontada com a delimitação da sub-bacia do Rio Barra Nova, já estudada em Araújo *et al.,* 2026.

2.3. Morfometria da Bacia

A análise morfométrica da BHRS foi estruturada em três categorias principais: parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo. Para sua realização, foram empregadas ferramentas de SIG, por meio dos *softwares* QGIS e QSWAT, associadas às equações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros para caracterização morfométrica da BHRS.

Parâmetro	Descrição	Equação/Unidade	Fonte
Físicos			
Área de drenagem (A)	Área delimitada pelos divisores topográficos, em projeção horizontal	(km² ou ha)	Villela e Mattos (1975)
Perímetro (P)	Comprimento do divisor de águas da bacia	(km)	França e Dematê (1990)
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo principal (L)	$Kf = \frac{A}{L^2}$ (km^2/km)	Horton (1945)
Coeficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P) e a área da bacia (A)	$Kc = 0{,}28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$ (km^2/km)	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade (IC)	Relação entre a área da bacia (A) e o perímetro (P)	$IC = 12{,}57 * \left(\frac{A}{P^2}\right)$	Miller (1953)
Razão de elongação (Re)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo principal (L)	$Re = 1{,}128 * \left(\frac{A^{0,2}}{L}\right)$	Schumm (1956)
Hidrológicos			
Comprimento do rio principal (L)	Distância ao longo do curso d'água entre a nascente e a foz	(km)	Christofoletti (1980)
Tempo de concentração (tc)	Tempo de deslocamento de uma gota de chuva desde a área mais distante da bacia até o exutório; L: comprimento do curso d'água (km); Δh: diferença de altitude ao longo do curso d'água principal (m)	$tc = 0{,}87 * \left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)$ $(horas)$	Kirpich (1940)
Hierarquia fluvial	Classificação que indica o grau de ramificação da rede de drenagem	-	Villela e Mattos (1975)
Relação de bifurcação (Rb)	Relação entre o número de canais de uma ordem e o número de canais da ordem imediatamente superior	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	Horton (1945)
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento total da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A)	$Dd = \frac{C_r}{A_2}$ (km^2/km)	Horton (1945)
Densidade hidrográfica (Dh)	Relação entre o número total de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A)	$Dh = \frac{N_t}{A}$ (km^{-2})	Christofoletti (1980)

Razão de textura (T)	Relação entre o número total de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P)	$T = \frac{N_t}{P}$ (km^{-1})	Smith (1950)
Relevo			
Altitude média (Améd)	Influencia a distribuição da precipitação e as perdas de água por evaporação e transpiração	(m)	Villela e Mattos (1975)
Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm)	Diferença entre a altitude máxima e a altitude mínima	(m)	Christofoletti (1980)
Declividade média (%)	Controla parcialmente a velocidade do escoamento superficial	(%)	Villela e Mattos (1975)
Índice de rugosidade (Ir)	Relação entre a variação altimétrica (ΔH) e a densidade de drenagem (Dd)	$Ir = \Delta H * Dd$	Christofoletti (1980)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a variação altimétrica (ΔH) e o comprimento do eixo da bacia (L)	$Rr = \frac{\Delta H}{L}$	Christofoletti (1980)

Fonte: Adaptado de Silva; Farias, 2021.

De forma complementar, os cálculos de parâmetros como perímetro, declividade média e altitude média foram realizados por meio de ferramentas do QGIS, com destaque para a calculadora de campo da tabela de atributos. A caracterização do relevo da área de estudo, com base nos valores de declividade obtidos, seguiu a classificação proposta pela EMBRAPA (Santos, *et al.,* 2018), que estabelece as classes de 0 a 3% como relevo plano, 3 a 8% suavemente ondulado, 8 a 20% ondulado, 20 a 45% fortemente ondulado, 45 a 75% montanhoso e valores superiores a 75% como fortemente montanhoso.

A maior parte dos parâmetros morfométricos foi obtida por meio de equações numéricas, enquanto uma parcela dos cálculos foi realizada com o auxílio da calculadora do QGIS. Em seguida, os resultados foram sistematizados e apresentados em forma de produtos cartográficos, como tabelas e mapas, de modo a facilitar sua interpretação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discretização da BHRS, obtida por meio do modelo SWAT+, resultou em 21 sub-bacias e 191 canais de rios (Figura 2). Com base nesses dados e cálculos matemáticos, obteve-se os parâmetros morfométricos da bacia.

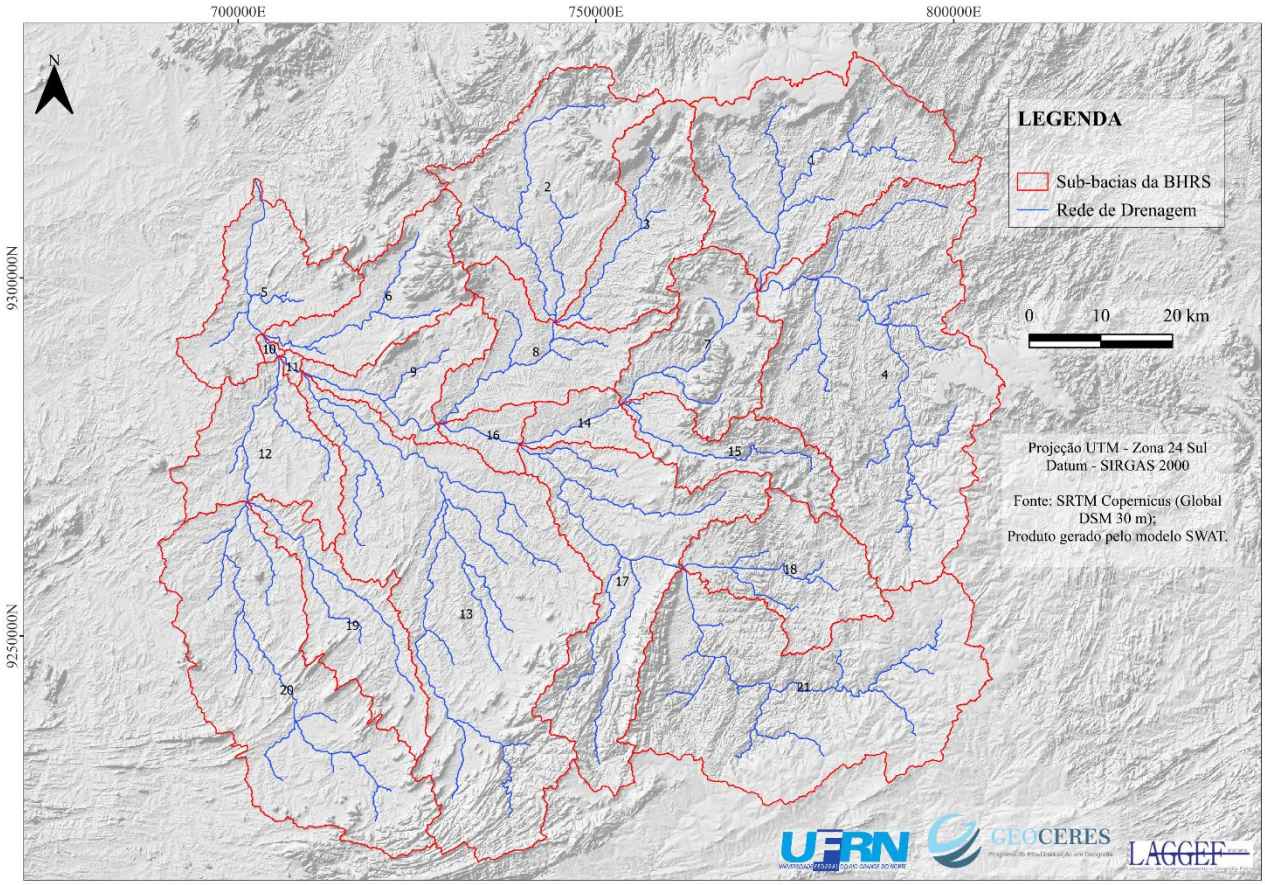


Figura 2 – Mapa das sub-bacias e rede de drenagem da BHRS.

Os parâmetros físicos da BHRS estão representados na Tabela 2. O Fator de Forma Kf = 0,63 indica uma bacia com formato intermediária, com tendência ao alongamento, o que é corroborado pela análise visual do mapa. Contudo, o Coeficiente de Compacidade Kc = 2,29 e o Índice de Circularidade Ic = 0,187 sugeriram um formato alongado. Essa divergência ocorre porque o limite vetorizado da bacia apresenta alta sinuosidade e detalhamento periférico, elevando artificialmente o valor do perímetro total, o que distorce os índices dependentes desta variável (Kc e Ic) (Ferrari *et al.,* 2013).

Tabela 2 – Características morfométricas (parâmetros físicos) da BHRS.

Parâmetro Físico	Valor	Unidade
Área de drenagem (A)	9.930,97	Km²
Perímetro (P)	816.35	km
Fator de forma (Kf)	0,629	km²/Km
Coeficiente de compacidade (Kc)	2.29	Km/Km²
Índice de circularidade (IC)	0,187	-
Razão de elongação (Re)	0.894	-

Os parâmetros hidrológicos obtidos para BHRS estão descritos na Tabela 3. O tempo de concentração ~23h 47min, condicionado pelos 159 km do rio principal, indica uma resposta hidrológica amortecida que reduz os picos de vazão no exutório (Silveira, 2005). A bacia atinge uma

hierarquia de 4ª ordem com valores de Rb inferiores ao intervalo típico de 3 a 5 proposto por Horton (1945) e Strahler (1957), sugerindo influência estrutural moderada e distribuição equilibrada entre as ordens.

Tabela 3 – Características morfométricas (parâmetros hidrológicos) da BHRS.

Parâmetro Hidrológico	Valor	Unidade
Comprimento do rio principal (L)	159	Km
Tempo de concentração (tc)	≈ 23 h 47	horas
Hierarquia fluvial	4	-
Relação de bifurcação (Rb)	1/2 ordem 1,78 2/3 ordem 1,64 3/4 ordem 4,13	-
Densidade de drenagem (Dd)	0,163	canais/Km²
Densidade hidrográfica (Dh)	0,0192	canais/Km131
Razão de textura (T)	0,234	1/km²

Os baixos índices de densidade de drenagem 0,163km/km², valor que a classifica como uma bacia de drenagem pobre segundo os critérios de Villela; Mattos (1975), e densidade hidrográfica 0,0192 canais/km² refletem uma baixa capacidade de geração de novos canais, cenário comum em grandes bacias do semiárido com drenagens intermitentes. Por fim, a razão de textura 0,234 1/km² classifica o relevo como de textura grosseira segundo Smith (1950), indicando menor dissecação, maior infiltração relativa e canais mais espaçados.

A Tabela 4 apresenta as características morfométricas do relevo da BHRS. A altitude média da bacia é de 370,43 m, enquanto a amplitude altimétrica máxima (Hm) é de 754,64 m, evidenciando variações topográficas expressivas. A declividade média de ~3,0% indica o predomínio de relevo suave, embora ocorram setores mais íngremes associados às áreas serranas. A declividade constitui um importante parâmetro morfométrico por influenciar a velocidade do escoamento superficial e a concentração das águas na rede de drenagem. Além disso, o relevo exerce influência sobre processos meteorológicos e hidrológicos, uma vez que variáveis como temperatura, precipitação e evaporação estão relacionadas às condições altimétricas da bacia (Villela; Mattos, 1975).

Tabela 4 – Características morfométricas (parâmetros de relevo) da BHRS.

Parâmetro Relevo	Valor	Unidade
Altitude média (Améd)	370,43	m
Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm)	754,64	m
Declividade média (%)	~3,0	%
Índice de rugosidade (Ir)	122,84	-
Razão de relevo (Rr)	6,00	m/km

O mapa de declividade da BHRS (Figura 3) evidencia o predomínio de áreas com declividades inferiores a 8%, especialmente das classes de 0 a 3% e 3 a 8%, indicando relevo predominantemente suave. As maiores declividades, superiores a 20%, ocorrem de forma localizada, concentrando-se principalmente em setores serranos e escarpados distribuídos pela porção central, sul e nordeste da bacia.

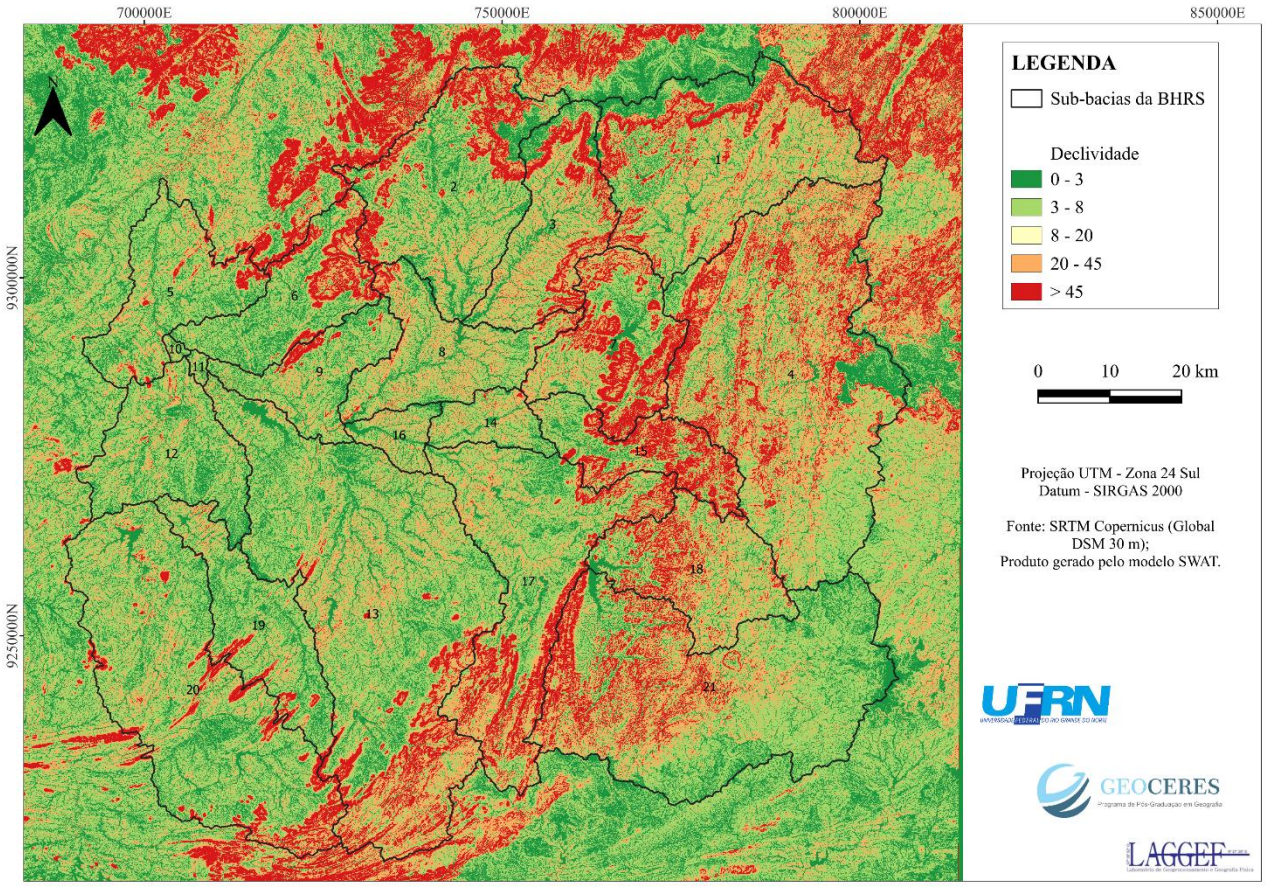


Figura 3 – Mapa de declividade da BHRS.

O índice de rugosidade (Ir) de 122,84 indica relevo heterogêneo, com variações topográficas associadas às áreas serranas da BHRS. A razão de relevo (Rr) de 6,00 m/km sugere moderada energia do relevo, refletindo os contrastes altimétricos existentes na bacia. Segundo Schumm (1956), valores mais elevados de Rr estão associados a maiores desníveis e declividades médias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos parâmetros físicos permitiu concluir que a BHRS possui um formato intermediário com tendência ao alongamento, conforme indicado pelo Kf de 0,63, embora o Kc (2,29) e o Ic (0,187) sugiram um formato alongado. Essa divergência ocorre devido à alta sinuosidade e detalhamento do perímetro vetorizado, que eleva distorce esses índices específicos. No geral, essa configuração contribui para um escoamento superficial mais lento e menor susceptibilidade a enchentes.

Os índices de Densidade de Drenagem (0,163 km/km²) e o elevado Tempo de Concentração (≈ 23h 47min) reforçam a baixa propensão de picos de cheia, caracterizando uma drenagem pobre e uma resposta hidrológica amortecida no exutório. Isso ocorre porque o rio principal possui 159 km de extensão, exigindo um longo tempo para que as águas percorram a bacia.

As declividades indicam um relevo majoritariamente plano a suavemente ondulado (0 a 8%), com uma declividade média de ~3,0%. Essa configuração topográfica, aliada ao formato da bacia, faz com que a água da chuva demore mais tempo para alcançar a rede de drenagem principal.

O uso integrado dos *softwares* QGIS e SWAT+ foi fundamental para a análise, permitindo a discretização da BHRS em 21 sub-bacias e a identificação de 191 canais de rios. Essa modelagem detalhada mostrou-se uma ferramenta eficiente para a obtenção de dados precisos, contribuindo para gestão e tomada de decisões no âmbito de bacias hidrográficas. Além disso, está caracterização constitui uma etapa preliminar da modelagem hidrológica, que será ampliada em estudos futuros com a análise da distribuição espacial dos processos hidrossedimentológicos na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores gradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (GEOCERES/UFRN) e a Direção do Centro de Ensino Superior do Seridó pelo apoio logístico e financeiro, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de Mestrado do terceiro autor.

5. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, L. R. P. *et al. "Pluviometria espaço-temporal da bacia hidrográfica do Uma".* Geociências, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 803-815, 2020.

ARAÚJO, C.C.; SANTOS, J.Y.G.; WANDERLEY, G.S. "*Análise da Pluviometria na Bacia Hidrográfica do Rio Barra Nova–RN/PB"*. International Journal Semiarid, v. 9, p. 251-265, 2026.

BERNARDINO, D. S. M. *et al. "Land Use and Land Cover in the Territory of Seridó UNESCO Global Geopark, Northeast Brazil".* Geoheritage, v. 15, n. 2, p. 62 (1-16), 2023.

BRITO, A. J. S. *et al. Fitofisionomias da Caatinga.* Alegre: CAUFES, 2025, 43 p.

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

DILE, Y. T. *et al. "Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model".* Environmental modelling & software, v. 85, p. 129-138, 2016.

FERRARI, J. L. *et al. "Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego do Horizonte, Alegre-ES"*. Revista Ciências Agrárias, v. 56, n. 3, p. 250-257, 2013.

FRANÇA, G. V.; DEMATTÊ, J. A. M. *"Parâmetros da rede de drenagem de solos da região de Iracemápolis (SP)".* in Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 47, p. 541-555, 1990.

HORTON, R. E. *"Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology".* Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

KIRPICH, P. Z. *"Time of concentration of small agricultural watersheds".* Civil Engineering, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

KUWAJIMA, J. I. *et al. "Proposta da aplicação do modelo SWAT como ferramenta complementar de gerenciamento de recursos hídricos e estimativa de assoreamento em reservatórios".* in Anais WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011, Porto de Galinhas. Porto de Galinhas: International Water Resources Association, 2011.

MILLER, Victor C. *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. Columbia University, 1953.

MONTEIRO, J. B. *"A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino".* Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 312–332, 2022

RABELO, D. R; SILVA, N. S. *"Proposta Preliminar de Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Rio Seridó RN/PB".* Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, p. 262-270, 2016.

RODRIGUES, M. T.; *et al. "Análise morfométrica da microbacia do Córrego do Vangasse - Pratânia/SP".* Fórum Ambiental da Alta Paulista, Tupã, 9: 475 - 482, 2013.

SANTOS, H. G. *et al. Sistema brasileiro de classificação de solos.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

SCHUMM, S. A. *"Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey".* Geological society of America bulletin, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SILVA, A. F.; FARIAS, C. W. L. A. *"Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT".* Revista Semiárido De Visu, v. 9, n. 2, p. 76-86, 2021.

SILVEIRA, A. L. L. *"Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais".* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

SMITH, K. G. *"Standards for grading texture of erosional topography".* American journal of Science, v. 248, n. 9, p. 655-668, 1950.

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

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