

GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE UMA SUB-BACIA DO RIO JAGUARIBE, CEARÁ

Lucas Florêncio da Cunha Teixeira (*), Ulisses Costa de Oliveira, Francisco Frank Soares, Jefferson Sousa Rocha, Carlos Alberto Mendes Junior

* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, lucasfengcivil@gmail.com

RESUMO

O presente estudo objetivou caracterizar a morfometria da sub-bacia do rio Jaguaribe. A área de estudo está localizada na porção leste do Estado do Ceará, pertencente à região hidrográfica do Médio Jaguaribe. Os parâmetros seguintes foram avaliados: Hierarquia Fluvial, Relação de Bifurcação, Sinuosidade, Gradiente dos Canais, Densidade de Drenagem, Coeficiente de Compacidade, Fator de Forma, Densidade de Rios, Coeficiente de Manutenção, Relação de Relevo e Índice de Rugosidade. Foi utilizado como fonte de dados para este trabalho o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, sendo obtidos os Modelos Digitais de Elevação referentes à área de estudo selecionada. O processamento de dados foi feito a partir das ferramentas e plugins do *software* QGIS versão 2.18.7, assim como a partir do *software* Global Mapper. Os resultados obtidos permitem concluir que a rede de drenagem da bacia apresenta magnitude de 5ª ordem, com baixa densidade de drenagem e formato alongado e estreito, com reduzido tempo de concentração e, portanto, pouca suscetibilidade a picos de cheias. Associando-se a situação descrita às condições climáticas da região, é constatada a necessidade de construção de obras de infraestrutura hídrica na região, que assegurem o aporte de volume de água para o abastecimento da população.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Morfométrica, Bacias Hidrográficas, Hidrologia.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica, limitada pelo divisor de águas ou topográfico, corresponde à toda a área de captação da água proveniente da precipitação atmosférica e que proporciona escoamento superficial para o canal principal e secundários. (LIMA, 2008). É, segundo a Lei Federal nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997), a unidade de planejamento e gestão de Recursos Hídricos.

Seu estudo permite avaliar todos os processos que ocorrem nela e, com base no registro das variáveis hidrológicas envolvidas, possibilita um melhor entendimento dos fenômenos e sua representação matemática. A bacia hidrográfica apresenta características essenciais, permitindo a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental, especialmente por ser um estudo descentralizado de conservação e proteção do ambiente. (TUCCI, 1993).

As características físicas da bacia, destacando-se as relacionadas ao relevo, à forma e à rede de drenagem, associam-se ao tempo e velocidade de escoamento da água, afetando diretamente a infiltração de água no solo, em maior ou menor quantidade. A descrição física da bacia permite avaliar sua suscetibilidade quanto ao risco de picos de cheias, escoamento superficial e processos erosivos, norteando a ação de gestores para o manejo da bacia no sentido de possibilitar maior infiltração de água no solo e evitando esses problemas. (LEAL; TONELLO, 2016).

Segundo Leal e Tonello (2016), a bacia deve funcionar como um ambiente permeável, permitindo infiltração e percolação da água até o lençol freático, sendo possível em função dos adequados uso e ocupação do solo. Dessa forma, a bacia será capaz de captar água proveniente das chuvas, armazená-la e aos poucos fornecê-la por meio de suas nascentes no decorrer do ano.

O uso de técnicas e cálculos de forma a quantificar e caracterizar bacias hidrográficas auxiliam no planejamento dessas áreas, com a finalidade de preservação ambiental e manutenção de produção de água. (CAMPOS, 2016).

2. OBJETIVOS

O presente trabalho objetivou a delimitação de uma porção da região hidrográfica do Médio Jaguaribe, localizada na porção leste do Estado do Ceará, além de realizar uma análise morfométrica segundo os parâmetros estabelecidos por Christofolletti (1980).

3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe possui área de drenagem de 10.509 km², o que corresponde a 7,09% do território cearense. O rio Jaguaribe, nessa região, tem como principais afluentes o rio Figueiredo e o riacho do Sangue. Treze municípios estão inseridos nessa sub-bacia, a saber: Alto Santo, Deputado Irapuan Pinheiro, Ererê, Iracema, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Milhã, Pereiro, Potiretama, São João do Jaguaribe, Solonópoles e Tabuleiro do Norte. Com uma capacidade total de acúmulo de águas superficiais de 6.860.905.000 bilhões de m³, a bacia apresenta 13 açudes públicos monitorados pela COGERH. (SRH, 2019).

É possível identificar três tipos de relevo na bacia: as Planícies Fluviais, resultantes de deposições fluviais e constituídas de terras planas que se estendem nas margens dos rios; a Depressão Sertaneja, predominante na área, resultado de elevado processo erosivo associado a clima semiárido; e Maciços Residuais, relativos às serras cristalinas. (INESP, 2009). A heterogeneidade de feições na bacia, compostas por superfícies planas e onduladas, resulta em diferentes comportamentos de escoamento superficial, sendo importante estudos voltados para essa questão na região.

Em termos climáticos, segundo INESP (2009), a bacia possui clima Tropical Quente Semiárido com temperatura média anual em torno de 26°C e 28°C. Associados ao clima predominante na área, os seguintes tipos de vegetação são encontrados: Caatinga Arbustiva Aberta (maior área da bacia), Caatinga Arbustiva Densa e Mata Ciliar (bastante degradada, margeando as proximidades do leito do rio Jaguaribe). Sua precipitação anual média fica em torno dos 742,6 mm.

De acordo com INESP (2009), a sua geologia é composta por embasamento cristalino (88,56%), representado por gnaisses e migmatitos diversos. Sobre esse substrato, repousam os sedimentos (11,44%) cretáceos da Bacia Sedimentar do Apodi.

No tocante à pedologia, os seguintes solos são encontrados na bacia: Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, ao norte; Neossolos Litólicos Distróficos, rasos e com baixo potencial agrícola; Luvisolos, medianamente profundos e moderadamente ácidos; e Argissolos Eutróficos, medianamente profundos e com grande potencial agrícola. (FUCK JÚNIOR, 2008).

3.2. OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados de MDE (Modelo Digital de Elevação) utilizados neste trabalho foram adquiridos na base do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, em formato raster disponível no link <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>, sendo este importado para o software QGIS versão 2.18.7 e reprojetoado para SIRGAS 2000 Zona 24 S, zona esta onde está inserido todo o estado do Ceará.

A bacia foi obtida utilizando-se os plugins SAGA e GRASS, através das ferramentas fill sinks (wang & liu), r.watershed, r.to.vect e r.water.outlet. Em seguida, o arquivo resultante foi exportado para o software Global Mapper, em que foi delimitada uma porção menor da bacia gerada no QGIS.

3.3. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

A análise morfométrica da bacia foi orientada segundo os parâmetros e índices estabelecidos por Christofolletti (1980), sendo separados em quatro itens: hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica, conforme demonstrado pela Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e índices de análise da bacia hidrográfica. Fonte: Christofolletti (1980).

ITEM	ÍNDICE	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO
Hierarquia Fluvial	Hierarquia da bacia hidrográfica	Os canais sem tributários são os de 1ª ordem, os de 2ª ordem são formados por dois canais de 1ª ordem, e assim sucessivamente. (Strahler).	-
Análise Linear da Rede Hidrográfica	Relação de Bifurcação (valor médio) (R _b)	Relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem (N _u) e o número total dos de ordem imediatamente superior (N _{u+1}).	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$

	Sinuosidade (S)	Relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento desenvolvido em linha reta da nascente até a foz (L _r).	$S = \frac{100 \times (L - L_r)}{L_r}$
	Comprimento do Rio Principal (L)	Curso d'água mais longo medido da desembocadura da bacia até determinada nascente.	-
	Gradiente dos Canais (G _c)	Relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término (H _c) e o comprimento do respectivo segmento fluvial (L).	$G_c = \frac{H_c}{L}$
Análise Areal da Bacia Hidrográfica	Área da Bacia (A)	Extensão superficial total da bacia hidrográfica.	-
	Comprimento da Bacia (L)	Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele.	-
	Densidade de Drenagem (D _d)	Relação entre o comprimento total dos canais de escoamento (L _t) com a área da bacia hidrográfica.	$D_d = \frac{L_t}{A}$
	Coefficiente de Compacidade (K _c)	Relação entre o perímetro da bacia e o perímetro do círculo de mesma área.	$K_c = \frac{P}{P_c}$
	Fator de Forma (K _f)	Relação entre a área da bacia e o quadrado do seu comprimento axial medido ao longo do curso d'água principal.	$K_f = \frac{A}{L^2}$
	Densidade de Rios (D _r)	Relação entre o número de rios (N) e a área da bacia hidrográfica.	$D_r = \frac{N}{A}$
	Coefficiente de Manutenção (C _m)	Fornece a área mínima necessária para manutenção de 1 metro de canal de escoamento.	$C_m = \frac{1}{D_d} \times 1.000$
	Amplitude Altimétrica Máxima da Bacia (H _m)	Diferença entre os pontos de maior e menor altitudes da bacia hidrográfica.	$H_m = H_{\max} - H_{\min}$
Análise Hipsométrica	Relação de Relevo (R _r)	Relação entre a amplitude máxima altimétrica e a maior extensão da bacia.	$R_r = \frac{H_m}{L_b}$
	Índice de Rugosidade (I _r)	Combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem.	$I_r = H \times D_d$

4. RESULTADOS

O resultado obtido com os segmentos fluviais é demonstrado na Figura 1, sendo categorizados por cores os segmentos de cada ordem.

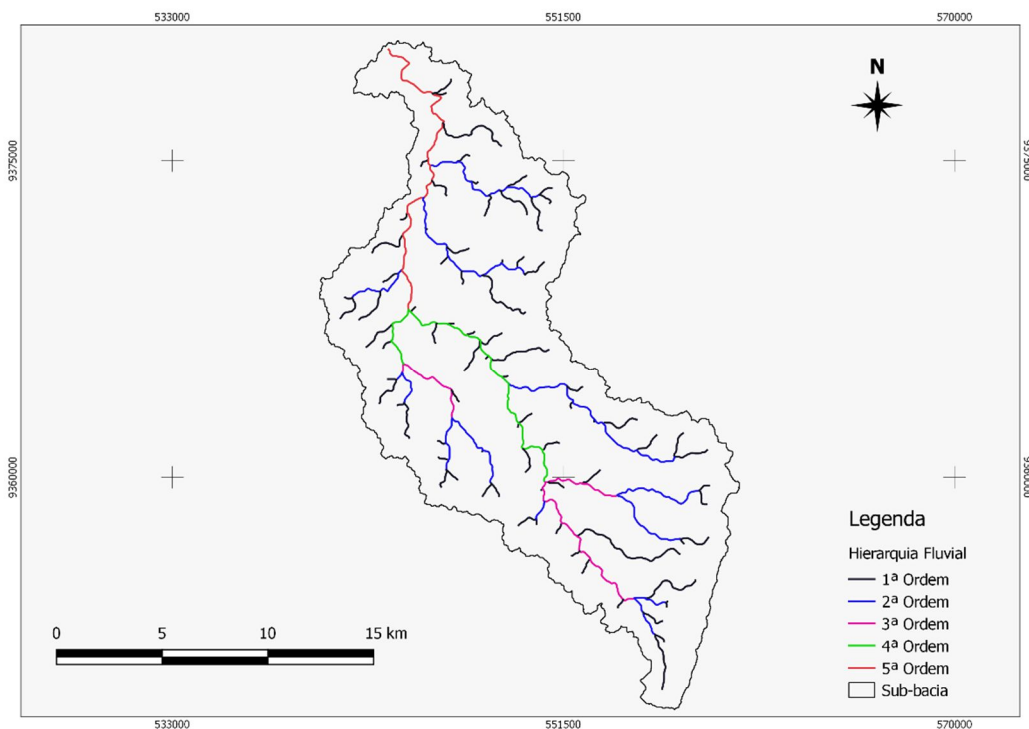


Figura 1: Rede de drenagem mapeada e hierarquizada na sub-bacia delimitada. Fonte: Autor do trabalho.

A quantidade total de segmentos de cada ordem e seus respectivos comprimentos estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Total de segmentos fluviais e comprimento dos rios. Fonte: Autor do trabalho.

Ordem	Segmentos fluviais	Comprimento dos rios (km)
1	82	83,11
2	13	50,60
3	4	16,91
4	2	16,10
5	1	16,46
Comprimento total dos rios (km)		183,18

Os demais parâmetros morfométricos, conforme a divisão estabelecida por Christofolletti (1980), estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado dos parâmetros morfométricos obtidos para a área de estudo. Fonte: Autor do trabalho.

Tipo de Análise	Parâmetro	Unidade	Resultado
Análise Linear	Relação de Bifurcação (valor médio)	-	3,39
	Sinuosidade	-	29,22
	Comprimento do Rio Principal	km	42,58
	Gradiente dos Canais	-	0,526%
Análise Areal	Área da Bacia	km ²	274,19
	Comprimento da Bacia	km	34,19
	Densidade de Drenagem	km/km ²	0,67
	Coefficiente de Compacidade	-	2,39
	Fator de Forma	-	0,23
	Densidade de Rios	rios/km ²	0,30
	Coefficiente de Manutenção	m ²	1496,8
Amplitude Altimétrica Máxima da Bacia	m	566,37	

Análise Hipsométrica	Relação de Relevô	m/km	16,57
	Índice de Rugosidade	m/km	378,39

A bacia apresenta baixos Densidade de Drenagem ($D_d = 0,67 \text{ km/km}^2$) e Fator de Forma ($K_f = 0,23$), que caracteriza a bacia como de formato alongado e estreito (FERREIRA et al, 2010), e alto Coeficiente de Compacidade ($K_c = 2,39$), o que a caracteriza como pouco suscetível a picos de enchentes. O Coeficiente de Manutenção da bacia é alto ($C_m = 1496,80 \text{ m}^2$) e a Densidade de Rios (D_r) obtida foi de $0,30 \text{ rios/km}^2$, podendo atribuir a esses resultados o fato de a bacia ter baixas declividade e capacidade de recarga hídrica (Stipp; Campos; Caviglione, 2010).

A Relação de Bifurcação elevada ($R_b = 3,39$) caracteriza bacias mais alongadas, segundo Christofolletti e Filho (1975). O Índice de Rugosidade obtido ($I_r = 378,39 \text{ m/km}$) é considerado baixo, denotando baixos riscos de enchente. (TRAJANO et al, 2012).

Segundo Mansikkaniemi (1970), que estabeleceu cinco classes para sinuosidade, o rio principal da bacia é considerado reto ($S = 29,22\%$).

Os baixos valores de Gradiente dos Canais da bacia ($G_c = 0,526\%$) e Relação de Relevô ($R_r = 16,57 \text{ m/km}$) demonstram baixo declive do canal principal, situação que caracteriza reduzida velocidade de escoamento superficial na maior parte da extensão do canal e, conseqüentemente, baixa capacidade de gerar erosão.

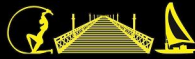
5. CONCLUSÕES

Entende-se que a aplicação de ferramentas de geoprocessamento em gestão de bacias hidrográficas mostra-se fundamental no sentido de ser baixo seu custo de implementação, assim como ser relativamente fácil a sua utilização.

No tocante à bacia analisada pelo presente trabalho, esta configura um sistema de drenagem pobre, com baixa densidade de drenagem, reduzido tempo de concentração e pouca suscetibilidade a picos de cheias, fator também realçado pelo seu formato alongado. Associada às condições climáticas da região, a pouca capacidade de acúmulo de água reforça a necessidade de obras de infraestrutura hídrica que assegurem o represamento de água durante um intervalo maior de tempo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. **Lei Federal no. 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, oito de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- CHRISTOFOLETTI, A & FILHO, A. P. **Estudo sobre a Forma de Bacias Hidrográficas**. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, 5 (9-10): 83-92, 1975.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- FERREIRA, Clarisse Wanderley Souto et al. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira II, no Município de Serra Talhada - PE, Brasil**. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, Coimbra, maio 2010. Disponível em: <<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema2/clarisse>>. Acesso em: 07 jul. 2019.
- FUCK JÚNIOR, S.C. de F. Subsídio à Gestão Ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí - UFG**. Jataí, GO, N.10. jan-jun. 2008. Geoambiente On-Line. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/25953>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- INESP. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Médio Jaguaribe/Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009. 102p.: il. – (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 6).
- LEAL, Mariana Santos; TONELLO, Kelly Cristina. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 439-446, out. / dez. 2016. Leal, M.S.; Tonello, K. C. ISSN eletrônico 1982-4688 DOI: 10.5380/rev.v46i3.45809439. ANÁLISE DA MORFOMETRIA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DA MICROBACIA DO CÔRREGO IPANEMINHA DE BAIXO, SOROCABA, SP. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p.439-446, dez. 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/45809/30143>>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba/SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 2008,245 p.



9. MANSIKKANIEMI, H. (1970). **The sinuosity of rivers in northern Finland**. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis, n.52, p.16-32.
10. SRH. **Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe**. Disponível em: <<https://www.srh.ce.gov.br/comite-da-sub-bacia-hidrografica-do-medio-jaguaribe/>>. Acesso em: 07 jul. 2019.
11. STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara - Uma Contribuição para o Estudo das Ciências Ambientais**. Portal da Cartografia, Londrina, v. 3, n. 1, p.105-124, 2010. Disponível em: <www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/download/8929/7451>. Acesso em: 07 jul. 2019.
12. TRAJANO, S. R. R. da S. et al. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape**. Campinas, SP, 2012. 33 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Gestão Territorial.
13. TUCCI, C. E. M. **Controle de Enchentes**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993. cap. 4.