

CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DO RIO PARAUPEBAS/PA

Data de aceite: 03/06/2024

Andressa Macêdo Silva de Azambuja

Serviço Geológico do Brasil – CPRM,
Superintendência de Belém

Raimundo Almir Conceição

Serviço Geológico do Brasil – CPRM,
Superintendência de Belém

RESUMO: A caracterização fisiográfica de uma bacia hidrográfica é extremamente útil como complemento ao estudo da suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, por meio da obtenção de índices morfométricos quantitativos que auxiliam em estudos hidrológicos e ambientais relacionados à gestão territorial. Assim, esta interpretação preliminar combinada com a validação de campo permite otimizar a tomada de decisão quanto ao potencial de uso e ocupação do solo e uma melhor gestão quanto à possível suscetibilidade a inundações e erosão.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização fisiográfica; Bacia hidrográfica; Gestão territorial

INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é complementar as análises na Área de Influência da Atividade Minerária em Carajás-PA: Sub-bacia do rio Parauapebas (Figura 1), através da obtenção de índices morfométricos quantitativos que auxiliarão nos estudos hidrológicos e ambientais relacionados à gestão territorial. Com isso, a interpretação preliminar aliada à validação de campo permitirá a otimização da tomada de decisão quanto aos potenciais uso e ocupação do solo e melhor gestão quanto à possível suscetibilidade a enchentes e erosões.

Os índices foram calculados a partir de fórmulas e conceitos propostos por Villela e Mattos (1975) e tem como vantagem o conhecimento da dinâmica hídrica e vulnerabilidade ambiental, pré-campo, em tempo hábil e baixo custo, pois utilizando dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e seus derivados é possível inferir o comportamento das sub-bacias de uma área, no que diz respeito ao seu potencial para inundações e para processos erosivos.

A interpretação é realizada a partir das características geométricas, do relevo e da rede de drenagem. Cada aspecto revela dados que são inseridos em equações matemáticas vastamente conhecidas na bibliografia e seus resultados descrevem o comportamento hidrológico da bacia. Os índices morfométricos analisados são apresentados a seguir.

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS ANALISADOS

Coeficiente de compacidade (Kc)

É a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (Villela & Mattos, 1975). É dado por:

$$Kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde: P é o perímetro em km e A é a área da bacia em km².

Valores de Referência: < 1,2 (Totalmente sujeito a enchente); 1,2 - 1,5 (Parcialmente sujeito a enchentes); > 1,5 (Não sujeito a enchentes)

Fator de Forma (Kf)

É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Em bacias de forma mais alongada e estreita, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas ao mesmo tempo em toda sua extensão, afastando assim, a condição ideal para ocorrência de cheias. É dado pela equação:

$$Kf = \frac{A}{C^2} \quad (2)$$

Onde: A é a área da bacia em km² e C é o comprimento axial da bacia em km

Valores de Referência: 1 - 0,75 (Alta propensão a grandes enchentes); 0,75 - 0,50 (Tendência mediana a grandes enchentes); < 0,50 (Não sujeita a grandes enchentes)

Índice de Circularidade (IC)

Ele tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. Segundo SCHUMM (1956) apud EMBRAPA (2012), valores maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular favorecendo os processos de inundação (picos de cheias). Os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, o que contribui para o processo de escoamento. A equação é dada por:

$$IC = \frac{12,57 A}{P^2} \quad (3)$$

Onde: A é a área da bacia em km^2 e P é perímetro da bacia em km

Valores de Referência: $< 0,51$ (Bacia mais alongada favorecendo o escoamento); $0,51$ (Escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas); $> 0,51$ (Bacia circular favorecendo os processos de inundação)

Índice de Rugosidade (I_r)

É um relevante índice que associa a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia. O coeficiente de rugosidade tem uma relação importante com os parâmetros hidrológicos, tais como: infiltração, umidade do solo, regulação do tempo do escoamento superficial e concentração da água das chuvas no canal principal. É dado por:

$$I_r = HDd \quad (4)$$

Onde: H é a diferença entre as cotas máxima e mínima (m) e Dd é a densidade de drenagem (km/km^2)

Valores de Referência: 0 - 150 (Fraca); 151 - 550 (Média); 551 - 950 (Forte); > 950 (Muito forte)

Ordem dos Cursos de Água¹

A ordem do rio principal definirá a extensão de ramificação na bacia e quanto maior o grau de ramificação da rede de drenagem maior a tendência para o pico de cheia. Este índice será obtido segundo Strahler (1957). A ferramenta para obtenção deste índice é Stream Order do conjunto de ferramentas Spatial Analyst (ArcGis 10.8) na qual se observa que: os canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem aparecem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem a partir da confluência dos canais de segunda ordem; e assim sucessivamente.

Valores de Referência: ≤ 3 (Microbacias; pouca ramificação); 4 - 6 (Sub-bacias; ramificação significativa); > 6 (Bacias grandes; alto grau de ramificação e maior tendência para o pico de cheia)

¹ Este índice sofre influência da escala dos mapeamentos para quando se extrai a drenagem

Densidade de Drenagem (Dd)²

Indica a eficiência da drenagem na bacia, o que significa dizer que quanto maior a densidade de drenagem mais rapidamente a água do escoamento superficial originada pela chuva chegará à saída da bacia gerando hidrogramas com picos maiores e em menos tempo. É um dos parâmetros mais importantes pois funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície e, dessa forma, adquire importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de suscetibilidade geomorfológica (SOARES et al., 2016 apud SILVA et al., 2018). Além disso, é utilizado também para pré-avaliação em estudos de regionalização ou transposição de dados hidrológicos entre bacias de uma região, pois permite avaliar a semelhanças de escoamento entre bacias hidrográficas de tamanhos diferentes (mas com mesma escala do mapa). A equação para cálculo de Dd:

$$Dd = \frac{Li}{A} \quad (5)$$

Onde: *Li* é a somatória da extensão dos cursos d'água (efêmeros, intermitentes e perenes), em km e *A* é a área da bacia, em km².

Valores de Referência: < 0,50 (Baixa); 0,50 – 2,00 (Mediana); 2,01 – 3,50 (Alta); > 3,50 (Muito alta)

Sinuosidade (Sin)

Está relacionada à velocidade do escoamento nos canais de drenagem e, em síntese, sua relação com o solo em produzir erosão. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor. Valores próximos a 1 indicam canais retilíneos, valores superiores a 2 indicam canais sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais. É dada pela relação:

$$Sin = \frac{C}{Ct} \quad (6)$$

Onde: *C* é o comprimento do rio, *Ct* comprimento do rio medido em linha reta. Valores de Referência: 0 - 1,0 (Retilíneos); 1,0 - 2,0 (Transicionais); > 2,0 (Sinuosos)

² Este índice sofre influência da escala dos mapeamentos para quando se extrai a drenagem

Tempo de Concentração (tc)

É uma característica de extrema importância para o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia, sobretudo, da chuva crítica e da vazão máxima do escoamento superficial, também denominada vazão de pico. Ele é função das características físicas da bacia e a sua magnitude influencia o pico e a forma do hidrograma do escoamento, sendo, por conseguinte, uma grandeza imprescindível para uma avaliação hidrológica eficaz.

O tempo de concentração (tc) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na seção de saída. Ou seja, o tempo de concentração é o tempo que leva para que a água que choveu no ponto da bacia hidrográfica mais distante da foz possa chegar lá. Então, quando chove sobre uma bacia hidrográfica por um período maior que o tempo de concentração, toda a bacia contribui para o exutório, sendo alcançada a vazão máxima para essa chuva.

Para obter tc existem na literatura várias equações empíricas. Dentre estas, foi usada aqui a de Kirpich (California Culverts Practice), que é dada por:

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (7)$$

Onde: L é o comprimento do rio, em km, e H é diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o nível d'água na seção considerada, em m.

Valores de Referência: < 6 horas (Curto, rápido; Inundações bruscas); > 6 horas (Longo, lento; Inundações graduais)

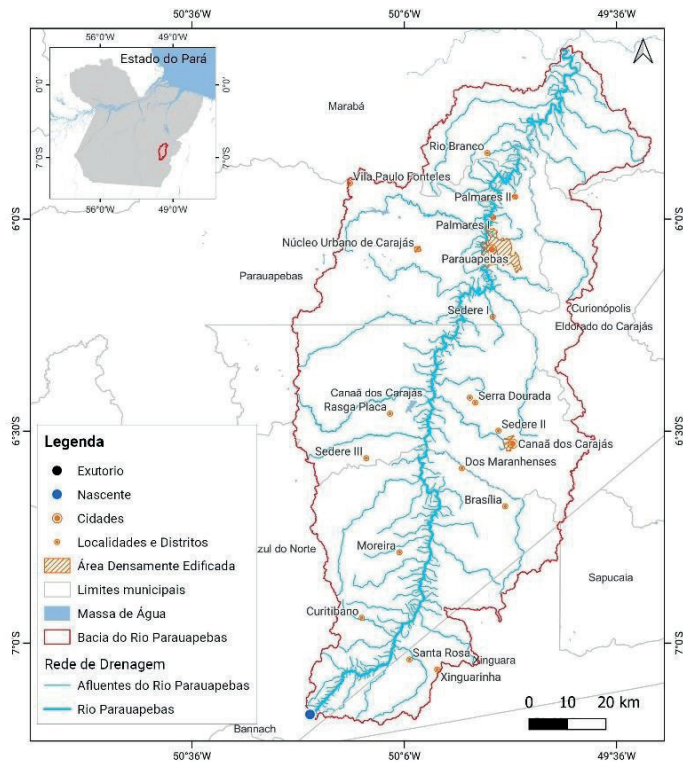


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Rio Parauapebas

METODOLOGIA

A análise foi realizada em ambiente SIG, por meio do QGIS 3.16 e a extensão WhiteboxTools. O dado de entrada principal foi o Copernicus Digital Elevation Model (COP-DEM) com 30 m de resolução (GLO-30). Este modelo, foi pré-processado e corrigido para análises hidrológicas. Também foram utilizadas imagens Google Earth, a partir do Quick Map Service. A partir do MDE pré-processado, foram extraídos os seguintes parâmetros para a bacia:

- Área (A);
- Perímetro (P);
- Amplitude (H);
- Cursos d'água;
- Curso d'água principal;
- Comprimento axial;
- Ordem de drenagem.

Foram também elaborados mapas de declividade e mapa hipsométrico para análise visual (Figuras 2 e 3).

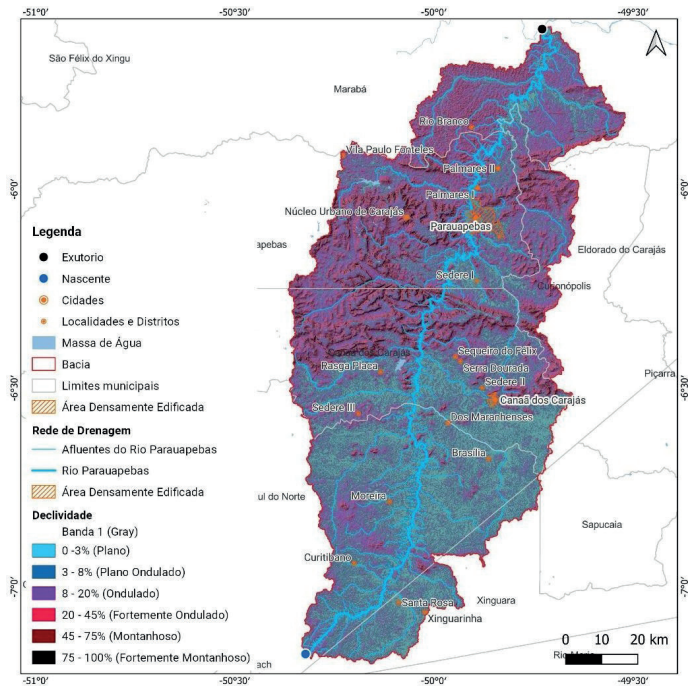


Figura 2: Especialização da declividade da bacia

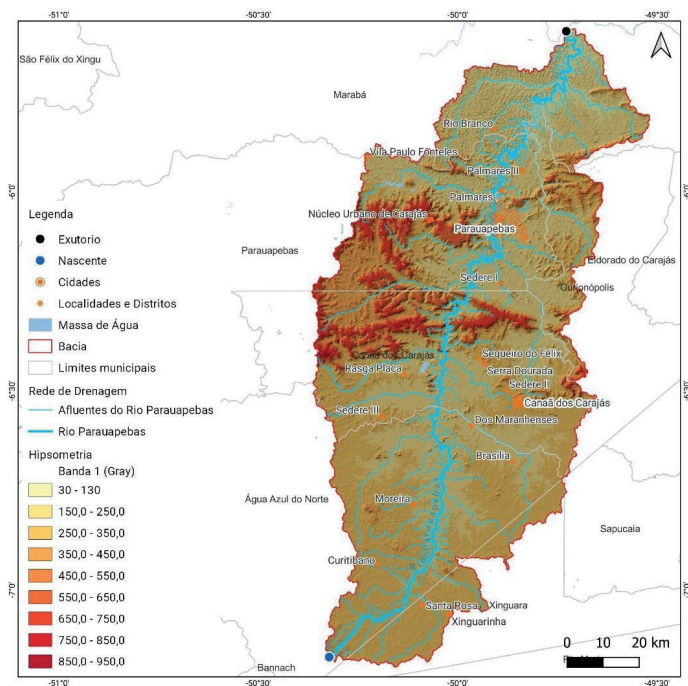


Figura 3: Especialização da altitude da bacia (mapa hipsométrico)

RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises são apresentados na Tabela 1:

Parâmetros	Resultado	Unidade
Área (A)	9.635,0	km ²
Perímetro (P)	737,9	km
Amplitude (H)	801,0	m
Comprimento total dos cursos de água (Li)	12.969,1	km
Comprimento do curso de água principal (C)	320,7	km
Comprimento axial da bacia (Ct)	185,6	km

Tabela 1 – Parâmetros da bacia do Rio Parauapebas

Usando as equações de cada índice morfométrico com os parâmetros obtidos, a bacia pode ser caracterizada:

Índice	Resultado	Unidade	Característica	Tendência
Coefficiente de Compacidade	2,10	-	Alongada	Baixa tendência à enchente
Fator de Forma	0,28	-	Alongada	Baixa tendência à enchente
Índice de Circularidade	0,22	-	Alongada	Baixa tendência à enchente
Densidade de Drenagem	1,35	Km/km ²	Média baixa	Eficiência mediana. Suscetibilidade a processos erosivos.
Índice de Rugosidade	1,08	-	Muito forte	Alto risco de degradação por erosão ocasionada por escoamentos superficiais.
Ordem da bacia	6	-	Ramificação significativa	Maior a tendência para picos de cheia
Sinuosidade	1,73	-	Transicional	Menos retilíneo, podendo haver acúmulo de sedimentos
Tempo de Concentração	4	dias	Muito lento	Resposta mais lenta à precipitação. Maior possibilidade de inundações graduais, e não bruscas.

Tabela 2. Índices morfométricos da bacia

Quando consideradas algumas das principais características físicas da bacia, como as relacionadas à sua forma, o coeficiente de compacidade (2,10), o fator de forma (0,28), o índice de circularidade (0,22), fazem pressupor uma bacia com formato mais alongado/irregular e, portanto, com baixa tendência a enchentes.

Contudo, o índice de rugosidade (1,08), mostra uma tendência muito forte a processos erosivos por escoamentos superficiais, o que, inclusive, demonstra que pode ser desfavorável à algumas práticas agrícolas, mas sim à práticas conservacionistas do solo, sobretudo, na porção Oeste da bacia (ou a região que compreende aproximadamente a porção Sudoeste do município de Parauapebas e Noroeste do município de Canaã dos Carajás).

A bacia é de 6ª ordem o que mostra uma expressiva ramificação do sistema de drenagem e uma tendência maior para picos de cheias.

A densidade de drenagem se constitui como um dos mais importantes índices a ser considerado na análise quantitativa da bacia, pois, representa o grau de dissecação do relevo e funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície. No caso da bacia do Rio Parauapebas, uma densidade de drenagem de 1,35 km/km², medianamente eficiente, mostra certa suscetibilidade a processos erosivos. Importante lembrar que como a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico dos solos e rochas e da declividade média da bacia pode, portanto, variar espacialmente mostrando que alguns pontos são mais suscetíveis a enchentes e/ou processos erosivos. No caso desta bacia é importante atentar para práticas de manejo e conservação de mata ciliar nas áreas sobretudo dos municípios de Canaã do Carajás, Parauapebas, Curionópolis e Marabá. A densidade de drenagem está relacionada ao comprimento total dos rios e a área da bacia, assim, tem relação com a velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo menos provável a ocorrência de picos de enchente. Importante para melhor interpretação deste índice, estudar a litologia da bacia.

O índice de sinuosidade está relacionado à velocidade do escoamento e, em síntese, sua relação com o solo em produzir erosão. O índice encontrado (1,73) sugere que o canal teria uma forma transicional, mais para sinuosa, podendo haver algum acúmulo de sedimentos. Por ser transicional, é importante ratificar em viagem de campo, em qual porção do rio é menos sinuoso, e assim onde é menos propenso à erosão identificando o melhor uso desse solo quanto a cobertura para urbanização e/ou agricultura.

Sobre o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é fundamental saber seu valor já que para chuvas que durem menos que o tempo de concentração o volume de água que caiu na região mais distante vai chegar à foz depois do volume que caiu na região mais próxima à foz já tenha escoado. Já para chuvas com duração iguais ou maiores que o tempo de concentração da bacia, quando o volume que caiu na região mais distante chegar à foz, ele vai se somar com o volume que acabou de cair nas regiões mais próximas, causando uma cheia maior do que a de uma chuva mais curta. O valor encontrado para

a bacia foi de aproximadamente 4 dias o que faz pressupor uma bacia muito lenta em resposta à uma precipitação mais intensa³.

Em bacias não-urbanas, o tempo de concentração depende, essencialmente, do escoamento sobre o terreno. Ou seja, nem toda bacia considerada pequena tem uma resposta rápida (menor de 6 horas) à precipitação.

“Há uma grande dificuldade em estabelecer um limiar, ou seja, um tempo limite que diferencie às inundações bruscas das graduais. De acordo com o NWS/NOAA (2005), este tempo pode ser de 6 horas. A WMO (1994) também sugere que as inundações bruscas são caracterizadas por um tempo de concentração curto, de aproximadamente 6 horas.” (Goerl e Kobiyama, 2014). Em outras palavras, a determinação do tempo de concentração, além de auxiliar na definição da vazão máxima a que está sujeita, também contribuirá para a formulação de ações preventivas de processos de inundação e erosão.

Com isso, mesmo considerando isoladamente, e em condições normais de precipitação estes parâmetros, a bacia do Rio Parauapebas apresenta tendência mediana a enchentes, mas alta suscetibilidade à erosão fluvial, possivelmente na região mais centro-oeste e noroeste da bacia (Parauapebas, Canaã dos Carajás e Curionópolis). O município de Parauapebas seria o mais vulnerável, com poucas áreas de expansão. Fica o alerta, portanto, para a importância de investimento em controle dos processos erosivos e de compactação do solo que podem afetar o ciclo hidrológico local ao modificar as etapas de infiltração e escoamento superficial.

Por fim, este estudo é uma análise pré-campo e servirá, inclusive, como uma orientação para as equipes em viagem. Ressalta-se que estas visitas são necessárias para validação dos dados de vegetação, relevo e a rede de drenagem mas, sobretudo, é de extrema relevância a caracterização do solo e da precipitação com a máxima precisão possível para maior eficácia do diagnóstico da região e, por conseguinte, das propostas de medidas não-estruturais essenciais, e dos potenciais uso e ocupação do solo para os quais a região estaria mais apta.

3 Importante lembrar que o uso desta fórmula (sobretudo nesta bacia que é de 6ª ordem) é ilustrativa/especulativa e que o objetivo primordial é de lembrar a importância prática deste parâmetro para um estudo de gestão territorial através da caracterização fisiográfica. O Tempo de Concentração é um parâmetro hidrológico difícil de ser estabelecido com critério porque há pouca informação sobre a aplicabilidade das diversas fórmulas empíricas disponíveis, num entanto, é possível que uma fórmula, obtida com dados precários ou insuficientes, obtenha ainda assim bons resultados, captando por acaso a realidade física do processo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. V. et al. *Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Riacho Desterro no Cariri e Alto Sertão Paraibano*. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg>>. Acesso em 21 de nov. de 2020.
- ASF - Alaska Satellite Facility. (2015). *Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products*. Product Guide, revision 1.2. Fairbanks, Alaska: [s.n.]. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/03/rtc_product_guide_v1.2.pdf>.
- BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação*. Florianópolis: UFSC, 1994. 112
- SANTOS, Agenor et al. *Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>
- SANTOS, I. et al. *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 312 p.
- EMBRAPA. *Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape, Campinas - SP*, 2012.
- CARDOSO, C.A. et al. *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ*. *Árvore*, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CÉSAR, E.G.M. et al. *Características fisiográficas da bacia do Riozinho do Rola*. Belém, SUDAM, 1990.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Blucher, 1980. CORDEIRO et al. *Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG)*. Disponível em: <<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/529/381>>. Acesso em 15 de ago de 2018.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. *Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593–1600, 1988.
- KOBIYAMA, MASATO. *Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais*. 3ª edição – Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2011. 242p.
- PORTO, M. F. A.; PORTO R. La L. *Gestão de bacias hidrográficas*. *Estudos Avançados* 22 (63), 2008.
- ROSA, L. A. S. *A Bacia Hidrográfica como Unidade Territorial de Gestão Ambiental no Programa de Revitalização do rio São Francisco Monografia (Especialização)*. Brasília: Universidade de Brasília/ Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2011. 91p. STRAHLER, A. N. *Statistical Analysis in Geomorphic Research*. *Journal of Geology*, v. 62, p. 1–25, 1954.
- SILVA, A.M.; LIMA, L. C. *Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Peixe-Boi*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil). Belém: Universidade da Amazônia/ Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, 2000. 54f.
- SILVA, G. et al. *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil*. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.28; p. 2018

SILVEIRA, A. L. L. da. *Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Porto Alegre, V. 10, n.1, p. 5- 23, Mar, 2005.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. *On the extraction of channel networks from digital elevation data*. Hydrological Processes, v. 5, n. 1, p. 81–100, 1991.

TEODORO, V. L. I. et al. *O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local*. REVISTA UNIARA, n.20, 2007

TRAJANO, S. et al. *Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Gestão Territorial. Campinas, SP, 2012. 33 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975. 245p