



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E SUA RELAÇÃO COM AS INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SESMARIA E SUBBACIAS, EM RESENDE-RJ

Angel Loo ^(a), Pedro José de Oliveira Machado ^(b)

^(a) Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Geografia, angeel.loo@hotmail.com

^(b) Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Geografia, pjomachado@gmail.com

Eixo: Dinâmica e Gestão de Bacias Hidrográficas

Resumo

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas constitui ferramenta de grande importância para o seu gerenciamento, possibilitando melhor compreensão de sua dinâmica hidrológica, bem como da ocorrência de eventos específicos, como as inundações. Nesse trabalho foram analisados alguns parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Sesmária e de suas sub-bacias, localizadas entre os municípios de Resende-RJ e São José do Barreiro-SP. Apesar dos resultados apontarem que a bacia e suas subbacias não se apresentam como unidades susceptíveis à ocorrência de inundações, esses eventos tem mantido certa frequência ao longo dos anos.

Palavras Chaves: morfometria, bacia hidrográfica, urbanização

1. Introdução

Esse artigo apresenta alguns resultados da pesquisa que vimos desenvolvendo no Mestrado em Geografia, da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Sesmária (BHRS), e que tem como objetivo analisar os vários condicionantes ligados à ocorrência das inundações que atingem frequentemente parte da área urbana do município de Resende/RJ.

A cidade de Resende sempre sofreu com a ocorrência de inundações, mas em razão do elevado crescimento demográfico registrado nos últimos tempos - em torno de 35% entre os anos de 1990 e 2010 (IBGE, 2010) – o fenômeno tem agravado suas consequências. Nesse contexto, a planície de inundação do Rio Sesmária passou a sofrer



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

com o processo de ocupação, especialmente as margens do rio. A isso se somam a impermeabilização do solo, a retirada da cobertura vegetal, o depósito de resíduos sólidos e as alterações na calha do rio, que ajudam a intensificar os problemas relacionados à inundação. Campos (2017) menciona que os impactos da inundação ocorrem justamente quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco onde os impactos são frequentes.

Embora estudos realizados anteriormente pela Crescente Fértil (2013) – comitê que estuda a BHRS - mostrem que esta bacia é pouco suscetível à ocorrência de inundações, em condições normais de precipitação (excluindo-se eventos de intensidades excepcionais), os episódios passaram a ser mais frequentes na última década, ocorrendo nos anos de 2009, 2010, 2015 e 2016. Segundo a Defesa Civil do município (2016), as inundações de 2010 são consideradas as mais impactantes, tendo atingido um total de 7 bairros, com aproximadamente 500 pessoas desabrigadas, trazendo inúmeros prejuízos econômicos, como alagamento de casas, danos em pontes e muros e paralisação do fluxo viário. De acordo com a Defesa Civil (2016) a população total desses bairros é de, aproximadamente, 7.350 habitantes.

1.1 Área de estudo

A BHRS (Figura 1) localiza-se na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Resende, no estado do Rio de Janeiro e São José do Barreiro, em São Paulo, possuindo área de 149 km². O Rio Sesmaria possui aproximadamente 21 km de extensão dos quais, 16 km encontram-se na zona rural e 5 km na zona urbana de Resende. É formado a partir da confluência dos rios do Feio e Formoso, cujas nascentes estão localizadas na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo. Sua foz está localizada na margem direita do Rio Paraíba do Sul, em uma área densamente urbanizada do município de Resende.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

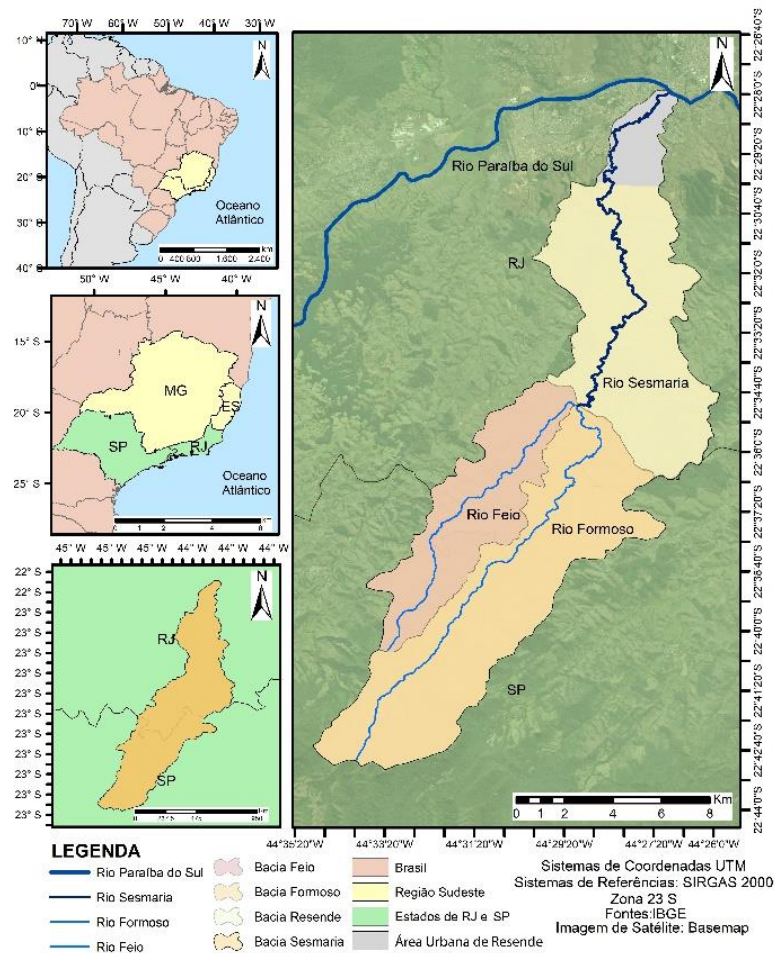


Figura 1: localização da BHRS.

A BHRS drena para NE, no reverso da escarpa da falha Atlântica, denominada de Serra da Bocaina e apresenta dois compartimentos topográficos: um montanhoso e outro colinoso. A morfologia desse relevo, montanhoso nas cabeceiras e colinoso na maior parte de sua área rural, desenhou o curso do Rio Sesmaria com trechos com corredeiras, quedas, vales encaixados e pequenas planícies de inundação (CAMPOS, 2017). O clima da região é considerado subtropical, com inverno seco e verão quente, com temperatura média anual



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

de 20° C. Ocorrem duas estações bem definidas, sendo uma seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março) (CAMPOS, 2017).

Originalmente, a BHRS era coberta pela Mata Atlântica, porém, com a introdução do café, ainda no século XIX, a mata foi aos poucos sendo devastada. Com a crise do café, a região passou à produção da pecuária extensiva e ao cultivo de eucaliptos, para celulose e papel nos dias atuais. Paralelo a isso, a cidade passou a ter uma grande importância no desenvolvimento da região sul fluminense, tornando-se polo para muitas atividades industriais.

2. Materiais e Métodos

2.1 Morfometria

A morfometria de bacias hidrográficas é um estudo muito útil por caracterizar matematicamente seus aspectos geométricos, que por sua vez, possuem implicações com a dinâmica hidrológica das bacias. Assim, pela morfometria é possível identificar determinadas tendências de comportamentos hidrológicos (FRANCO & DAL SANTO, 2015).

Para Machado et al. (2011) a análise morfométrica “objetiva estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes”. Salles (2010) afirma que esta técnica pode ser “entendida como uma análise quantitativa dos elementos resultantes do modelado do relevo (expressão e configuração espacial), sendo o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo”.

2.2 Procedimentos metodológicos

Inicialmente, para o estudo morfométrico da BHRS foram usadas imagens SRTM, obtidas no site da EMBRAPA, para a extração da rede de drenagem da BHRS (as cartas utilizadas referentes a área da bacia foram: F-23-Z-A-II-3, SF-23-Z-A-IV-2, SF-23-Z-A-V-1; do IBGE, na escala 1:50.000). Foi utilizado o *software* ArcGIS 10.5 e seguiu-se a



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

metodologia de hierarquização proposta por Strahler (1952), onde os canais de primeira ordem são considerados tributários, a confluência dos canais de primeira ordem gera os de segunda e assim sucessivamente. Posteriormente, procedeu-se à delimitação automática da bacia do Rio Sesmária e suas sub-bacias: Bacia do Rio Formoso, Bacia do Rio Feio e Bacia de Resende, localizada no baixo curso do Rio Sesmária, na área urbana de Resende. Utilizando-se os recursos do ArcGIS foram calculados os parâmetros morfométricos (Quadro 1) para a BHRS e suas sub-bacias. As variáveis utilizadas são as propostas por Vilella & Mattos (1975) e Christofolletti (1980) e foram selecionadas de acordo com a sua importância nos estudos que envolvem as inundações.

Quadro 1: Parâmetros morfométricos analisados e sua descrição.

Hierarquia de drenagem	A ordem dos canais d'água foi determinada conforme proposto por Strahler (1952), onde os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem são os canais subsequentes à confluência dos canais de primeira ordem e assim sucessivamente.	---
Densidade de drenagem (km/km²)	Resultado da divisão entre o comprimento total de cursos d'água pela área da bacia. Foi inicialmente proposta por Horton (1945).	$Dd = Lt / A$
Fator de Forma	Razão entre a área da bacia (km ²) e o comprimento do eixo da bacia (L), da foz ao ponto mais longínquo da área. Um fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra que apresenta o mesmo tamanho.	
Forma da bacia	Afeta diretamente o tempo de transformação da chuva em escoamento. As principais formas encontradas são: circular, alongada e arredondada.	---
Índice de circularidade	É calculado pela relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro; é usado para	$Ic = 12,57 * A / p^2$



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

	<p>definir o quão próximo a bacia está da forma circular. I_c é o índice de circularidade, A é a área da bacia e A_c é área do círculo de mesmo perímetro. O resultado varia entre 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, a bacia é mais alongada, favorecendo o escoamento. Quanto mais próximo de 1, a bacia tende a ser circular, reduzindo o escoamento e aumentando as chances de cheias da bacia.</p>	
Coefficiente de compacidade	<p>Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.</p>	$K_c = 0.28 * P / \sqrt{A}$
Índice de sinuosidade (canal principal)	<p>É a relação entre a distância da foz do rio à nascente mais distante (em linha reta) e o comprimento do canal principal. L_c: comprimento do canal principal; L_v: comprimento do canal principal em linha reta (km)</p>	$I_s = L_c / L_v$

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados do estudo morfométrico de cada unidade em estudo.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros morfométricos da BHRS e suas unidades

PARÂMETRO MORFOMÉTRICO	BHRS	BRF	BRFOR	BRSD
Área total (km ²)	149,59	30,61	60,40	58,58
Perímetro (km)	88,4	36,16	50,71	47,47
Comp. Totais dos canais (km)	371,42	72,24	163,2	29,39
Comp. Do rio Principal (km)	44,10	14,66	21,29	-
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,4	2,55	2,71	2,21
Fator forma	0,15	0,1	0,19	0,23
Forma da Bacia	Alongada	Alongada	Alongada	Alongada
Índice de Circularidade	0,24	0,29	0,29	0,3
Coefficiente de Compacidade	2,02	1,83	1,84	1,7
Índice de Sinuosidade (canal principal)	1,43	-	-	-



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A partir dos resultados obtidos observa-se que tanto a BHRS quanto suas sub-bacias (BHF, BFOR e BRSD) não se mostram muito susceptíveis à ocorrência de episódios de inundação em circunstâncias normais de precipitações (excluídas as chuvas intensas e volumosas), pois os parâmetros fator forma, índice de circularidade e índice de compacidade são afastados da unidade.

A densidade de drenagem é uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias hidrográficas, representando o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial ou expressando a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A densidade de drenagem (Dd) encontrada para a BHRS e suas sub-bacias (BRF, BFOR, BRSD) são, respectivamente, 2,48; 2,55; 2,71; 2,21. Para Hiruma & Ponçano (1994) valores abaixo de 1,25 são considerados de baixa densidade; valores entre 1,25 e 2,50 são de média densidade e valores acima de 2,50 são bacias de alta densidade de drenagem, ou seja, têm menor tendência a cheias rápidas, já que possuem maior número de ramificações de drenagem, conduzindo à diminuição da velocidade de escoamento. As bacias analisadas possuem de média a alta densidade de drenagem, ou seja, menos chance de ocorrer inundações.

O índice de circularidade (Ic) proposto por Miller em 1953 (*apud* Christofoletti, 1980), correlaciona um valor ideal a um mensurado. Sendo a relação entre a área da bacia e área do círculo, o resultado é adimensional e varia de 0 a 1. Esse parâmetro indica que uma bacia mais alongada (com índice abaixo de 0,51), favorece o escoamento. Se o valor encontrado estiver acima de (0,51) a bacia tende a ser mais circular, com escoamento reduzido e alta probabilidade de cheias (LANA & CASTRO, 2006). Para as bacias em estudo, os IC encontrados foram: 0,24 (BHRS); 0,29 (BRF); 0,29 (BFOR); 1,7 (BRSD). Esses resultados mostram que as unidades possuem formas alongadas que não favorecem a ocorrência de inundações.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O Coeficiente de Compacidade (K_c), também relaciona a forma da bacia com um círculo. De acordo com Vilella & Mattos (1975) esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho. Quanto mais irregular a sua forma, maior será o coeficiente de compacidade. Desse modo, um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia é mais suscetível à ocorrência de enchentes mais acentuadas quando seu coeficiente for mais próximo da unidade (GEORGIN *et al.* 2015). Os valores encontrados foram: 2,02 (BHRS); 1,83 (BRF); 1,84 (BRFOR) e 1,7 (BRSD), indicando que as unidades possuem forma alongada.

O parâmetro Fator de Forma também conhecido como fator de Gravellius, de acordo com Vilella & Mattos (1975) é expresso como sendo a razão entre a área da bacia (A) e o comprimento axial (L) da mesma. Uma bacia com um fator de forma baixo está menos sujeita a enchentes que outra com o mesmo tamanho, mas com fator de forma maior. Os valores encontrados para a bacia e suas sub-bacias de 0,15 (BHRS); 0,19 (BRF); 0,19 (BFOR); 0,23 (BRSD), indicando que elas possuem uma rede de drenagem alongada.

O índice de Sinuosidade (I_s) relaciona o comprimento verdadeiro do canal principal com o comprimento, em linha reta, entre os pontos extremos do canal principal. Esse parâmetro representa também a influência da carga sedimentar, a compartimentação litológica e estrutural (ALVES & CASTRO, 2003). Os valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural (alta energia) e valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandantes (LEITE *et al.* 2012). O valor I_s encontrado para o canal principal da bacia, é de 1,43 indicando alta energia e canais mais retilíneos do que meandantes.

4. Considerações Finais

Embora os resultados obtidos apontem que a BHRS e suas sub-bacias não são susceptíveis à ocorrência de inundações, a situação atual da bacia apresenta outra realidade.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Ressalta-se assim que apenas o estudo dos parâmetros morfométricos não é suficiente para concluir, com certeza, que as unidades em estudo podem ou não apresentar inundações. Para tal é preciso conciliar os parâmetros com as características físicas do relevo, com as transformações do uso, ocupação e cobertura da terra, com as modificações feitas ao longo do canal, que embora visem conter as inundações acabam por intensificá-las. Outra situação especialmente importante é a que se afigura pela interferência da Usina Hidrelétrica do Funil, localizada no Rio Paraíba do Sul, a montante da foz do Rio Sesmaria. Seu processo de operação acaba por influenciar o deságue desse rio. Quando a citada usina libera a água represada do Paraíba do Sul acaba por provocar cheia a jusante, o que por consequência, dificulta o deságue do Rio Sesmaria.

Diante do que foi exposto, conclui-se que o estudo dos parâmetros morfométricos torna-se uma ferramenta de grande importância para a gestão ambiental, visto que apresentam dados básicos para estudar a relação do sistema de drenagem e do relevo, mas não conseguem responder, isoladamente, pela situação observada na BHRS.

5. Referências Bibliográficas

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.

CAMPOS, R.P. Proposta Metodológica E Análise De Viabilidade Econômica De Programa De Pagamento Por Serviços Ambientais Em Bacias Hidrográficas Para Controle De Inundações. 2017.. **Tese (Doutorado)** - Curso de Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 234p. 2017.

CRESCENTE FERTIL. Recuperação Ambiental da Sub-bacia do Rio Sesmaria. Diagnóstico Físico e Socioambiental e Implantação de Unidades Demonstrativas. **Projeto Rio Sesmaria. Relatório Final**. Resende, Rio de Janeiro. 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. A Análise de Bacias Hidrográficas. In:_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher. 185p. 1980.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

DEFESA CIVIL. Prefeitura Municipal de Resende. Alagamento do Rio Sesmaria Causa Transtorno em Resende. **Jornal Beira Rio**. Versão Online. Disponível em <<http://jornalbeirario.com.br/portal/?p=35878>> acessado em 20 de janeiro de 2019.

FRANCO, A. C. V; SANTO, M. A. Dal. Contribuições da Morfometria Para o Estudo das Inundações na Sub-Bacia do Rio Luís Alves/SC. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 151-167, set./dez. 2015. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n3/1984-2201-mercator-14-03-0151.pdf>>. Acessado em 20 de janeiro de 2019

GEORGIN. J, OLIVEIRA, G. A, ROSA A. L.D. da, Estudo comparativo de índices morfométricos relacionado com cheias nas bacias hidrográficas do alto Jacuí e Vacacaí - Vacacaí Mirim – RS. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, p.1357-1364 **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resende. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/resende/panorama>> acessado em: 20 de janeiro de 2019

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG, **Revista Instituto Geológico**. São Paulo, 15(1/2), p. 49-57, jan.dez/ 1994.

LANA, C. E; CASTRO, P. T. A. Resposta da rede de drenagem à heterogeneidade geológica em bacias hidrográficas: uma comparação entre bacias do alto Rio das Velhas e Jequitaiá - MG. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, VI. 2006. Goiânia. **Anais...** Goiânia:UFGO, 2006.

LEITE, M. E, ALMEIDA, J. W; SILVA, R. F. Geotecnologias Aplicadas À Extração Automática De Dados Morfométricos Da Bacia Do Rio Pacuí/Mg. **Revista Brasileira de Cartografia**. n0 64/5. 677-691p. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. 2012

MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR). Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p1441-1448, 2011.

SALLES, M. M. **O Uso Do Sig Na Análise Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Rio São João – MG**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 39, 2010.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **New Halen: Transactions: American Geophysical Union**, v.38. p. 913-920, 1952.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

VILLELA, S. M. MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975