

## **Parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas situadas sobre a Formação Serra Geral, estado do Paraná, Brasil.**

**Morphometric parameters of basins located on the Serra Geral Formation, Paraná state, Brazil.**

*Fernando César Manosso*

Professor Adjunto – PPGEA, Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Francisco Beltrão, Brasil  
[fmanosso@utfpr.edu.br](mailto:fmanosso@utfpr.edu.br)

### **Resumo**

Considerando estudos sobre os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, sua importância para uma melhor compreensão do meio físico, este trabalho objetivou levantar dados sobre diferentes parâmetros morfométricos de quarenta bacias hidrográficas com tamanhos entre 6 e 49 km<sup>2</sup> situadas sobre a Formação Serra Geral, no Terceiro Planalto Paranaense, Folha Topográfica SF-22-Y-D, escala 1:250000. Com apoio de técnicas de geoprocessamento para o levantamento dos parâmetros morfométricos, verificou-se que mesmo sobre a litologia e condições climáticas semelhantes, esses parâmetros podem apresentar uma diversidade em seus resultados, de difícil comparação ou associação. No entanto, conforme o tratamento dos dados, foi possível perceber possíveis correlações entre os parâmetros densidade de drenagem, gradiente, densidade de canais, comprimento médio de vertentes e índice de rugosidade.

**Palavras-chave:** Morfologia de Bacia Hidrográfica; Drenagem; Geomorfologia Fluvial.

### **Abstract**

Considering the studies on the watershed morphometric parameters, and its importance for a better understanding of the physical systems, this work aims data on different morphometric parameters of forty basins with sizes between 6 and 49 km<sup>2</sup> situated on the Serra Geral Formation in the Third Paraná Plateau, on the topographic sheet, 1:25000 scale. With the support of GIS techniques for the analysis of morphometric parameters, it was found that even on the lithology and similar climatic conditions, these parameters may have diversity in their results difficult to compare or association. However, as the processing of data, it was possible to observe possible correlations between the drainage density parameters, gradient, channel density, average length of slopes and roughness index.

**Keywords:** Basin Morphology; Drainage, Fluvial Geomorphology.

## **1. INTRODUÇÃO**

Bacias hidrográficas são importantes unidades de análise geomorfológica e por isso abrigam feições correspondentes à gênese ou a dinâmica de processos atuais. As bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas ativos abertos, onde há entrada e saída de processos e matéria, responsáveis pela sequência de subsistemas hidrográficos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Uma bacia hidrográfica drena, além da água da chuva, sedimentos e materiais dissolvidos para o seu exutório (COELHO NETO, 2001).

Diante da importância e complexidade do sistema bacia hidrográfica, diferentes abordagens geomorfológicas buscam compreender sua estrutura e funcionamento. Uma dessas abordagens é o entendimento, caracterização e correlação entre os seus parâmetros morfométricos.

Horton (1945) talvez seja um dos precursores na definição de parâmetros que visam caracterizar sob aspectos morfológicos, geométricos e analíticos (quantitativos) as bacias hidrográficas, surgindo mais tarde, outros fundamentos, sobretudo por Strahler (1952) e Schumm (1956).

O levantamento das características morfométricas das bacias hidrográficas e sobretudo, a correlação entre elas permitem uma melhor compreensão da magnitude de cada bacia, bem como seu papel e dinâmica no modelado do relevo. E estas variáveis geralmente são correlacionadas com propriedades ambientais, associadas a riscos geotécnicos, enchentes e evolução pedológica (VILELA E MATTOS, 1975).

A partir de técnicas de geoprocessamento, a digitalização de bases cartográficas de detalhe e a construção de MDTs (Modelagem Digital do Terreno), tornou-se mais ágil e eficiente os levantamentos de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas. Por isso, nesse sentido, este trabalho objetiva analisar diferentes parâmetros morfométricos levantados de uma amostragem de 40 bacias hidrográficas de pequeno porte (média de 18 km<sup>2</sup>) situadas no estado do Paraná, sobre a litologia da Formação Serra Geral.

Hott *et al.* (2007) analisou por sistemas de informações geográficas diferentes bacias hidrográficas localizadas próximas entre si e que, portanto, apresentaram bastante homogêneas.

Oliveira *et al.* (2007) e Sodré (2007) correlacionaram bacias hidrográficas de 1ª ordem sob os aspectos de amplitude, perímetro, área e compacidade, e encontrou uma alta correlação entre as altimetrias das bacias.

Paisani *et al.* (2006) mapeou e analisou as relações entre as cabeceiras de drenagem e o controle estrutural em bacia hidrográfica sobre a litologia basáltica da Formação Serra Geral, encontrando forte alinhamento (direção) entre o eixo das cabeceiras e as principais fraturas dos basaltos.

Arraes *et al.* (2010) observou, entre os parâmetros morfométricos avaliados, que quanto maior o gradiente, maior a área; menor a densidade de drenagem, menor a densidade de canais e quanto maior a sinuosidade do canal, maior o gradiente da bacia.

Almeida *et al.* (2013) adotou o método de análise de grupos K-Means par agrupar bacias hidrográficas com parâmetros morfométricos semelhantes.

Kanth e Hassan (2012) analisaram as variáveis morfométricas de 19 bacias hidrográficas visando classificá-las para subsidiar a tomada de decisão em ações de conservação do solo e água, para resultar na resposta hidrológica das bacias. Nesse trabalho o objetivo não foi necessariamente analisar a relação entre os parâmetros, mas observando os seus resultados, estes indicam uma forte relação entre densidade de drenagem onde há maior relação de bifurcação entre os canais e também uma forte relação entre densidade de drenagem com a rugosidade do terreno.

Lavarini e Junior (2013) observou os parâmetros morfométricos de bacias de cabeceira (situação amostral muito semelhante aqui trabalhada) e encontrou forte influência de controle estrutural, maior densidade de drenagem conforme maior rugosidade e quanto maior a área, maior o gradiente.

Pissarra *et al.* (2010) avaliou a predominância do padrão geométrico de drenagem entre dezenas de subbacias da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, no estado de São Paulo, verificando a maior frequência de padrões dentrítico e subdentrítico nas cabeceiras e subparalelo a jusante.

Garde (2006) salienta que muitos parâmetros morfométricos estão associados outros elementos, como a densidade de drenagem diretamente relacionada a litologia, aos solos, à vegetação e ao clima, promovendo assim uma dinâmica de descargas particular, tanto de água como de sedimentos.

E com uma quantidade menores de bacias hidrográficas, e às vezes, próximas entre si, Teodoro *et al.* (2007) e Beven e Wood (1988) também correlacionam alguns parâmetros.

## 2. ÁREA, MATERIAIS E MÉTODOS

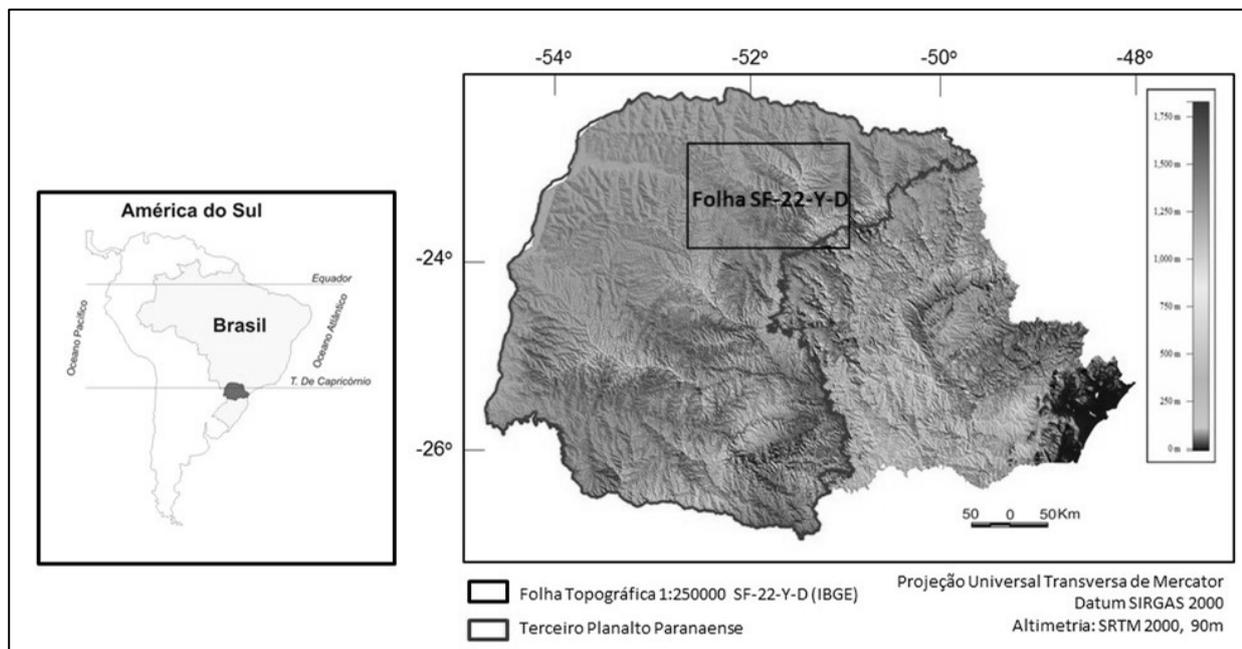
A região caracteriza-se geomorfologicamente pelo compartimento do Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 1968) situado sobre um substrato litológico constituído por uma sucessão de derrames vulcânicos ocorridos no Período Juro-Cretáceo (rochas basálticas e andesi-basálticas, predominantemente), da Formação Serra Geral, Grupo São Bento, as quais podem atingir idades próximas a 140 milhões de anos (FODOR, 1989).

Segundo Santos *et al.* (2006) o Terceiro Planalto Paranaense corresponde ao grande derrame mesozoico de rochas eruptivas básicas, ocupando 2/3 do território paranaense organizando um relevo de planaltos residuais da Formação Serra Geral, com inclinação para oeste-noroeste.

### 2.1. Localização da área

As bacias hidrográficas utilizadas como amostras neste trabalho estão localizadas sobre litologia basáltica da Formação Serra Geral, nos limites da Folha Topográfica SF-22-Y-D de escala 1:250000 (IBGE,1977), (Figura 1), sendo obtido os dados morfométricos a partir das folhas

topográficas em escala 1:50000, desdobradas da folha SF-22-Y-D supracitada. O modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission – NASA) também foi utilizado de maneira complementar, pois a resolução do modelo é de 90 metros e sabe-se que a qualidade da resolução influencia diretamente no resultado obtido dos parâmetros morfométricos (CUNHA E BACANI, 2019).



**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo.

## 2.2. Materiais

O levantamento baseou-se em uma seleção de 40 de bacias hidrográficas com tamanhos entre 6 até 49 km<sup>2</sup> situadas sobre o Terceiro Planalto Paranaense e litologia basáltica da Formação Serra Geral e que tivessem todos os seus interflúvios topográficos no interior dos limites do mapeamento sistemático das folhas topográficas de escala 1:50000 contidas na articulação da Folha Topográfica SG-22-Y-D (IBGE, 1977). Procurou-se amostrar bacias hidrográficas situadas sobre a mesma litologia, uma vez que as estruturas geológicas podem influenciar diretamente no padrão e comportamento dos dados morfométricos das bacias. Entretanto, sabe-se que mesmo a litologia da Formação Serra Geral, ao longo do território, pode apresentar forte controle estrutural de diques de diabásio, lineamentos e degraus resultantes da sequência e estrutura de cada derrame (FERNANDEZ, 2009; PAISANI *et al.*, 2006; PAISANI *et al.*, 2008). Nesse caso não foi levado em consideração a correlação dos resultados fluviomorfométricos com processos ou deformações neotectônicas, conforme evidências já apresentadas pela literatura (GUEDES *et al.*, 2015; COUTO *et al.*, 2011).

### 2.3. Métodos

Por meio de técnicas de geoprocessamento e cartografia digital, por intermédio dos softwares Global Mapper e ArcGis, extraiu-se os principais parâmetros morfométricos presentes nas principais literaturas (HORTON, 1945, STRAHLER, 1957, CHRISTOFOLETTI, 1980, VILELLA; MATTOS, 1975). Os parâmetros selecionados, em conjunto permitem caracterizar o sistema de drenagem, bem como sua situação de evolução geomorfológica na paisagem.

**Área (A):** corresponde a área de drenagem da bacia hidrográfica, individualizada pelos interflúvios principais (km<sup>2</sup>).

**Perímetro (P):** comprimento total do delineamento contínuo do interflúvio principal que individualiza a poligonal da bacia hidrográfica (km).

**Gradiente (G):** corresponde ao gradiente topográfico ou amplitude altimétrica entre o ponto mais alto da bacia e a foz do rio principal (m/km) dado pela Equação 1.

**Equação 1** - Gradiente da Bacia hidrográfica.

$$G = \frac{A_n - A_f}{L}$$

Sendo  $A_n$  a altitude na nascente ou topo da bacia,  $A_f$  a altitude na foz e  $L$  o comprimento total do rio principal.

**Grau de Sinuosidade (Sin):** relação entre o comprimento total do curso principal e o comprimento do eixo reto do vale, dado pela equação 2.

**Equação 2** - Sinuosidade do Curso d'Água.

$$Sin = \frac{L}{L_t}$$

Sendo  $L$  o comprimento total do rio principal e  $L_t$  o comprimento do eixo do vale.

**Densidade de Drenagem ( $D_d$ ):** Se refere ao somatório do comprimento total de rios por área da bacia (m/km<sup>2</sup>) conforme equação 3.

**Equação 3** - Densidade de Drenagem.

$$D_d = \frac{L_h}{A}$$

Sendo  $A$  é a área de drenagem e  $L_h$  o comprimento total dos cursos d'água na bacia.

**Densidade de Canais ( $D_c$ ):** é a densidade da quantidade de canais, individualizados por ordem hierárquica (Strahler, 1957) por área da bacia (canais/km<sup>2</sup>), conforme equação 4.

**Equação 4** - Densidade de Canais.

$$D_c = \frac{Q_c}{A}$$

Sendo  $Q_c$  a quantidade de canais e  $A$  a área da bacia.

**Comprimento Médio de Vertente (CMV):** é o tamanho médio das vertentes (medida do topo ao rio) ao longo da bacia hidrográfica, definido pela Equação 5.

**Equação 5** - Comprimento médio de vertente.

$$CMV = \frac{\sum_{cv}}{n}$$

Sendo  $\sum_{cv}$  o somatório das medidas de cada vertente e  $n$  o número de medidas realizadas ao longo da bacia.

**Coefficiente de compacidade ( $K_c$ ):** relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com área igual à área da bacia, definida pela equação 6.

**Equação 6** - Coeficiente de Compacidade.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo  $P$  é o perímetro e  $A$  é a área de drenagem da bacia.

**Fator de Forma ( $K_f$ ):** relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, relacionando-a com um retângulo, definido pela equação 7.

**Equação 7** - Fator Forma.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Sendo  $A$  é a área da bacia e  $L$  o comprimento do eixo da bacia, da desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia.

**Índice de rugosidade ( $Ir$ ):** ponderação entre densidade de drenagem e amplitude altimétrica da bacia, definida pela equação 8.

**Equação 8** - Índice de Rugosidade.

$$I_r = H \cdot D_d$$

Sendo  $H$  a amplitude altimétrica da bacia e  $D_d$  a densidade de drenagem da bacia.

Em seguida organizou-se uma tabela com os resultados de todos os parâmetros avaliados para cada bacia hidrográfica. Esses resultados foram interpretados procurando correlacioná-los entre si, de modo a verificar possíveis relações positivas ou negativas, lineares ou não lineares proporcionais entre os parâmetros. Para isso aplicou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman ( $\rho$ ) dada pela equação 9, a análise de regressão linear simples ( $R^2$ ) para melhor ilustrar aqueles parâmetros identificados com algum tipo de relação entre si, verificando-se qual o tipo de comportamento linear.

**Equação 9** - Coeficiente de Correlação de Spearman ( $\rho$ ).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d^2}{n(n^2 - 1)}$$

A matriz de correlação de Spearman foi aplicada a um nível de significância de 0,05 (5%), por meio do software XLSTAT e Microsoft Excel (Teste de Tukey).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos objetivos propostos, materiais utilizados e metodologia aplicada, alcançou-se um conjunto de resultados dos diferentes parâmetros morfométricos (Tabela 1) para cada bacia hidrográfica analisada.

A Tabela 1 apresenta para cada linha, os diferentes parâmetros morfométricos das bacias avaliadas.

**Tabela 1** - Relação dos dados dos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas amostradas na área de estudo: (A: área; P: perímetro; G: gradiente; S: sinuosidade; Dd: densidade de drenagem; Dc: densidade de canais; CMV: comprimento médio de vertente, Kc: coeficiente de compacidade, Kf: índice de forma; Ir: índice de rugosidade).

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	P (km)	G (m/km)	Sin	Dd (m/km <sup>2</sup> )	Dc (c/km <sup>2</sup> )	CMV (m)	Kc	Kf	Ir
1	19	17	23	1,1	632	3,8	852	1,13	0,1	0,12
2	21	19,5	27	1,23	819	0,33	719	1,2	0,3	0,17
3	14	15	45	1,15	1300	0,9	385	1,17	0,28	0,26
4	26	13	16	1	669	3,84	688	1,45	0,36	0,09
5	21	20	26	1,07	788	0,5	703	1,21	0,19	0,11
6	37	27	9	1,1	340	0,07	1600	1,48	0,43	0,03
7	49	30	10	1,17	248	0,06	1800	1,21	0,18	0,025
8	6,5	18,5	24	1,05	880	3,08	285	2,03	0,45	0,09
9	20	18	14	1,09	1230	0,85	675	1,17	0,23	0,13
10	10	15,5	56	1,22	2260	2,4	201	1,37	0,3	0,706
11	14	17,3	49	1,06	1740	2,3	263	1,26	0,09	0,5
12	23,2	24,8	23,6	1,16	1320	0,99	497	1,4	0,26	0,49
13	19,7	19,1	16,5	1,08	860	0,75	904	1,2	0,1	0,1
14	14,7	17,05	18,5	1,06	1220	1,35	360	1,24	0,15	0,15
15	20,7	21	30	1,27	1640	1,3	329	1,3	0,46	0,46
16	13,7	15,5	16,9	1,14	1210	1,02	1370	1,17	0,12	0,12
17	9,2	16,8	32,9	1,27	2210	1,4	296	1,55	0,57	0,57
18	25	24,1	17,2	1,07	610	0,36	710	1,35	0,09	0,09
19	7,4	11,8	17,5	1,11	1420	1,07	346	1,21	0,08	0,86
20	18,2	17,3	15,5	1,24	630	0,44	630	1,13	0,51	0,07
21	19,2	18,5	14,3	1,008	650	0,57	340	1,18	0,37	0,08
22	11,6	15,05	15,9	2	800	1,03	420	1,24	0,33	0,1
23	6,7	11	25,3	1,05	900	0,6	510	1,2	0,5	0,1
24	14,7	19	8,05	1,3	722	0,4	866	1,38	0,2	0,17
25	11	13,8	20,9	1,12	450	0,75	886	1,17	0,39	0,11
26	14,5	16,6	14,4	1,11	550	0,78	600	1,22	0,53	0,09
27	18,5	17,6	14,71	1	710	0,59	481	1,44	0,44	0,11
28	14	14,85	19,41	1,04	800	0,57	548	1,1	0,43	0,11
29	14,5	17,1	10,6	1,05	950	0,89	416	1,26	0,48	0,06
30	18	16,55	8	0,93	82	0,5	1100	1,09	0,32	0,03
31	17,7	16,5	29	0,95	1400	2,5	175	0,97	0,42	0,31
32	18,3	17,8	20,6	1,26	1200	1,03	259	1,16	0,39	0,16
33	17,9	17,5	12,9	1,11	1240	1,05	515	1,15	0,49	0,12
34	8,28	12	11	1,05	2000	2,5	310	1,17	0,35	0,14
35	43,8	27,4	8,87	1,07	420	0,36	953	1,16	0,44	0,06
36	29,2	24,8	14,5	1,09	579	0,37	904	1,28	0,32	0,09
37	10,56	13,7	15,25	1,24	1840	2,27	245	1,18	0,5	0,368
38	16,5	19	8,57	1,07	718,1	0,66	544	1,12	0,41	0,07
39	19,1	24	19,35	1,03	724	0,47	1230	1,08	0,27	0,108
40	18,4	36	11,5	1,19	3400	1,8	451,2	1,17		0,27
<b>Média</b>	<b>18,29</b>	<b>18,68</b>	<b>19,76</b>	<b>1,13</b>	<b>1054</b>	<b>1,16</b>	<b>634,16</b>	<b>1,24</b>	<b>0,32</b>	<b>0,19</b>
<b>Máx</b>	<b>49</b>	<b>36</b>	<b>56</b>	<b>2</b>	<b>3400</b>	<b>3,84</b>	<b>1800</b>	<b>2,03</b>	<b>0,57</b>	<b>0,86</b>
<b>Mín</b>	<b>6,5</b>	<b>16,5</b>	<b>8</b>	<b>0,93</b>	<b>82</b>	<b>0,06</b>	<b>175</b>	<b>0,97</b>	<b>0,08</b>	<b>0,025</b>
<b>DP</b>	<b>8,99</b>	<b>5,16</b>	<b>10,84</b>	<b>0,17</b>	<b>643,90</b>	<b>0,96</b>	<b>379,77</b>	<b>0,17</b>	<b>0,14</b>	<b>0,19</b>

Considerando o objetivo de verificar possíveis correlações entre os parâmetros levantados entre as bacias hidrográficas, teoricamente sujeitas a litologia e condições climáticas semelhantes, conforme a Tabela 1, verificou-se que dentre as bacias amostradas, a área (A) máxima foi de 49 km<sup>2</sup> e mínima de 6,5 km<sup>2</sup>, com um tamanho médio de todas amostras de 18 km<sup>2</sup>. O perímetro (P) médio foi de 18,6 km, sendo o máximo de 36 km e o mínimo de 11 km. O gradiente (G) das bacias possui uma média de 19,7 m/km, sendo o máximo de 56 m/km e o mínimo de 8m/km. O grau de

sinuosidade (S) dos leitos principais dessas bacias possuem uma média de 1,13, sendo o mais sinuoso de 2 e o menos sinuoso de 0,93. A densidade de drenagem (Dd) média foi de 1054 m/ km<sup>2</sup> de rios, com uma máxima de 3400 m/km<sup>2</sup> e mínima de 82 m/km<sup>2</sup>. A densidade de canais (Dc) média foi de 1,16 canais / km<sup>2</sup>, com o valor máximo de 3,84 canais / km<sup>2</sup> e um mínimo de 0,06 canais / km<sup>2</sup>. O comprimento médio das vertentes (CMV) ou segmentos de encosta foi de 634 m, com tamanho máximo de 1800m e mínimo de 175 m. O índice de compacidade (Kc) médio foi de 1,24, o máximo de 2,03 e o mínimo de 0,97, enquanto que o índice de forma (Kf) médio foi de 0,32, o máximo de 0,57 e o mínimo de 0,08. E por fim, o índice de rugosidade (Ir) médio foi de 0,19, o máximo de 0,86 e o mínimo de 0,02.

A partir da Tabela 2 é possível verificar que a matriz de Spearman aponta parâmetros onde sua relação com algum outro possa haver uma tendência de correlação positiva ou negativa, sendo que os valores próximos a 0 (zero) estão isentos de qualquer correlação.

É natural (Tabela 2), que o P (perímetro) e A (área) possuam uma correlação destacada com Dd (densidade de drenagem), Dc (Densidade de canais) e CMV (comprimento médio de vertentes), uma vez que os últimos três parâmetros variam conforme o tamanho das bacias hidrográficas.

**Tabela 2** - Matriz de correlação de Spearman ( $\rho$ ).

	Área	P	G	S	Dd	Dc	CMV	Kc	Kf	Ir
Área	<b>1</b>									
P	<b>0,766</b>	<b>1</b>								
G	-0,277	-0,215	<b>1</b>							
Sin	-0,070	0,087	0,151	<b>1</b>						
Dd	<b>-0,529</b>	<b>-0,378</b>	<b>0,532</b>	0,210	<b>1</b>					
Dc	<b>-0,532</b>	<b>-0,579</b>	<b>0,428</b>	-0,011	<b>0,680</b>	<b>1</b>				
CMV	<b>0,554</b>	<b>0,419</b>	<b>-0,456</b>	-0,043	<b>-0,750</b>	<b>-0,691</b>	<b>1</b>			
Kc	0,033	0,188	0,138	0,192	0,103	0,095	-0,153	<b>1</b>		
Kf	-0,213	-0,161	-0,121	0,015	-0,009	0,046	-0,282	-0,004	<b>1</b>	
Ir	<b>-0,392</b>	<b>-0,318</b>	<b>0,642</b>	<b>0,377</b>	<b>0,826</b>	<b>0,552</b>	<b>-0,578</b>	0,105	-0,210	<b>1</b>

As correlações negativas que merecem destaque, são aquelas entre entretanto, nessa matriz, vale destacar aquelas entre CMV e G (gradiente), CMV e Dd, CMV e Dc, Ir (índice de rugosidade) e CMV, enquanto que as correlações positivas destacadas são entre Dd e G, Dc e G, Dd e Dc, Ir e G, Ir e Sin (sinuosidade), Ir e Dd, Ir e Dc.

A partir dos indicativos de correlação, ou para aqueles valores de correlação mais distantes de 0 (zero) apresentados na matriz de correlação (Tabela 2) elaborou-se os gráficos de dispersão (Figura 2 A, B, C, D, E, F, G) para os principais parâmetros destacados na Tabela 2.

Na Figura 2A, mostra-se o comportamento de correlação positiva entre G (gradiente) e Dd (densidade de drenagem), indicando maior gradiente quando maior a densidade de drenagem ao longo das bacias amostradas, sendo a linha de tendência linear ( $R^2=0,36$ ) o melhor ajuste.

O G (gradiente) também apresentou uma correlação interessante, agora negativa, com o CMV (comprimento médio de vertente), (Figura 2C) tendendo ao gradiente ser maior quando menor for com CMV. Considerando menores CMV corresponderem a bacias de relevo mais dissecadas com maiores declives, certamente essa característica é refletida no gradiente maior. Para essa correlação, o melhor ajuste dos dados ( $R^2=0,27$ ) ficou representado por uma linha de tendência logarítmica.

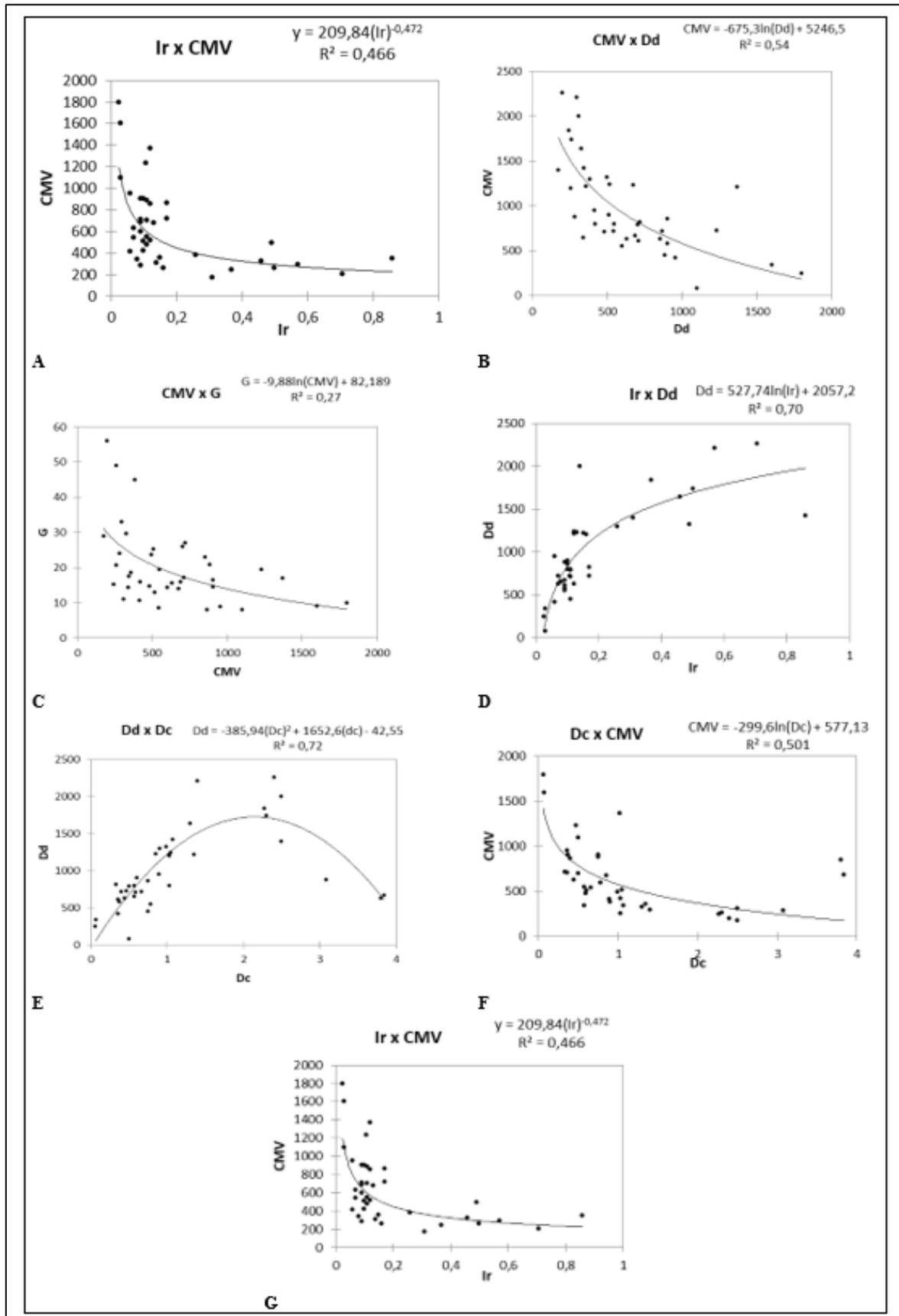
O CMV ainda apresentou uma correlação de destaque com outros três parâmetros avaliados. O primeiro (Figura 2B), e negativo foi com a Dd, indicando uma menor densidade de drenagem quando maior o comprimento de vertente, uma vez que altos CMV correspondem a bacias de colinas mais amplas e conseqüente menor rede de drenagem. Essa correlação ( $R^2=0,54$ ) também se ajustou uma linha de tendência logarítmica.

Ainda associado a essa relação do CMV com a Dd, o CMV também apresentou uma correlação negativa com a Dc (Figura 2F), com ( $R^2=0,50$ ) e linha de tendência logarítmica.

O CMV ainda se correlacionou negativamente com o Ir (índice de rugosidade), (Figura 2G) indicando maiores índices de rugosidade para as bacias com menores CMV, aquelas de provável relevo mais dissecado e menores distanciamentos entre os topos. A linha de tendência ( $R^2=0,46$ ) melhor se ajustou no método de potência.

O índice de rugosidade também se correlacionou, mas de maneira positiva, com a densidade de drenagem (Figura 2D), sendo quanto maior o Ir, maior a Dd, pois reflete o discutido na correlação da figura 2B. Sua linha de tendência foi logarítmica, ( $R^2=0,70$ ).

E por fim, a Dd (Figura 2E) obviamente apresentou uma correlação positiva com Dc, pois trata-se da quantidade de canais da rede de drenagem ao longo das bacias amostradas. Mas o comportamento dos dados, talvez por algumas bacias diferentes para essa amostragem, sua linha de tendência é polinomial ( $R^2=0,72$ ).

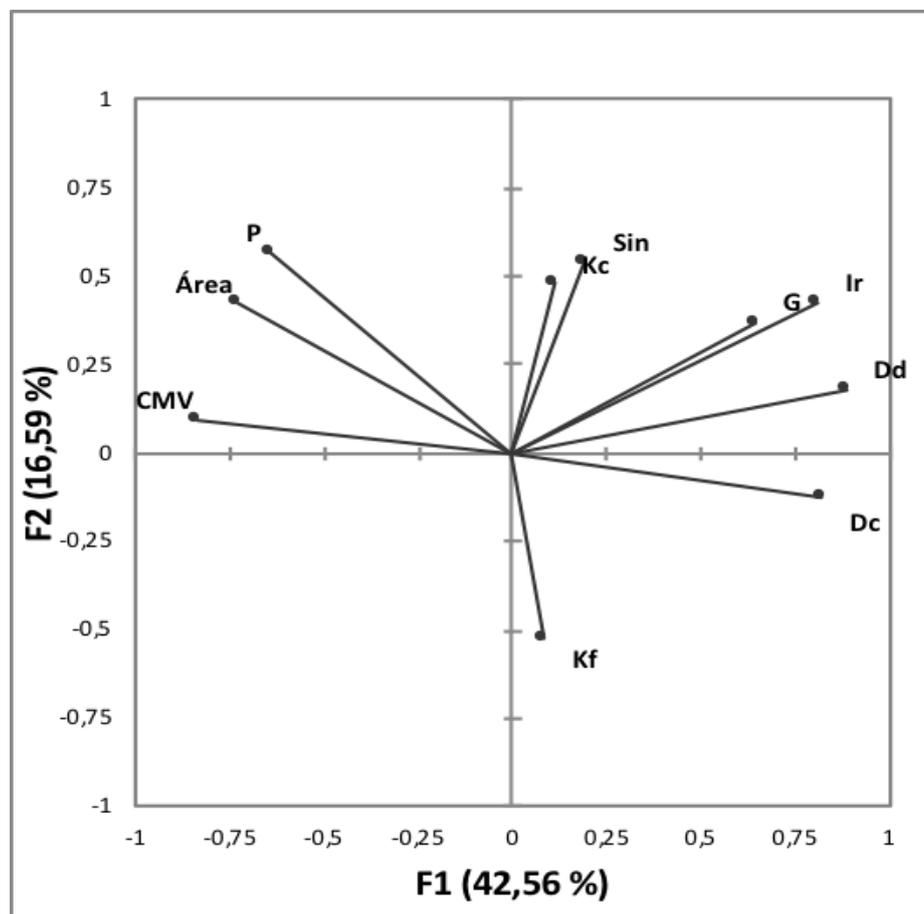


**Figura 2** - (A) Gradiente x Densidade de Drenagem; (B) Comprimento Médio de Vertente x Densidade de drenagem; (C) Comprimento Médio de Vertente x Gradiente; (D) Índice de Rugosidade x Densidade de drenagem; (E) Densidade de drenagem x Densidade de canais; (F) Densidade de canais x Comprimento Médio de Vertentes; (G) Índice de Rugosidade x Comprimento Médio de Vertentes.

Sabe-se que outras variáveis, principalmente de ordem geológica, geomorfológica e estrutural podem influenciar no comportamento dos dados e parâmetros analisados, entretanto, considerando a amostragem e a variação no tamanho das bacias hidrográficas avaliadas neste trabalho, os resultados apresentaram indicadores de possíveis correlações, positivas ou negativas entre os parâmetros morfométricos selecionados.

Diante dos trabalhos que visam encontrar possíveis relações entre os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, pôde-se confirmar nos resultados aqui levantados a relação entre gradiente e área da bacia (ARRAES *et al.*, 2010; LAVARINI; JUNIOR, 2013), e também a relação entre densidade de drenagem com a rugosidade do terreno (KANTH; HASSAN, 2012; LAVARINI; JUNIOR, 2013).

Embora aqui não se tenha levantado os parâmetros de bifurcação dos canais, pode-se verificar por meio da relação entre a densidade de canais e a densidade de drenagem a relação existente entre bifurcação de canais e a densidade de drenagem identificada por KANTH; HASSAN (2012).



**Figura 3** - Ilustração da correlação axial demonstrando 59,15% de relação entre as variáveis.

Naturalmente, o comportamento da maioria dos parâmetros morfométricos são reflexos da presença ou não de controles estruturais do terreno, incluindo a diferenciação de formações e rochas distintas (STRAHLER, 1952; SCHUMM 1956; HORTON 1945; VILELLA; MATTOS, 1975). Por isso, vale ressaltar que a amostragem discutida e apresentada aqui refere-se a bacias hidrográficas situadas sobre a mesma litologia (Formação Serra Geral).

Considerando a análise e correlação desses parâmetros morfométricos para as bacias hidrográficas amostradas, por meio da ilustração axial da Figura 3, pode-se observar o nível de correspondência na correlação para cada parâmetro e a presença de uma relação de até 59% entre os dados, valor que certamente pode ser elevado a partir de estudos complementares, com outros métodos de análise ou tamanho e áreas de amostragem.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível perceber que os parâmetros morfométricos mais presentes nos processos de correlação e que por isso merecem ser melhor estudados em amostragens mais homogêneas (em termos de área) foram CMV, G, Ir e Dd. Sendo a S (sinuosidade), Kc (coeficiente de compacidade) e o Kf (índice de forma) parâmetros mais independentes ou talvez melhor correlacionados a outras características morfométricas não levantados neste trabalho.

Os parâmetros CMV, Dd e Ir parecem ter uma maior relação entre si, estando-os associados a áreas mais ou menos declivosas, muitas vezes independente do G (gradiente).

O conjunto de dados, mesmo independente da correlação fornece um prospecto do comportamento do resultado dos principais parâmetros morfométricos dos sistemas hidrográficos da região amostrada.

E considerando a literatura, a aplicação da metodologia para o objetivo de correlacionar parâmetros e não bacias hidrográficas apresentou resultados satisfatórios e que certamente podem propiciar novas abordagens nos levantamentos morfométricos de bacias hidrográficas.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; JUNIOR, D. S. R.; CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n.2, p. 135-149, 2013.

ARRAES, C. L.; PISSARA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; ZANATA, M.; CAMPOS, S. Morfometria dos Compartimentos Hidrológicos do Município de Jaboticabal, SP. **Ciências Exatas Technol.**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2010.

BEVEN, K. J.; WOOD, E. F.; SILVAPALAN, M. On hydrological heterogeneity - catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology**, v. 100, p. 353-375, 1988.

- CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia: A Análise de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 1980. 198p.
- CHOPRA, R.; DHIMAN, R. D.; SHARMA, P. K. Morphometric analysis of sub-watersheds in Gurdaspur District, Punjab using remote sensing and gis techniques. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 531-539, 2005.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 1. ed. Hillsdale: J. Erlbaum, 1988. 474p.
- COUTO, E. V.; MANIERI, D. D.; MANOSSO, F. C.; FORTES, E. Correlação morfoestrutural da rede de drenagem e lineamentos da borda planáltica, Faxinal, Paraná. **Revista Geociências**, v. 30, n. 3, p. 315-326, 2011.
- CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Influência da resolução do MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 29, n. 59, p. 1029-1041, 2019.
- FERNANDEZ, O. V. Q. Relações preliminares da geometria hidráulica regional para os rios das regiões oeste e sudoeste do estado do Paraná. **GEOgraphia**, Niterói, v. 11, n. 2, p. 89-103, 2009.
- GARDE, R. J. **River Morphology**. 1. ed. Delhi: New Age International, 2006. 479p.
- GUEDES, I. C.; MORALES, N.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R. Indicações de deformações neotectônicas na bacia do rio Pardo-SP através de análises de parâmetros fluviométricos e de imagens SRTM. **Revista Geociências**, v. 34, n. 3, p. 364-380, 2015.
- HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. New York: **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, p. 807-813, 1945.
- HOTT, M. C., FURTADO, A. L. S. E RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2007. p. 3381-3388.
- IBGE (Instituto Brasileiro de geografia e Estatística). **Folha Topográfica SF-22-Y-D - Londrina**. Escala 1:250000, Diretoria de Geodésia e Cartografia. 1977.
- KANTH, T. A.; HASSAN, Z. U. Morphometric analysis and prioritization of watersheds for soil and water resource management in wular catchment using geo-spatial tools. **International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p. 30-41, 2012.
- LAVARINI, C.; JÚNIOR, A. P. M. Análise morfométrica de bacias de cabeceira como ferramenta de investigação geomorfológica em média e larga-escala espacial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 35-46, 2013.
- OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.

OLIVEIRA, S. N.; JÚNIOR, O. A. C.; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 3-21, 2007.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; GEREMIA, F. Cabeceiras De Drenagem Da Bacia Do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): Distribuição Espacial, Propriedades Morfológicas E Controle Estrutural. **RA'EGA**, Curitiba, n. 12, p. 211-219, 2006.

PAISANI, J. C.; PONTIELLI, M. E.; ANDRES, J.; PASA, V.; MARINHO, F. R. Características geológicas da formação Serra Geral na área drenada pelo rio Marrecas (SW Paraná): fundamentos para a análise geomorfológica. **Geografia**, v. 17, n. 2, p. 49-65, 2008.

PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 669-676, 2010.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVERIA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 03-12, 2006.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.

SODRÉ, R. V. R.; JÚNIOR, O. A. C.; MACHADO, W. P.; OLIVEIRA, S. N.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E. S. Classificação de bacias de drenagem do Alto Jequitai (Minas Gerais) a partir da análise de principais componentes e análise de grupos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 73-86, 2007.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 8, n. 6, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 11, n. 1, p. 137-155, 2007.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill. 1975. 245p.

Trabalho enviado em 18/02/2020

Trabalho aceito em 28/07/2020