

# Estudo Morfométrico das Bacias Hidrográficas do Planalto de São Carlos (SP) \*

MARIO TOLENTINO  
NILSON GANDOLFI  
ANTENOR BRAGA PARAGUASSU

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo morfométrico de uma bacia hidrográfica compreende o levantamento de índices, relações e valores numéricos que definam a natureza de um sistema natural de drenagem.

Tais estudos interessam à Geologia pura, no levantamento de características geomorfológicas de uma área; à Geologia aplicada (Hidrogeologia), na determinação de fatores morfológicos ligados aos problemas de drenagem, de enchentes, etc. Finalmente, servem como instrumento à didática, na exemplificação de levantamento de dados e equacionamento de fenômenos naturais.

## 2. ASPECTOS REGIONAIS

### 2.1. Localização da área

O planalto de São Carlos situa-se a NW da quadrícula de meio grau n.º 2 731 e a SW da de n.º 2 695, abrangendo áreas territoriais dos municípios de São Carlos e Ibaté (Mapa). O levantamento topográfico foi baseado em fotografias aéreas e o geológico foi executado por BJORNBERG e TOLENTINO 1959.

### 2.2. Clima

Segundo a sistemática de KOEPPEN (1948), o clima do planalto de São Carlos, pode ser classificado como de transição entre Cwa.i e Aw.i, isto é, clima tropical com verão úmido e inverno seco e clima quente de inverno seco.

Existem duas estações bem características: a seca, indo de maio a setembro e a chuvosa, nos restantes meses. No primeiro período, a média de precipitação é de apenas 278,9 mm de chuva, correspondendo a 18,5% do total anual.

Em 22 anos de observação, constatou-se uma precipitação média anual de 1520,6 mm com um desvio padrão de 272,4 mm, desvio padrão da média de 58,1 e o coeficiente de variação de 17,9%.

### 2.3. Vegetação

Originalmente o planalto de São Carlos deve ter sido recoberto por matas ralas, conforme evidências históricas e materiais existentes. Atualmente, a área rural a leste, é ocupada predominantemente por pastagens ralas e, a oeste, por cultura de cana-de-açúcar.

O córrego do Gregório, na parte alta situa-se em área de pastagens, estando o curso médio e baixo na zona urbana.

---

\* Apresentado no "II Simpósio de Fotografias Aéreas" realizado, na Guanabara, em agosto de 1965.

O córrego do Monjolinho percorre a zona rural nos cursos alto e baixo, estando a parte mediana em zona suburbana e, o do Can-Can situa-se, todo êle, em zona rural.

#### 2.4. *Geologia.*

O planalto de São Carlos é definido por cotas altimétricas da ordem de 800-900m. A superfície está na Formação Bauru, que se sobrepõe aos derrames basálticos da Serra Geral que afloram no curso inferior dos rios e nas escarpas das bordas sul e norte do planalto. Abaixo, situam-se os pontos de Arenito Botucatu.

### 3. *ESTUDO MORFOMÉTRICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS*

#### 3.1. *Introdução*

A região urbana e suburbana da cidade de São Carlos é drenada pela bacia do córrego do Monjolinho, tributário do rio Jacaré-Guaçu, que pertence à bacia do Tietê.

O córrego do Gregório atravessa a cidade na direção geral EW e o estudo da morfologia da sua bacia interessa sobretudo à Engenharia Urbana, por ser a via natural de escoamento das águas pluviais coletadas em toda a área da cidade. Devido à características próprias, este curso de água está sujeito a enchentes periódicas, de efeitos desastrosos na região ribeirinha.

O córrego do Can-Can localiza-se mais a W. em plena zona rural. O seu estudo oferece interesse como curso d'água de utilização econômica em indústrias e explorações agrícolas e provável reforço do abastecimento urbano.

O estudo morfométrico apresentado baseia-se em trabalhos de HORTON (1945), STRAHLER (1952), SCHUMM (1956) e outros.

#### 3.2. *Formas das bacias de drenagem*

Foram calculados os seguintes índices:

a) *Índice de forma* — correlaciona a extensão do perímetro com a área da bacia, segundo a expressão:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

onde:

K é o índice de forma,

P é o perímetro da bacia, e

A é a sua área.

O número calculado independe da área considerada, dependendo apenas da forma. É fácil compreender-se que o valor mínimo que K pode atingir será 1, equivalente a uma bacia circular.

b) *Relação de alongação* — correlaciona o diâmetro de um círculo com a mesma área que a bacia considerada e o maior comprimento da mesma, medido paralelamente à linha principal de drenagem. Este índice permite representar a forma, comparando-a com um círculo de mesma área. Neste caso, o valor máximo será igual a 1, correspondendo à bacia circular. Schumm (1956, pp. 612).

c) *Relação de relêvo* — correlaciona o relêvo total da bacia (diferença de altitude entre o ponto mais alto e o mais baixo da mesma e a sua maior dimensão medida de acordo com o que foi escrito anteriormente (SCHUMM — 1956 pp. 612).

d) *Densidade hidrográfica* — correlaciona o número de rios ou cursos d'água com a área da respectiva bacia de drenagem. DE FREITAS (1952) e HORTON (1945, pp. 283).

Os valores encontrados para esses parâmetros, nas três bacias consideradas, são os da Tabela 1-A.

### 3.3. Componentes da rede de drenagem

Foram calculados os seguintes índices:

a) *Coefficiente de manutenção* — este índice refere-se à área, em m<sup>2</sup>, requerida para a manutenção de um metro de canal permanente. SCHUMM (1956) acentua ser este coeficiente uma medida da textura, semelhante à densidade de drenagem, sendo calculado multiplicando-se por 1000 o recíproco do valor da densidade de drenagem.

b) *Extensão do percurso superficial* — representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente, sendo calculada segundo o recíproco do dobro da densidade de drenagem (HORTON — 1946), servindo para caracterizar a textura.

c) *Gradiente dos canais* — define o relevo ao longo da linha principal de drenagem.

d) *Relação ponderada de bifurcação* — indica uma relação ponderada entre o número de canais de certa ordem e os de ordem imediatamente superior.

Os valores encontrados são os da Tabela 1-B.

### 3.4. Textura da topografia

Foi calculada segundo o sistema proposto por SMITH, citado por DE FREITAS (1952), achando-se os valores constantes da Tabela 1-C.

### 3.5. Ordem dos canais

Trata-se de um número de ordem atribuído aos cursos d'água, a partir das nascentes. Todo canal sem tributário é considerado de *primeira ordem*. A junção de dois cursos d'água da mesma ordem forma outro de ordem imediatamente superior. Adotou-se o critério de STRAHLER (1952 pp. 1120) que estabelece que o número de ordem superior não se estende a tributários menores, referindo-se apenas a segmentos do canal principal.

a) *Relação de bifurcação* — é a relação entre o número total de canais de uma determinada ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior (HORTON — 1945).

b) *Relação ponderada de bifurcação* (STRAHLER — 1952) — é obtida multiplicando-se a relação de bifurcação de cada par de ordens sucessivas, pelo número total de canais envolvidos nessa relação, calculando-se depois a média dos valores encontrados.

As características dos canais das bacias hidrográficas estudadas são apresentadas na Tabela 2.

### 3.6. Análise dos dados

Podemos caracterizar as bacias estudadas da seguinte maneira:

a) *Bacia do Can-Can* — é um sistema de drenagem de terceira ordem. O principal canal totaliza cerca de 7,54 km de extensão, dos quais três quartos se desenvolvem no planalto e um quarto na baixada.

Sua bacia tem a área de 25,5 km<sup>2</sup> e pouco mais de 20 km de perímetro, compreendendo 18 km de canais.

O índice de forma e a relação de alongação indicam ser bacia de forma bastante próxima da circular. A relação do relêvo é a mais baixa de tôdas as examinadas.

Em média há 0,71 km de rios por km<sup>2</sup>, correspondendo a 0,39 canais por km<sup>2</sup>.

O coeficiente de manutenção é de 2817 m<sup>2</sup> para manter um metro de rio. As enxurradas devem percorrer, em média, 709 m de terreno antes de atingir um canal permanente de drenagem.

A extensão média dos canais é de 1,82 km.

b) *Bacia do Gregório* — é um sistema de drenagem de terceira ordem. O principal curso d'água totaliza 8,7 km, drenando uma área de 15 km<sup>2</sup> englobada por um perímetro de quase 18 km. Há 12 canais numa extensão total de 15,6 km, dando a média de 1,3 km por canal.

Os índices de forma e relação de alongação revelam uma forma alongada da bacia, com uma relação de relêvo bastante acentuada se considerarmos a pouca extensão do canal principal.

A densidade de drenagem compreende 1,04 km de rios por km<sup>2</sup>, correspondendo a 0,80 canais por km<sup>2</sup>, sendo a mais elevada da área.

O coeficiente de manutenção a baixo (962 m<sup>2</sup> para cada metro de canal) e a extensão de percurso superficial é de 481 m, bastante baixo para a área. Gradiente acentuado (1,18%).

Como consequência dessas características morfológicas, há pouco tempo para a água infiltrar-se no solo, coletando os canais permanentes a maior parte dela, principalmente na área urbana e suburbana, com suas vias pavimentadas e loteamentos desprovidos de vegetação.

Isso justifica o aumento de volume das águas por ocasião das chuvas intensas ou demoradas.

b) *Bacia do Monjolinho* — Os índices de forma e a relação de alongação indicam uma bacia quase circular, com uma densidade de drenagem baixa (0,66 km de cursos d'água por km<sup>2</sup>) e uma densidade hidrográfica de 0,55 canais por km<sup>2</sup>.

Compreende 45 canais numa extensão total de 54,4 km, dando 1,21 km por canal, em média.

O coeficiente de manutenção é relativamente alto (1515m<sup>2</sup> para manter um metro de canal permanente) e o percurso médio superficial é de 758 m.

Com relação às três bacias, a textura de topografia apresenta valores baixos (menores que 4,0), correspondentes a uma textura grosseira, indicando estágios iniciais ou recentes do ciclo erosivo, conforme afirmam vários autores.

O baixo valor dos índices de textura e de erosão observados decorre, principalmente, dos rios já estarem com os seus perfis bastante estabilizados, devido a níveis de base bem definidos e determinados pelos derrames basálticos subjacentes à Formação Bauru.

Sendo as formações geológicas do planalto praticamente horizontais, não há aparente contróle estrutural da rede de drenagem, que se desenvolve segundo um padrão dendrítico.

Aplicando as leis de HORTON (1945 — p. 286), observa-se que em drenagens desse tipo há uma regressão linear entre a ordem dos rios e o logaritmo da frequência das mesmas, em cada ordem.

Aplicou-se aos dados de interesse a técnica da análise de regressão por polinômios ortogonais, chegando-se, em todos os casos, à significância da regressão de primeiro grau (linear). Pode-se, então, afirmar que, de fato, a drenagem é dendrítica, sem contróle estrutural por parte das formações geológicas locais.

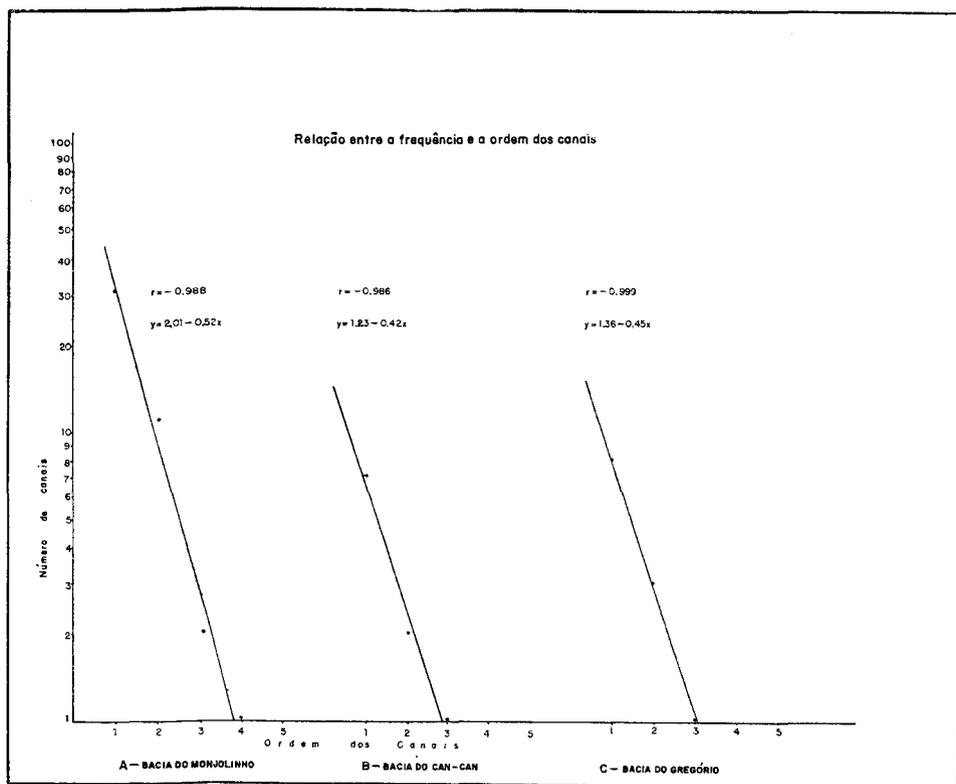


Fig. 1

Os gráficos da Figura 1 mostram tal regressão e as respectivas retas ajustadas aos dados colhidos, pelo método dos mínimos quadrado.

O coeficiente de correlação foi sempre altamente significativo e as equações calculadas para as retas foram as seguintes:

*Bacia do Monjolinho* (Figura 1A)

Coefficiente de correlação: — 0,988

Equação de regressão:  $Y = 2,01 - 0,52 x$

*Bacia do Can-Can* (Figura 1B)

Coefficiente de correlação: — 0,986

Equação de regressão:  $y = 1,23 - 0,42 x$

*Bacia do Gregório* (Figura 1C)

Coefficiente de correlação: — 0,999

Equação de regressão:  $y = 1,36 - 0,45 x$

### 3.7. Ângulos de junção dos canais

Segundo ZERNITZ (1932), num sistema de drenagem dendrítica, os tributários fazem junção com os rios principais em todos os ângulos possíveis.

Na bacia do Monjolinho, levantou-se os ângulos de junção de tributários de 1.<sup>a</sup> ordem, encontrando os seguintes valores:

a) *Junção de canais de 1.<sup>a</sup> ordem com outros de 1.<sup>a</sup> ordem*

ângulo médio de junção: 60,3°

desvio padrão da média: 3,8°

coeficiente de variação: 24,2%

b) *Junção de canais de 1.<sup>a</sup> ordem com outros de 2.<sup>a</sup> ordem*

ângulo médio de junção: 60,8°  
desvio padrão da média: 5,3°  
coeficiente de variação: 30,1%

c) *Junção de canais de 1.<sup>a</sup> ordem com outros de 3.<sup>a</sup> ordem*

ângulo médio de junção: 75,0°  
desvio padrão da média: 15,0°  
coeficiente de variação: 34,6%

d) *Junção de rio de 1.<sup>a</sup> ordem com outro de 4.<sup>a</sup> ordem*

ângulo medido: 130°.

De acôrdo com LUBOWE (1964) procurou-se estabelecer a correlação entre os ângulos de junção e a ordem do canal receptor, encontrando-se um fator de correlação igual a 0,873, altamente significativo.

A análise de regressão por polinômios ortogonais, deu significativo ao nível de 20%, com a equação:

$$y = 25,7 + 22,3 x$$

para a reta que mais se adapta aos pontos encontrados, segundo o método dos quadrados mínimos (Figura 2).

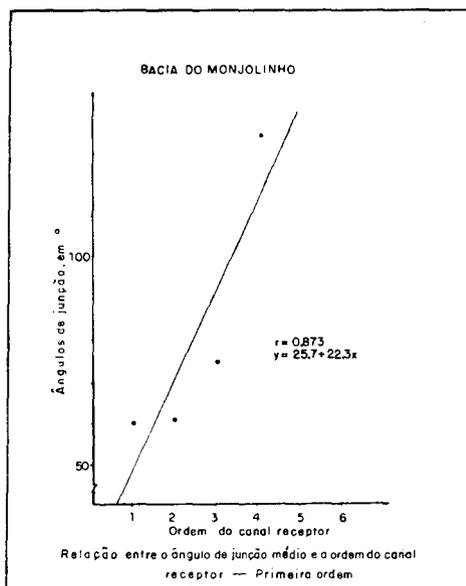


Fig. 2

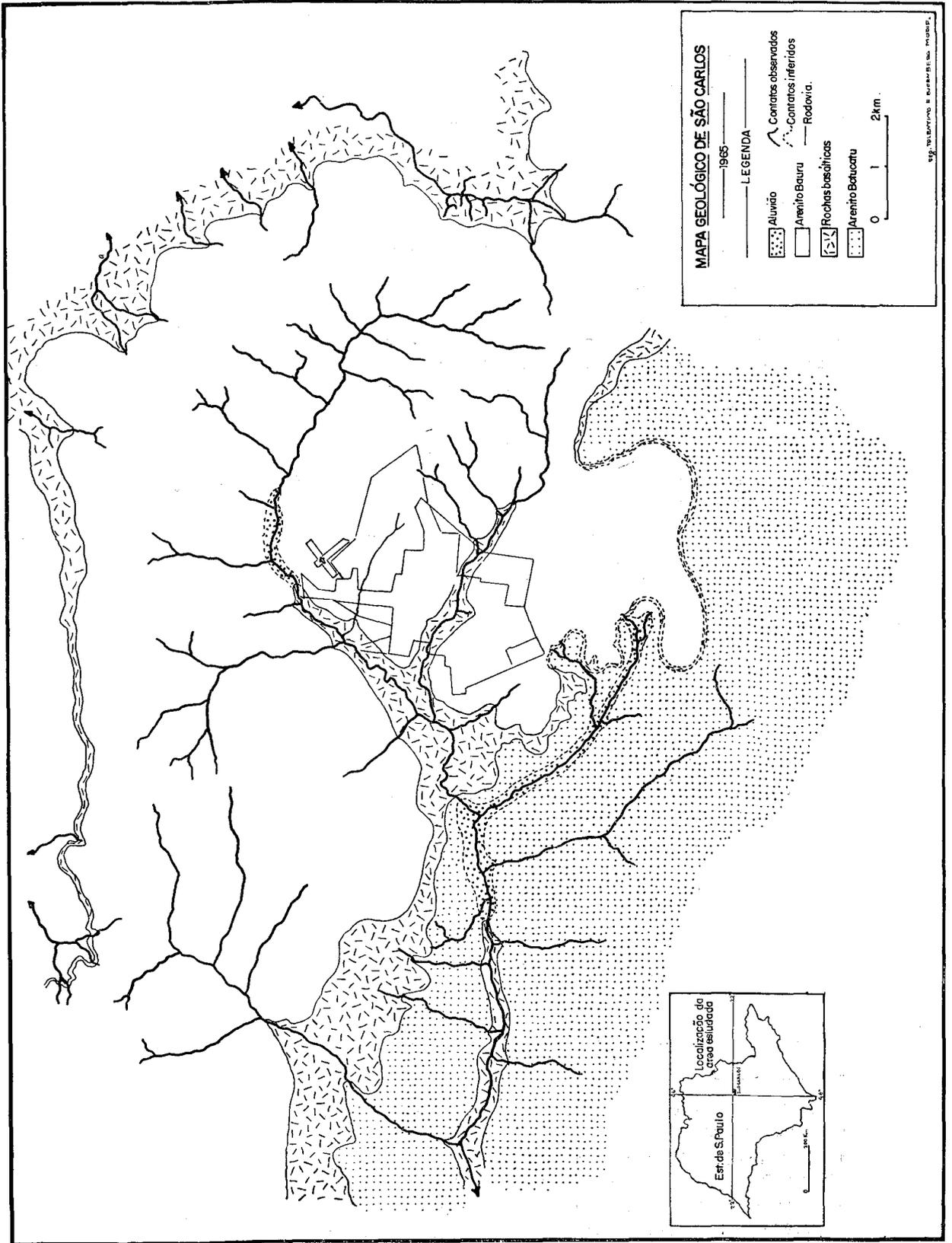
Confirma-se assim, o caráter dendrítico da drenagem.

#### 4. Conclusões

4.1. Pode-se caracterizar, morfométricamente, uma bacia hidrográfica, por índices adequados.

4.2. A análise desses índices permite obter-se informações de interesse à Engenharia Urbana, à Geologia, à Geomorfologia, etc.

4.3. No planalto de São Carlos (SP) o levantamento de tais índices caracterizou uma rede de drenagem dendrítica, sem controle estrutural.



5. *Bibliografia.*

- BJORNBERG, A. J. e TOLENTINO, M. (1959) — Contribuição ao estudo da Geologia e Águas Subterrâneas em São Carlos — *Bol. Soc. Bras. de Geologia*, n.º 8, pp. 5-33.
- DE FREITAS, Ruy Ozório (1952) — Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica — *Bol. Paul. Geografia*, n.º 11, pp. 53-57.
- HORTON, R. E. (1945) — Erosional development of streams and their drainage basias — hydro-physical approach to quantitative morphology — *Geol. Soc. Am. Bull.*, n.º 56, pp. 275-370.
- KOEPEN, Wilhelm — *Climatologia*, trad. para o espanhol por Pedro R. Hendrichs Pérez — ed. Fondo de Cultura Economica, (1948) — México.
- LUBOWE, J. K. — Stream junction angles in the deendritic drainage pattern — *Am. Journ. Science*, n.º 262, pp. 325-339.
- SCHUMM, S. A. (1956) — Evolution of drainage systems and slopes in hadlands at Perth Ambory, New Jersey — *Geol. Soc. Am. Bull.*, n.º 67, pp. 597-646.
- STRAHLER, A. N. (1952) — Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography — *Geol. Soc. Am. Bull.*, n.º 63, pp. 1117-1142.
- ZERNITZ, E. R. (1932) — Drainage patterns and their significance — *Journ. Geology*, n.º 40, pp. 498-521.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS

Parametros considerados	Córrego do Can-Can	Córrego do Gregório	Córrego do Monjolinho
-------------------------	--------------------	---------------------	-----------------------

A — Forma da bacia de drenagem

Índice de forma.....	1,12	1,31	1,03
Relação de alongação.....	0,79	0,54	0,93
Relação de relêvo.....	13,9	18,8	18,7
Densidade de drenagem.....	0,71 km/km <sup>2</sup>	1,04 km/km <sup>2</sup>	0,66 km/km <sup>2</sup>
Densidade hidrográfica.....	0,39 canais/km <sup>2</sup>	0,80 canais/km <sup>2</sup>	0,55 canais/km <sup>2</sup>

B — Componentes da rede de drenagem

Coefficiente de manutenção.....	2.817 m <sup>2</sup> /m	962 m <sup>2</sup> /m	1.515 m <sup>2</sup> /m
Extensão do percurso superficial.....	799 m	481 m	758 m
Gradiente dos canais.....	1,02%	1,18%	0,63%
Relação ponderada de bifurcação.....	3,12	2,80	3,40

C — Textura da topografia

Valor calculado.....	1,3	1,7	1,3
----------------------	-----	-----	-----

**CARACTERÍSTICAS DOS CANAIS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS**

Ordem	Freqüência	Extensão total (km)	Extensão média (km)	Relação de bifurcação
A — Bacia do Can-Can				
1	7	10,32	1,47	3,5
2	2	5,62	2,81	2,0
3	1	2,28	2,28	—
Total	10	18,22	1,82	—
B — Bacia do Gregório				
1	8	6,66	0,83	2,7
2	3	4,42	1,47	3,0
3	1	4,52	4,52	—
Total	12	15,60	1,30	—
C — Bacia do Menjolinbo				
1	31	24,42	0,79	2,8
2	11	16,02	1,47	5,5
3	2	9,36	4,68	2,0
4	1	4,69	4,69	—
Total	45	54,49	1,21	—