

ARTIGOS

ESTRUTURAÇÃO DE REDES HIDROGRÁFICAS LOCALIZADAS NA REGIÃO NORTE-OCIDEN- TAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

*Antonio Christofoletti **

*Jairo Arana ***

O desenvolvimento e expansão das redes hidrográficas constituem temas inerentes às várias teorias geomorfológicas, que procuram elucidar e explicar as formas de relevo em seu conjunto. Diversos modelos evolutivos sobre as bacias hidrográficas puderam ser elaborados, em virtude das pressuposições relacionadas em cada perspectiva teórica. O arranjo e a disposição espacial dos cursos de água representaram elementos básicos para discernir os variados *padrões de drenagem*. Por outro lado, a partir da contribuição de HORTON (1945), os dados fornecidos pela análise morfométrica permitem caracterizar a estruturação das redes de drenagem, baseando-se na comparação dos segmentos das diversas ordens.

Procurando estudar a estruturação de redes de drenagem, escolhemos analisar exemplos localizados na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Esta região, conforme os levantamentos geológicos, apresentou sua última grande etapa sedimentar no transcorrer do Cretáceo, originando o Grupo Bauru. Esta sedimentação cretácica, na bacia sedimentar do Alto Paraná (ALMEIDA, 1956), propiciou o surgimento de paisagem aplainada por agradação, servindo como superfície primitiva para o desenvolvimento e expansão da rede hidrográfica. Era sobre ela que se escoavam as águas do atual rio Paraná, transformando-o no principal curso de água da região. Com base nessa premissa, algumas hipóteses podem ser propostas:

* Professor Livre-Docente, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro.

** Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, processo Geologia 73/72.

- a) o entalhamento e aprofundamento do rio Paraná, entre a superfície primitiva e o seu nível atual, representa a amplitude altimétrica possível para a movimentação topográfica regional;
- b) considerando que as drenagens se expandem regressivamente, as redes evoluíram tendo como base o nível das águas do rio Paraná;
- c) considerando a posição locacional desse trecho do rio Paraná, pode-se considerá-lo como praticamente isento das influências relacionadas com as oscilações eustáticas ocorridas no Quaternário;
- d) não sofrendo as influências das oscilações eustáticas, houve manutenção do nível de base local para o desenvolvimento das bacias hidrográficas que lhe são subsidiárias, excetuando, como é óbvio, o lento e contínuo entalhamento do perfil longitudinal do rio Paraná. Considerando o longo tempo decorrido desde a última fase deposicional, pode-se supor que houve condições satisfatórias para a plena evolução e estruturação das redes de drenagem. Dessa maneira, tais bacias podem ser consideradas como tendo atingido o estado de estabilidade.

O objetivo desta pesquisa é, portanto, estudar diversas bacias dessa área do território paulista e verificar a veracidade e significância das hipóteses mencionadas. Para servir de padrão ao julgamento da estruturação das redes, tomamos como base o modelo proposto por HORTON (1945).

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A região Norte-Occidental do Estado de São Paulo compreende a área delimitada pelos rios Grande, Paraná e Tietê, localizando-se aproximadamente entre os meridianos 50 e 52° de longitude oeste, e entre os paralelos 20 e 22° de latitude sul. Conforme a divisão fisiográfica do Estado paulista, a região integra o planalto Occidental.

O relevo da região caracteriza-se pela regularidade das formas topográficas e pelas altitudes sempre inferiores a 500m. Predominam as formas tabulares e suaves, constituindo divisores entre os pequenos cursos de água. Os rios Grande, Tietê, Paraná, Turvo e São José dos Dourados, os mais importantes, tornaram-se os responsáveis pelo entalhamento e dissecação do modelado topográfico regional. ARID (1967) observou que nos divisores dos principais rios ocorrem afloramentos de rochas relativamente resistentes à erosão, finamente atacados pelos pequenos cursos de água, que tornaram seus limites digitados. As maiores altitudes estão localizadas na parte centro-oriental da região, orçando ao redor de 500m, e vão diminuindo em direção dos vales dos rios Paraná, Grande e Tietê.

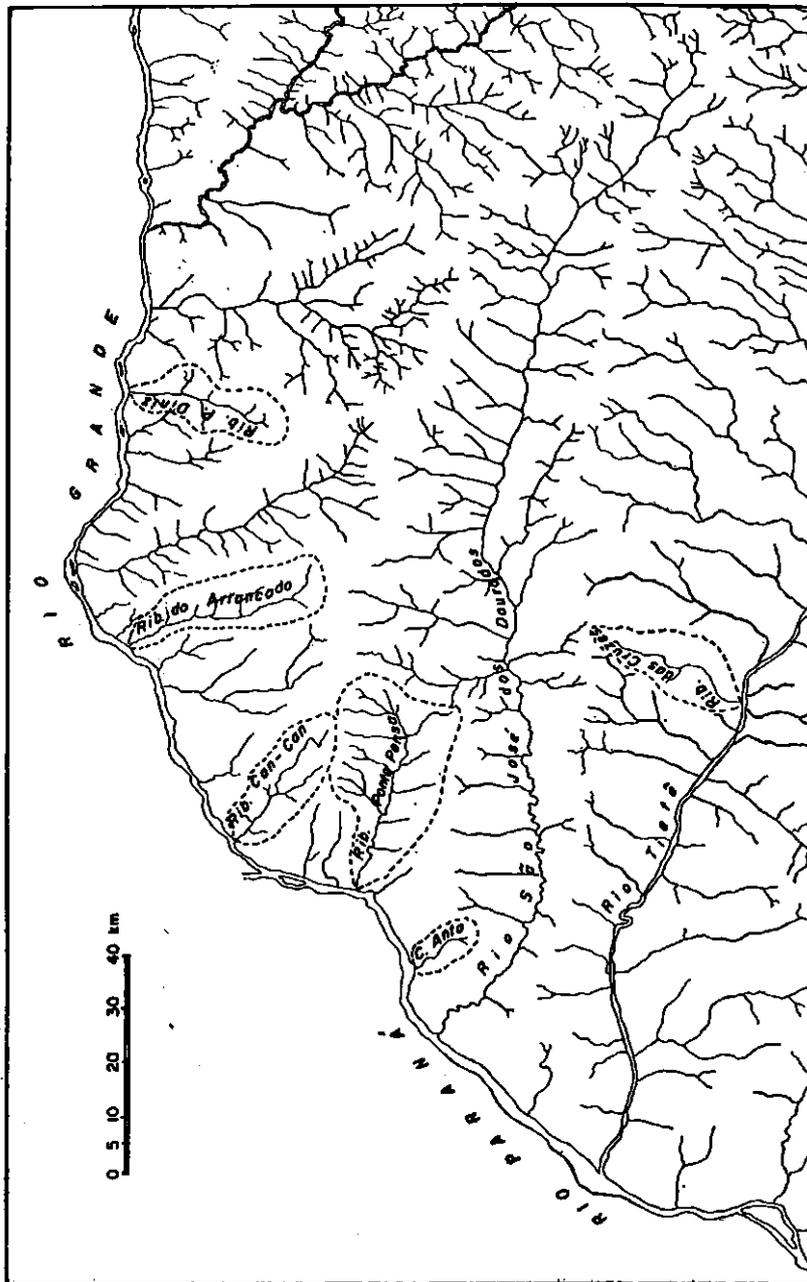


Fig. 1 — Localização das bacias hidrográficas estudadas, na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo.

Quanto ao *aspecto geológico*, predomina a formação Bauru, do Cretáceo Superior, que é exclusivamente composta de litologias clásticas. Observa-se maior incidência de arenitos, mas também há presença de conglomerados. Os arenitos são de granulação fina a muito fina, moderadamente arredondados e com grau médio de seleção. As sondagens têm demonstrado superposição de clásticos de texturas diferentes, numa seqüência de conglomerados de seixos de argilitos, arenitos grosseiros e finos, siltitos e argilitos. Todavia, nem sempre a seqüência surge completa, podendo faltar qualquer um dos membros (ARID, 1967). O cimento carbonático aparece com relativa freqüência, sem caracterizar determinada litologia ou unidade estratigráfica, e as rochas cimentadas são friáveis e porosas. A espessura dessa formação gira em torno de 100m (ARID, 1973).

Ao longo dos vales dos principais rios, devido ao entalhamento fluvial, afloram rochas básicas relacionadas ao Grupo São Bento.

As *condições climáticas* dessa região foram delineadas por BARCHA e ARID (1971, 1974). O estudo do comportamento térmico, baseado em dados colhidos em vários municípios, mostra que as médias anuais são sempre superiores a 25°C, variando a média mínima em torno de 20°C e a máxima ao redor de 30°C. Junho e julho constituem-se nos meses mais frios, enquanto janeiro e fevereiro se apresentam como os meses mais quentes do ano. Os totais pluviométricos médios anuais, para os diversos municípios, variam entre 1080 e 1170mm, permitindo estabelecer a média geral em torno de 1150mm. O regime pluviométrico mostra a existência de duas fases distintas: uma, de outubro a março, representando 85% do total anual, e outra, de abril a setembro, com apenas 15%. Na fase chuvosa, existe concentração de chuvas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com 53% do total anual, significando distribuição heterogênea do regime pluvial. Janeiro é o mês mais chuvoso, com 18,6% do total anual, enquanto agosto se comporta como o mais seco, recebendo 1,3%.

Os *solos* da região Norte-Occidental são provenientes da decomposição das rochas da formação Bauru e apresentam-se, em geral, com grande espessura, elevada porosidade e permeabilidade. Estudos efetuados por ARID e LANDIM (1963) e ARID e outros (1970) revelaram predominância absoluta da fração areia, variando a fração fina silte-argilosa em torno de 30%. Aproximadamente, 56% da região Norte-Occidental é coberta por solos (podzolizados), sendo 23% da variedade Lins e 23% da variedade Marília. Comparecem ainda latossolos vermelho-escuro-fase arenosa (28%), latossol roxo (12%), oriundo da decomposição das rochas básicas, e outros (4%). No conjunto, trata-se de solos cuja granulometria e condições texturais favorecem a infiltração da água para o subsolo.

A *cobertura vegetal* original foi quase totalmente destruída e, na atualidade, a região encontra-se revestida com culturas permanentes, anuais, pastagens e vegetação restituída. As matas existentes, restritas apenas aos espigões mais elevados, são do tipo latifoliado, não muito compactas e baixas, mudando para capoeiras ou campos parcialmente xeromorfos, conhecidos como cerradinhos.

METODOLOGIA E MATERIAL UTILIZADO

As bases metodológicas e conceituais para a nossa pesquisa foram colhidas na bibliografia disponível, destacando-se os trabalhos de CHRISTOFOLETTI (1969, 1970a, 1970b, 1971, 1973a, 1973b e 1974), STRAHLER (1958), SHREVE (1966, 1967), SCHEIDEGGER (1970) e SMART (1972,1973).

A ordenação dos segmentos fluviais seguiu o critério estabelecido por STRAHLER (1952), e para cada bacia colhemos dados que permitiram estudar os índices mais significativos para a estruturação e análise evolutiva das redes de drenagem.

A obtenção dos dados foi possível graças ao uso da documentação cartográfica e bibliográfica e de aparelhos necessários para a sua coleta. A documentação cartográfica foi composta pelas cartas topográficas elaboradas pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, na escala de 1:50.000, datadas de 1965. Essa escala mostrou-se razoavelmente eficiente na representação das redes de drenagem, muito embora, muitas vezes, tenha-se feito necessário prolongar o comprimento de canais de primeira ordem ao longo das crenulações e interpolar valores de diferenças altimétricas entre o início e o término dos segmentos.

Para a coleta de dados, fizemos a transferência da representação da rede de drenagem para o papel vegetal e, para cada segmento, estabelecemos a ordem, comprimento, diferença altimétrica entre seus extremos e a área correspondente à bacia drenada pelo referido segmento. A ordem foi estabelecida conforme os princípios propostos por STRAHLER. Os comprimentos foram calculados com o uso do curvímetro, fazendo-o percorrer com a máxima fidelidade possível as sinuosidades dos cursos de água. As diferenças altimétricas foram medidas através da subtração entre as cotas máximas e mínimas dos canais; dividindo a amplitude altimétrica média dos canais de determinada ordem pelo comprimento médio dos canais envolvidos, conseguimos calcular a declividade média dos canais da referida ordem. Desta maneira, escapamos do penoso e laborioso trabalho de calcular, individualmente, a declividade de cada canal, para posteriormente chegar à

declividade média através do cálculo aritmético das declividades parciais. As áreas das bacias foram medidas pelo método da pesagem, em balanças suficientemente sensíveis. Esse procedimento corresponde a pesar a área relativa a uma bacia, previamente recortada em papel vegetal. O peso do papel vegetal obtido será comparado a um peso padrão de uma área já conhecida, calculando-se o valor desejado.

I — CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DAS BACIAS ESTUDADAS

Dentre as bacias existentes na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo, escolhemos diversas bacias de quinta ordem, através de critério aleatório, a fim de obter representação de redes, propiciando visão ampla dos possíveis fenômenos condicionantes da hidrografia regional. Seis bacias foram selecionadas, estando desenvolvidas em sua maior parte sobre os sedimentos da formação Bauru. Quatro desembocam no rio Paraná, uma no rio Grande e uma no Tietê. As bacias são as seguintes:

Nome da bacia	Ordem	Magnitude	Área km ²	Afluente do
1. Ribeirão Ponte Pensa	5ª	451	603,8	Paraná
2. Ribeirão do Arrancado	5ª	188	198,4	Paraná
3. Ribeirão Pádula Diniz	5ª	263	321,5	Grande
4. Ribeirão Cã-Cã	5ª	172	230,8	Paraná
5. Córrego da Anta	5ª	89	121,6	Paraná
6. Ribeirão das Cruzes	5ª	241	252,0	Tietê

Os dados obtidos foram distribuídos em diversos quadros comparativos. O quadro nº 1 confronta o conjunto de valores dos índices de circularidade, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, textura topográfica, coeficiente de manutenção e extensão do percurso superficial. Embora esses dados não tenham significância direta com as leis da composição da drenagem, são úteis para precisar sua caracterização global. Analisando os índices de circularidade, verificamos ser a bacia do ribeirão Cã-Cã a que mais se aproxima do valor unidade, que corresponde à forma de um círculo. De certa forma, tal resultado era de se esperar, tendo em vista o tipo anelar desse ribeirão. O córrego da Anta também apresenta alto índice; por outro lado, o ribeirão do Arrancado mais se afasta da forma circular, com índice igual a 0,390.

A densidade hidrográfica tem a particularidade de determinar o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado. Nessa perspectiva, a bacia do ribeirão das Cruzes comporta maior valor, com 1,214, distanciando-se sobremaneira das demais. Excetuando a bacia

do ribeirão das Cruzes, o valor médio do índice fica em torno de 0,745 canais/km². Quanto à densidade de drenagem, o maior valor é apresentado pelo ribeirão das Cruzes, com 1,676/km². As demais bacias apresentaram valores aproximados, porém levemente inferiores. Os valores da textura topográfica estão diretamente relacionados com os da densidade de drenagem, enquanto os do coeficiente de manutenção e da extensão do percurso superficial estão inversamente relacionados aos da densidade de drenagem.

O quadro nº 2 compara os dados obtidos com a relação entre as áreas das bacias. Numa análise rápida, notam-se os valores anormalmente altos para as relações entre as quarta e quinta ordens nas bacias do ribeirão Pádula Diniz (10,50), ribeirão das Cruzes (8,00) e Ponte Pensa (8,75). O valor médio dos índices de todas as bacias gira em torno de 4,60. Para esse padrão, o valor de 1,68, entre a primeira e a segunda ordens, na bacia do ribeirão Ponte Pensa, também é muito baixo.

Os valores da relação de bifurcação estão inseridos no quadro nº 3. A média ponderada de bifurcação tem valor de 4,38. A análise do quadro mostra que as bacias possuem tendência para apresentarem valores semelhantes entre si. Os valores menores apresentados pelo ribeirão do Arrancado talvez pudessem ser explicados pela sua forma alongada. O quadro nº 4, que relaciona os comprimentos médios, evidencia o aumento normal da extensão dos segmentos conforme o crescimento da ordem. Nessa perspectiva, as bacias denotaram aumento progressivo e regular. Entretanto, na passagem da quarta para a quinta ordem ocorrem algumas discrepâncias, verificando-se o valor máximo (8,01) e o mínimo (1,00) concernentes às bacias do ribeirão do Arrancado e do ribeirão Pádula Diniz, expressando menor e maior comprimento do rio principal do trecho de quinta ordem, quando comparado aos segmentos dos demais rios.

O quadro nº 5 compara os valores dos índices de comprimento médio com os da bifurcação. Se ambos crescerem na mesma proporção, o valor será igual à unidade. Pode-se notar, todavia, que os índices do comprimento médio são relativamente menores, principalmente nas ordens inferiores. Na passagem entre a quarta e a quinta ordens, o comprimento torna-se maior que o da bifurcação, chegando ao valor de 2,67, como no caso do ribeirão do Arrancado.

A declividade média dos canais tende a diminuir à medida que a ordem se eleva. O quadro nº 6 confirma essa tendência. Exceções parciais podem ser notadas nos ribeirões Pádula Diniz e Cã-Cã, onde os índices assumem valores de 0,759 e 0,933, assinalando aumento do gradiente ao passar da quarta para a quinta ordem.

QUADRO Nº 1

Comparação dos índices de circularidade (C), densidade hidrográfica (Dh), densidade de drenagem (Dd), textura topográfica (Tt), coeficiente de manutenção (Cm) e extensão do percurso superficial (Eps) das bacias hidrográficas analisadas.

Bacias hidrográficas	C	Dh (canais km ²)	Dd (km/km ²)	Tt	Cm (m/m ²)	Eps (m)
Córrego da Anta	0,504	0,731	1,200	1,203	833,6	416,7
Ribeirão Pádula Diniz	0,425	0,818	1,397	1,100	2.519,0	1.259,0
Ribeirão Ponte Pensa	0,573	0,746	1,326	1,227	735,8	376,0
Ribeirão Cã-Cã	0,508	0,747	1,220	1,207	819,9	408,0
Ribeirão das Cruzes	0,443	1,214	1,676	1,295	596,6	298,0
Ribeirão do Arrancado	0,390	0,746	1,356	1,233	737,0	368,5

QUADRO Nº 2

Comparação dos valores dos índices de relação entre as áreas médias das bacias analisadas.

Bacias hidrográficas	1ª (km²)	Ra	2ª (km²)	Ra	3ª (km²)	Ra	4ª (km²)	Ra	5ª (km²)	Ra ponderado
Córrego da Anta	0,82	4,08	3,35	3,62	12,13	4,61	55,98	2,17	121,67	4,0
Ribeirão Pádula Diniz	0,53	6,59	3,52	3,68	12,97	10,50	136,34	2,36	321,56	6,2
Ribeirão Ponte Pensa	2,68	1,68	4,48	3,78	16,82	4,12	68,95	8,75	603,82	2,3
Ribeirão Cã-Cã	0,89	4,38	3,91	4,24	16,60	5,70	94,61	2,44	230,87	4,1
Ribeirão das Cruzes	0,97	3,61	3,62	4,20	13,04	3,33	43,46	5,80	252,06	6,2
Ribeirão do Arrancado	0,30	6,68	1,99	3,31	6,56	3,40	22,26	8,00	198,40	3,7

QUADRO Nº 3

Comparação dos valores dos índices de relação de bifurcação (Rb) entre as ordens das bacias e dos valores de relação ponderada de bifurcação (Rpb) das bacias hidrográficas analisadas.

Bacias hidrográficas	1ª	Rb	2ª	Rb	3ª	Rb	4ª	Rb	5ª	Rpb
Córrego da Anta	89	3,86	23	3,28	7	3,50	2	2,00	1	3,62
Ribeirão Pádula Diniz	263	5,08	52	4,00	13	7,50	2	2,00	1	4,96
Ribeirão Ponte Pensa	451	4,29	105	4,37	24	4,80	5	5,00	1	4,33
Ribeirão Cã-Cã	172	4,53	38	5,42	7	3,50	2	2,00	1	4,59
Ribeirão das Cruzes	241	4,82	50	3,57	14	3,50	4	4,00	1	4,52
Ribeirão do Arrancado	188	4,27	44	4,40	10	3,33	3	3,00	1	4,20

QUADRO Nº 4

Comparação entre os valores dos índices de relação entre os comprimentos médios dos segmentos de rios (Rlm) nas bacias hidrográficas analisadas.

Bacias hidrográficas	1ª (m)	Rlm	2ª (m)	Rlm	3ª (m)	Rlm	4ª (m)	Rlm	5ª (m)	Rlm ponderado
Córrego da Anta	929,10	1,40	1.306,52	1,92	2.510,00	2,01	5.050,00	1,08	5.500,00	1,5
Ribeirão Pádula Diniz	934,85	1,87	1.747,60	2,77	3.628,00	4,26	1.475,00	1,00	15.500,00	2,0
Ribeirão Ponte Pensa	1.050,82	1,17	1.230,00	4,08	5.031,25	1,49	7.520,00	5,25	39.500,00	1,7
Ribeirão Cã-Cã	888,74	2,23	1.965,00	1,24	2.432,86	4,66	11.350,00	1,36	15.500,00	2,1
Ribeirão das Cruzes	860,30	1,46	1.260,00	1,52	1.914,28	1,37	2.625,00	10,28	27.000,00	1,6
Ribeirão do Arrancado	975,80	1,88	1.840,68	1,84	3.493,00	1,10	3.866,66	8,01	31.000,00	1,9

QUADRO Nº 5

Comparação dos valores relacionados com a relação entre os índices de comprimento médio (Rlm) e os de bifurcação (Rb) nas bacias hidrográficas analisadas.

Bacias hidrográficas	1ª/2ª	2ª/3ª	3ª/4ª	4ª/5ª
Córrego da Anta	0,36	0,64	0,57	1,08
Ribeirão Pádula Diniz	0,37	0,52	0,57	0,50
Ribeirão Ponte Pensa	0,27	0,23	0,31	1,05
Ribeirão Cã-Cã	0,49	0,23	1,33	0,68
Ribeirão das Cruzes	0,30	0,43	0,39	2,57
Ribeirão do Arrancado	0,44	0,41	0,30	2,67

QUADRO Nº 6

Comparação dos valores dos índices de relação entre o gradiente dos canais nas bacias hidrográficas analisadas.

Bacias hidrográficas	1ª/2ª	2ª/3ª	3ª/4ª	4ª/5ª
Córrego da Anta	1,850	2,180	3,272	1,375
Ribeirão Pádula Diniz	2,202	2,257	3,182	0,759
Ribeirão Ponte Pensa	1,944	2,717	1,325	4,000
Ribeirão Cã-Cã	2,200	2,631	2,036	0,933
Ribeirão das Cruzes	2,073	2,238	1,970	1,789
Ribeirão do Arrancado	2,053	1,681	1,548	3,650

II — INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para melhor interpretar os resultados obtidos na análise morfo-métrica das bacias hidrográficas, torna-se necessário apresentar as pressuposições que norteiam o modelo de HORTON. Este modelo foi proposto em 1945, baseando-se nas leis da composição da drenagem e constituindo o mais antigo e melhor conhecido sobre as propriedades das bacias hidrográficas.

As leis estão baseadas na ordenação dos segmentos fluviais. Devemos lembrar que a ordenação dos segmentos proposta por HORTON (1945) foi posteriormente modificada por STRAHLER (1952). Entretanto, qualquer que seja o critério usado para estabelecer a ordenação das bacias, permanecem válidas as leis da drenagem, conforme demonstrado por SHREVE (1966).

As leis são as seguintes:

A — A lei do número de canais assinala que:

$$N_u \approx R_b (\Omega - u), \text{ sendo que } 1 \geq u$$

onde N_u é o número de canais de ordem u , em determinada bacia de ordem Ω , e R_b é a relação de bifurcação.

B — A lei do comprimento dos canais mostra que

$$\bar{L}_u \approx R_l (u - 1), \bar{L}_1$$

onde \bar{L}_u é o comprimento médio dos canais de ordem u e R_l é a relação do comprimento entre os canais.

C — A lei das áreas foi sugerida por HORTON, mas foi explicitamente proposta por SCHUMM (1956). Esta lei assinala que

$$\bar{A}_u \approx R_a (u - 1), \bar{A}_1$$

onde \bar{A}_u corresponde à área média drenada pelos canais de ordem u (incluindo seus tributários de ordem inferior) e R_a é a relação entre as ordens das bacias.

D — A lei da declividade expressa que

$$\bar{G}_u \approx \bar{G}_1 / R_g (u - 1)$$

onde \bar{G}_1 é a declividade média dos canais de ordem u e R_g é a relação entre os gradientes dos canais.

Considerando essas leis, podemos analisar e interpretar os dados oriundos da análise morfométrica das bacias hidrográficas da região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Assim, podemos dividi-los em:

1. *Interpretação dos índices relacionados com a lei do número de canais.* A representação gráfica e numérica dos índices está na figura 2 e no quadro 3. Segundo HORTON (1945), a relação de bifurcação geralmente é constante para todas as ordens dos segmentos de determinada bacia, e a representação gráfica em papel semi-log expressa-se através de uma reta, mostrando a progressão linear do número de segmentos em função das ordens dos canais. Quando isso acontece, as bacias encontram-se em seu estado máximo de desenvolvimento. Baseando-se nesse conceito, pode-se verificar que as bacias hidrográficas estudadas se acham próximas do estágio de desenvolvi-

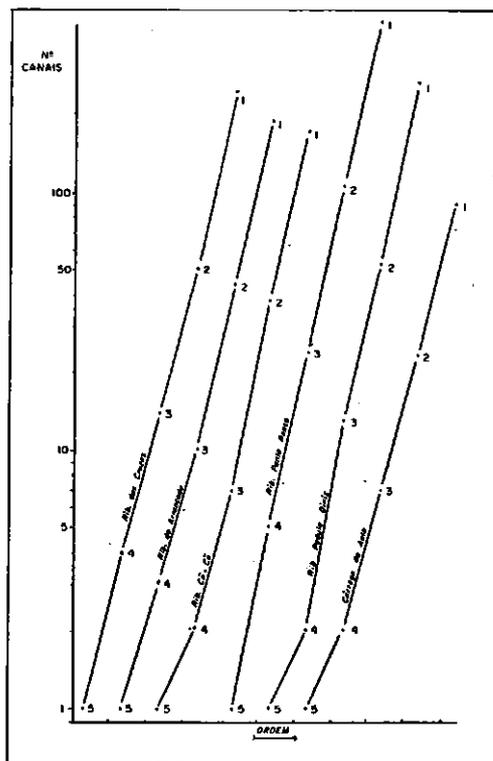


Fig. 2 — Relações entre o número de canais (segmentos) e as respectivas ordens.

mento máximo, mormente nos casos dos ribeirões das Cruzes, do Arrancado e Ponte Pensa. As bacias dos ribeirões Cã-Cã e Pádula Diniz mostram ligeiras discrepâncias nas ordens superiores, fazendo supor que pequenas alterações e reajustamentos hidromorfológicos poderão ocorrer a fim de equilibrar a rede de drenagem.

No tocante aos valores da relação ponderada de bifurcação, SMART (1972) considera que valores entre 3,0 e 5,0 são característicos dos sistemas de drenagens naturais, em pleno estágio de desenvolvimento. Todas as bacias analisadas enquadram-se entre tais limites, possuindo valores entre 3,62 e 4,59.

A despeito das pequenas variações observadas, parece-nos ser mais lógico considerar as redes hidrográficas, sob o ponto de vista do número de canais, como normais, implicando haverem alcançado o estado de estabilidade dentro das condições do equilíbrio dinâmico.

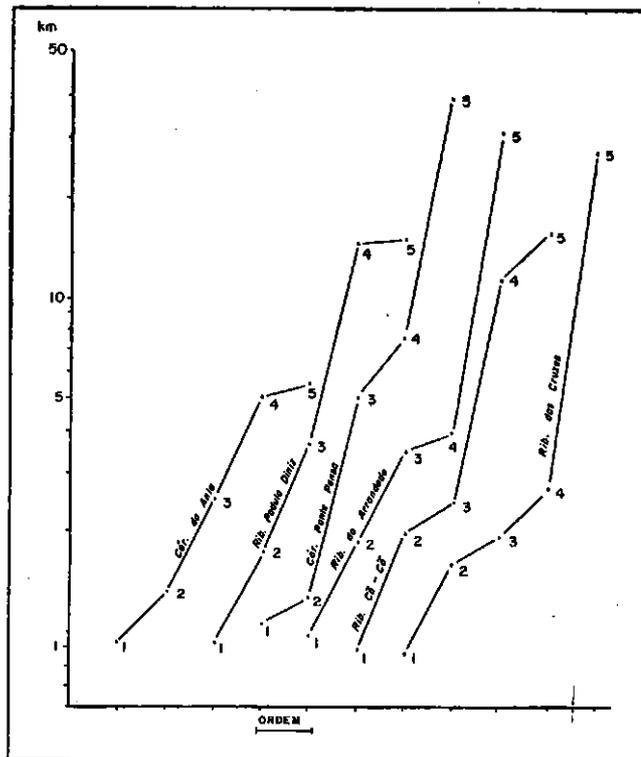


Fig. 3 — Relações entre os comprimentos médios e as respectivas ordens.

2. *Interpretação dos índices relacionados com a lei dos comprimentos.* A análise dos valores dos índices relacionados com os comprimentos médios e as respectivas ordens reflete aumento da extensão dos canais em razão direta com a elevação das ordens. Para uma bacia ideal, a configuração retilínea denunciaria progressão linear normal. Todavia, não verificamos esse fato nas bacias analisadas, que apresentam ligeiras concavidades, embora as discrepâncias não sejam suficientes para denunciar anomalias significativas nos sistemas de drenagem.

A existência de irregularidades mostra que os comprimentos médios dos segmentos não crescem proporcionalmente conforme a elevação das ordens. Em conjunto, três bacias — ribeirões Ponte Pensa, das Cruzes e do Arrancado — possuem os segmentos de quinta ordem desproporcionalmente maiores que os das ordens inferiores, enquanto, de modo oposto, os ribeirões Pádula Diniz, Cã-Cã e o córrego da Anta se apresentam com os respectivos canais de quinta ordem com deficiência de comprimento. Discrepâncias também podem ser assinaladas nos segmentos de terceira ordem no ribeirão Ponte Pensa e no de quarta ordem do ribeirão Cã-Cã, que surgem com comprimento excessivo em termos da progressão linear normal.

Maiores disparates ocorrem ao analisar as relações entre os comprimentos totais e as respectivas ordens (figura 4). A tendência geral é haver diminuição do comprimento total com a elevação da ordem. Todavia, no gráfico pode-se observar que ocorre o inverso para determinadas ordens, como nos casos dos ribeirões das Cruzes, Cã-Cã e do Arrancado, cujos comprimentos totais dos segmentos de quinta ordem são superiores aos de quarta.

No acima exposto é fácil observar que, embora as bacias possam ser consideradas como "maduras", de acordo com a lei do número de canais, tal fato não se verifica totalmente para os comprimentos médios. O ribeirão Pádula Diniz e o córrego da Anta são os que melhor satisfazem as condições da progressão linear. Todavia, considerando que os valores entre 1,5 e 3,5 são comuns para as redes naturais (SMART, 1972), podemos dizer que as bacias estudadas se enquadram dentro de tais limites.

3. *Interpretação dos índices relacionados com a lei das áreas.* O quadro 2 e a figura 5 fornecem os dados pertencentes a esta lei. Segundo HORTON, o tamanho médio das bacias aumenta proporcionalmente às respectivas ordens. Foi o que verificamos para as bacias estudadas, e para a lei das áreas deparamos com dados que corroboram um sistema de drenagem estabilizado, principalmente nos casos dos

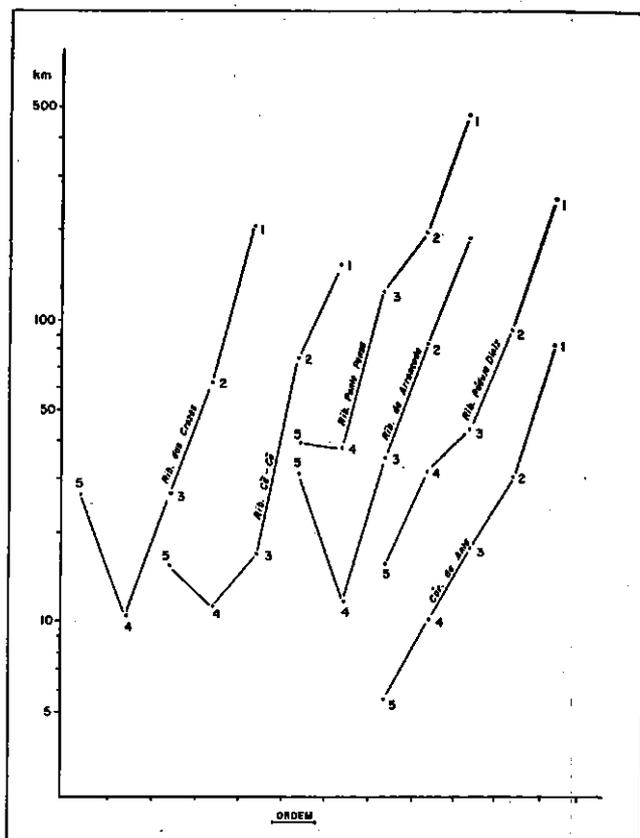


Fig. 4 — Relações entre os comprimentos totais dos segmentos e as respectivas ordens.

ribeirões Cã-Cã, das Cruzes, do Arrancado e córrego da Anta. A bacia da Ponte Pensa, todavia, apresenta pequena discrepância na comparação entre a primeira e a segunda ordens. A distorção mais aberrante é fornecida pelo ribeirão Pádua Diniz que, entre a terceira e a quarta ordens, apresenta índice de valor igual a 10,50, enquanto na passagem entre a quarta e a quinta ordem o valor é igual a 2,36. Esses valores indicam formação de bacias sob acentuado controle de outros fatores limitativos, tais como as condições morfo-estruturais.

As bacias que têm menor área para os segmentos de primeira ordem geralmente possuem maior densidade hidrográfica. São exemplos as bacias dos ribeirões das Cruzes ($0,3\text{km}^2$ e $1,214$ canais/ km^2) e Pádua Diniz ($0,53\text{km}^2$ e $0,818$ canais/ km^2). Os valores ponderados para a relação entre as áreas oscilam entre 3,0 e 6,0 (SMART,

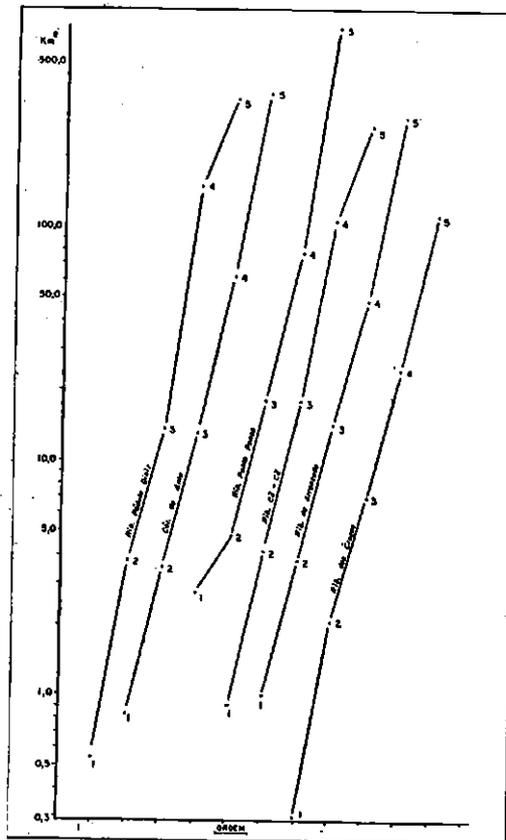


Fig. 5 — Relações entre as áreas médias e as respectivas ordens.

1972). Para os casos das bacias analisadas, só a da Ponte Pensa fica distanciada do limite inferior, em virtude do baixo índice entre a primeira e a segunda ordens.

4. *Interpretação dos índices relacionados com a lei da declividade.* Os dados necessários estão inseridos no quadro nº 6 e na figura 6. Em razão dos perfis longitudinais côncavos, a declividade média diminui com o aumento das ordens dos canais. Os dados coletados comprovam essa tendência geral. Todavia, alguns distúrbios verificados não chegam a representar variações de magnitude para permitir interpretações de bacias totalmente deslocadas dos padrões normais da drenagem. Observa-se que as ordens mais elevadas apresentam divergências de maior significância, destacando-se os casos dos ribeirões Pádua Diniz e Cã-Cã, cuja declividade média de quinta ordem é maior que a de quarta. De maneira oposta, os ribeirões Ponte

Pensa e das Cruzes surgem com declividades anormalmente reduzidas para os segmentos de quinta ordem. Ao contrário do que se pode concluir à primeira vista, essas divergências não chegam a indicar re-des anômalas quanto à lei da declividade, mas uma situação conseqüente de irregularidades observadas nos comprimentos médios. Como pudemos assinalar anteriormente, as distorções na distribuição das declividades encaixam-se nas distorções presentes no gráfico representativo dos comprimentos médios. As bacias que mostram excesso de declividade nos segmentos de quinta ordem apresentam deficiente comprimento médio na referida ordem, e vice-versa. A bacia do ribeirão do Arrancado é a que mais se aproxima das condições normais, tanto para a lei da declividade como para a do comprimento.

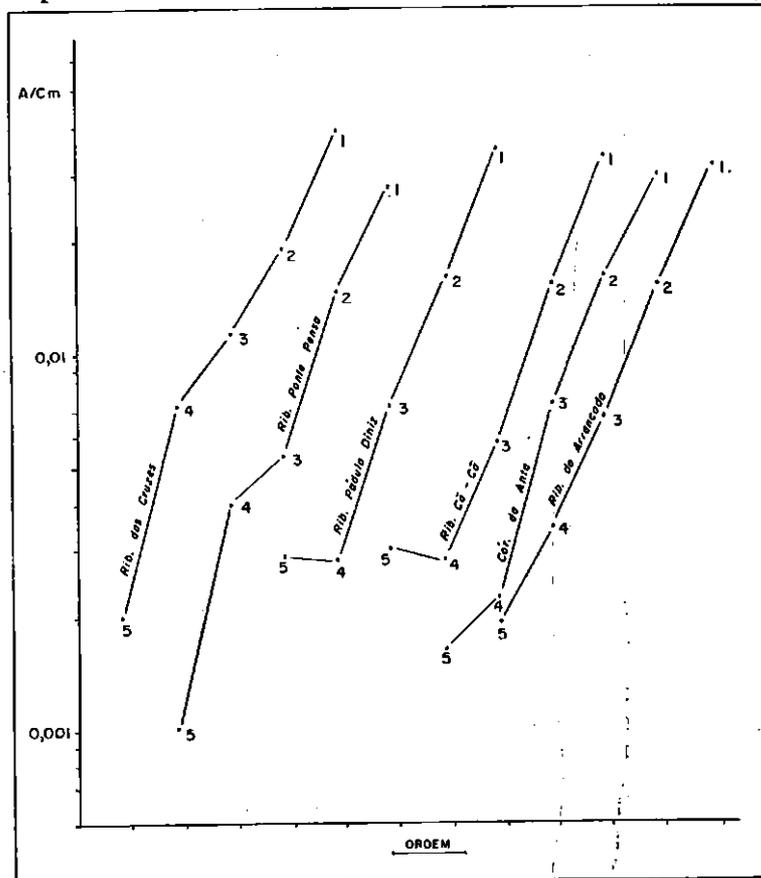


Fig. 6 — Relações entre as declividades médias (calculadas dividindo-se a diferença altimétrica média de cada ordem pelo respectivo comprimento médio) e as respectivas ordens.

III — CONCLUSÕES

A análise morfométrica das bacias hidrográficas constitui-se num importante meio para definir os estágios de desenvolvimento das redes de drenagem. Quando as redes estão equilibradas, surgem bacias perfeitamente adaptadas às suas condições ambientais, e a morfologia regional pode ser considerada como consequência direta das adaptações do sistema de drenagem.

Na presente oportunidade, utilizamos o modelo hortoniano a fim de verificar se as bacias hidrográficas localizadas na região Norte-Occidental e os afluentes do Paraná, Grande e Tietê haviam atingido o estado de estabilidade. Para a nossa satisfação, pudemos constatar que os casos apresentados estão aproximadamente enquadrados no modelo proposto por HORTON, em função das quatro leis da composição da drenagem.

Os gráficos representativos das leis do número de canais e das áreas satisfazem quase perfeitamente as condições da progressão linear. No que se refere à lei da declividade, verificamos discrepâncias significativas, explicáveis como consequências da má distribuição dos comprimentos dos canais. Desta maneira, tais distúrbios não indicam imaturidade, mas contingências da forma das bacias, que se distribuíram na região apresentando equilíbrio de forças, uma não conseguindo suplantar ou capturar as outras. A distribuição uniforme da energia por toda a região deverá conservar e manter as condições atuais da distribuição espacial e organização estrutural das bacias hidrográficas. Várias bacias apresentam índices de circularidade muito pequenos, denunciando predomínio de formas alongadas. Como conclusão final, podemos afirmar que a hipótese inicialmente levantada torna-se válida e que as bacias atingiram o estado de estabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Fernando F. M. de (1956) — *O Planalto Basáltico da bacia do Paraná*. Boletim Paulista de Geografia, (24): 3-34.
- ARID, Fahad M. (1967) — *A formação Bauru na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo*. Geociências (1), 126 p., São José do Rio Preto.
- ARID, Fahad M. (1973) — *Comportamento espacial da formação Bauru na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo*. Revista Bras. de Geociências.

- ARID, F. M. & LANDIM, P. M. B. (1963) — *Um estudo sobre os solos de São José do Rio Preto*. *Ciência*, 15 (3): 179.
- ARID, F. M. et alii (1970) — *Estudos hidrogeológicos no município de São José do Rio Preto*. *Bol. Soc. Bras. Geologia*, 19 (1): 43-69.
- BARCHA, S. F. & ARID, F. M. (1971) — *Estudo da evapotranspiração na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo*. *Revista de Ciências*, (1): 98-122, Votuporanga.
- BARCHA, S. F. & ARID, F. M. (1973) — *Água subterrânea na formação de Bauru, na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo*. *Boletim de Ciências*, (1): 70-101, S. J. Rio Preto.
- BARCHA, S. F. & ARID, F. M. (1974) — *Características climáticas da Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo*. *Ciência e Cultura*, 26 (4): 397-398.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1969) — *Análise morfométrica de bacias hidrográficas*. *Notícia Geomorfológica*, 9 (18): 35-64.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1970a) — *Análise hipsométrica das bacias de drenagem*. *Notícia Geomorfológica*, 10 (19): 68-76.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1970b) — *Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas*. Tese de livre-docência, edição mimeografada, Faculdade de Filosofia de Rio Claro.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1971) — *A relação do equivalente vetorial aplicada nas bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas*. *Notícia Geomorfológica*, 11 (22): 9-19.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1973a) — *Análise da densidade hidrográfica e da densidade de drenagem no planalto de Poços de Caldas*. *Ciência e Cultura*, 25 (5): 454-457.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1973b) — *Análise topológica de redes fluviais*. *Boletim de Geografia Teórica*, 3 (6): 5-29.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1974) — *Geomorfologia*. Editora Edgard Blucher e Ed. da Univ. de São Paulo, 150 p.
- HORTON, Robert E. (1945) — *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. *Bull. Geol. Soc. America*, 56 (3): 275-370.
- SCHEIDEGGER, Adrian E. (1970) — *Theoretical Geomorphology*. Springer Verlag, Berlin, 435 p., 2a. edição.
- SCHUMM, Stanley A. (1956) — *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey*. *Bull. Geol. Soc. America*, 67: 597-646.
- SHREVE, R. L. (1966) — *Statistical law of stream numbers*. *Journal of Geology*, 74 (1): 17-37.
- SHREVE, R. L. (1967) — *Infinite topologically random channel networks*. *Journal of Geology*, 75 (2): 179-186.
- SMART, J. S. (1972) — *Channel networks*. IBM Research, RC3250.

- SMART, J. S. (1973) — *The random model in fluvial geomorphology*. IBM Research, RC4504.
- STRAHLER, Arthur N. (1952) — *Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography*. Bull. Geol. Soc. America, 63: 1117-1142.
- STRAHLER, A. N. (1958) — *Dimensional analysis applied to fluviially eroded landforms*. Bull. Geol. Soc. America, 69 (2): 279-300.

RESUMO

Seis bacias hidrográficas de quinta ordem, localizadas na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo, foram analisadas a fim de verificar-se a estrutura das redes de drenagem em função das leis da composição da drenagem. Considerando as características da evolução geológica regional, pres-supôs-se que o tempo decorrido desde a deposição do Grupo Bauru possibilitou condições para o desenvolvimento dessas bacias até atingirem o grau de estabilidade. O modelo hortoniano serviu de padrão interpretativo para a análise dos dados coletados.

Os valores obtidos, relacionados com a lei do número de canais e com a lei da declividade, assinalam disposição proporcional para as várias ordens, denunciando estágio de estabilidade dentro das condições de equilíbrio dinâmico. Embora haja algumas discrepâncias, os valores para a lei do comprimento dos canais se enquadram dentro dos limites de 1,5 a 3,5, considerados como comuns para as redes naturais (Smart, 1972), o mesmo acontecendo com a lei das áreas, cujos valores estão inseridos dentro dos limites de 3,0 a 6,0. Com a aplicação interpretativa das leis propostas por Horton, pode-se verificar que bacias estão estruturadas de maneira correspondente ao modelo hortoniano, podendo-se considerar como válidas as hipóteses sobre as condições evolutivas e estágio de estabilidade.

SUMMARY

With the finality of observing the structure of the river networks, considering the laws of drainage composition, six fluvial basins located in the Northwest area of São Paulo State were analysed. During the geological evolution, the last sedimentation phase was related with the Bauru Group (Cretaceous), and the aggradational surface may be considered as the inicial to-

pographic surface for the drainage development. Therefore, from Cretaceous to Recent, there was stability conditions to the hydrographic basins obtain the steady state.

The data show linear relations about the stream number and stream gradient laws. About the stream length law, the values are enclosed between 1,5 and 3,0, and to basin areas the values are between 3,0 and 6,0, and these values are considered as common in natural networks by Smart (1972). Considering the data and the laws of drainage composition (see the tables and figures) in the Horton's model, it is possible to consider the fluvial network of the Northwest area of São Paulo State as having structural behaviour proposed by the model, showing the vality of the propositions included in the geological evolutive conditions and steady state hypothesis.

