

## CAPÍTULO II

# 4

## ANÁLISE FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Uma bacia hidrográfica compreende toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários.

O limite superior de uma bacia hidrográfica é o divisor de águas (divisor topográfico), e a delimitação inferior é a saída da bacia (confluência).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, etc.. A fim de entender as inter-relações existentes entre esses fatores de forma e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar as características da bacia em termos quantitativos.

De acordo com o escoamento global, as bacias de drenagem podem ser classificadas em (CHRISTOFOLETTI, 1974):

- a) exorreicas: quando o escoamento da água se faz de modo contínuo até o mar, isto é, quando as bacias deságuam diretamente no mar;
- b) endorreicas: quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar, desembocando em lagos, ou dissipando-se nas areias do deserto, ou perdendo-se nas depressões cársticas;
- c) arreicas: quando não há qualquer estruturação em bacias, como nas áreas desérticas;
- d) criptorreicas: quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársticas.

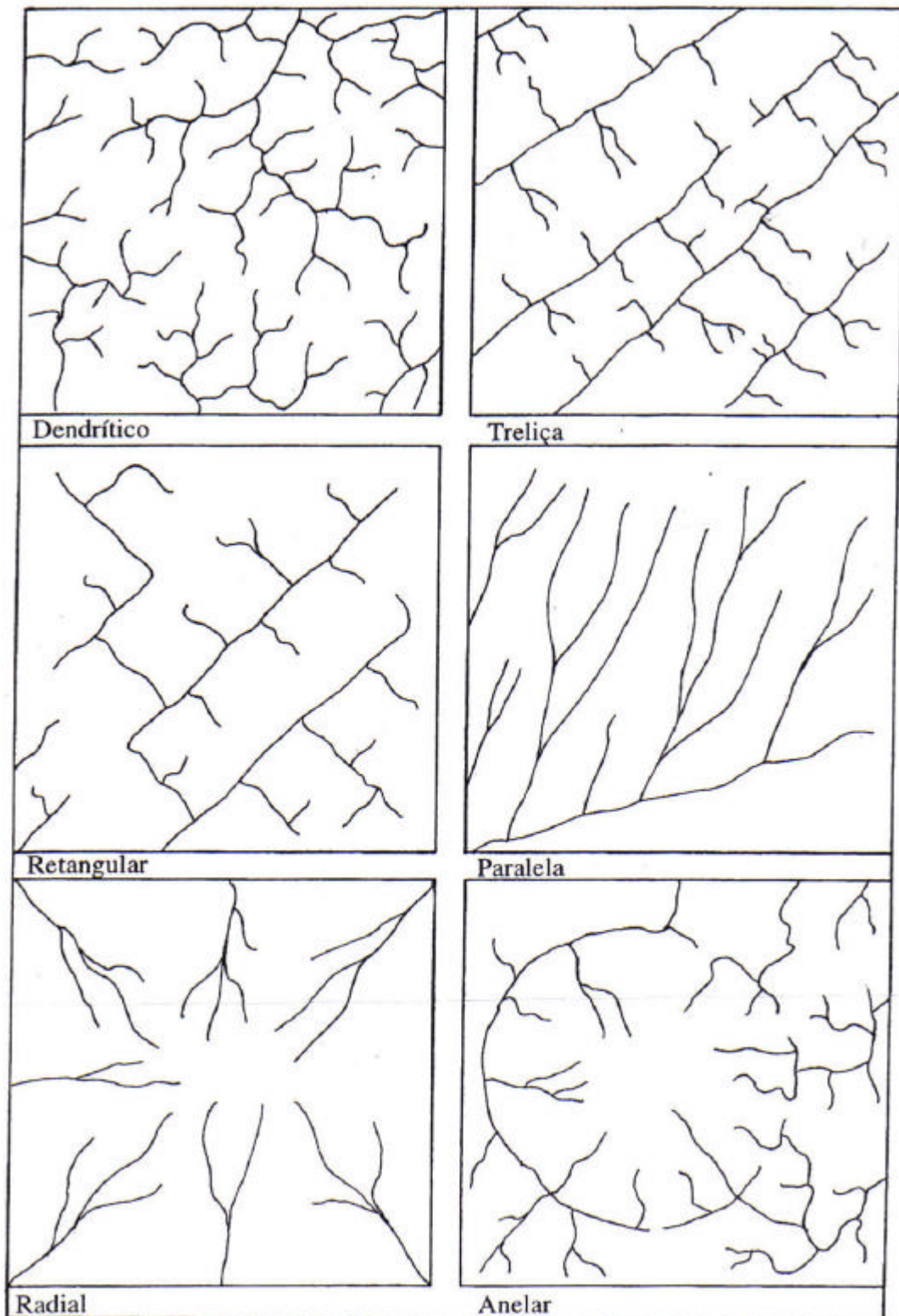
Da mesma forma como as bacias, também os cursos d'água podem, individualmente, ser objeto de classificação. De acordo com o período de tempo durante o qual o fluxo ocorre, distinguem-se os seguintes tipos de rios:

- a) perenes: há fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, em canal bem definido;
- b) intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos);
- c) efêmero: só há fluxo durante chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos.

Dentro da bacia, a forma da rede de drenagem também apresenta variações. Em geral, predomina na natureza a forma dendrítica, a qual deriva da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea. Num certo sentido, considerando-se a fase terrestre do ciclo da água, pode-se dizer que a água procura evadir-se da terra para o mar. Assim fazendo, torna-se organizada em sistemas de drenagem, os quais refletem principalmente a estrutura geológica local. A descrição qualitativa dos diferentes sistemas de drenagem pode ser observada de acordo com os esquemas da Figura 4.1. Estes chamados padrões de drenagem podem ser observados pelo exame de mapas topográficos de diferentes províncias geológicas.

Esta classificação, baseada mais em critérios geométricos do que genéticos, engloba os seguintes tipos:

- a) dendrítica: lembra a configuração de uma árvore. É típica de regiões onde predomina rocha de resistência uniforme;
- b) treliça: composta por rios principais conseqüentes correndo paralelamente, recebendo afluentes subseqüentes que fluem em direção transversal aos primeiros. O controle estrutural é muito acentuado, devido à desigual resistência das rochas. A extensão e a profundidade dos leitos serão maiores sobre rochas menos resistentes, dando formação a vales ladeados por paredes de rochas mais resistentes. Este tipo é encontrado em regiões de rochas sedimentares estratificadas, assim como em áreas de glaciação;
- c) retangular: variação do padrão treliça, caracterizado pelo aspecto ortogonal devido às bruscas alterações retangulares nos cursos fluviais. Deve-se à ocorrência de falhas e de juntas na estrutura rochosa;
- d) paralela: também chamada “cauda eqüina”, ocorre em regiões de vertentes com acentuada declividade, ou onde existam controles estruturais que favoreçam a formação de correntes fluviais paralelas;
- e) radial: pode desenvolver-se sobre vários tipos e estruturas rochosas, como por exemplo em áreas vulcânicas e dômicas;
- f) anelar: típica de áreas dômicas; a drenagem acomoda-se aos afloramentos das rochas menos resistentes.



**FIGURA 4.1.** Padrões de drenagem (CRISTOFOLETTI, 1974).

Logicamente, em muitos casos a classificação dos padrões de drenagem de áreas distintas feita por diferentes autores, envolvia diferentes interpretações. Desta forma, visando à comparação de padrões de drenagem, assim como o relacionamento destes padrões com processos hidrológicos da bacia, exigia a elaboração de métodos de expressar os padrões de drenagem em termos quantitativos, o que será visto no item seguinte.

#### **4.2. PARÂMETROS FÍSICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Para entender o funcionamento de uma bacia, torna-se necessário expressar quantitativamente as manifestações de forma (a área da bacia, sua forma geométrica, etc.), de processos (escoamento superficial, deflúvio, etc.) e suas inter-relações.

Vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis à bacia como um todo, enquanto que outros relativos a apenas algumas características do sistema. O importante é reconhecer que nenhum desses parâmetros deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia hidrográfica, a qual inclusive tem magnitude temporal.

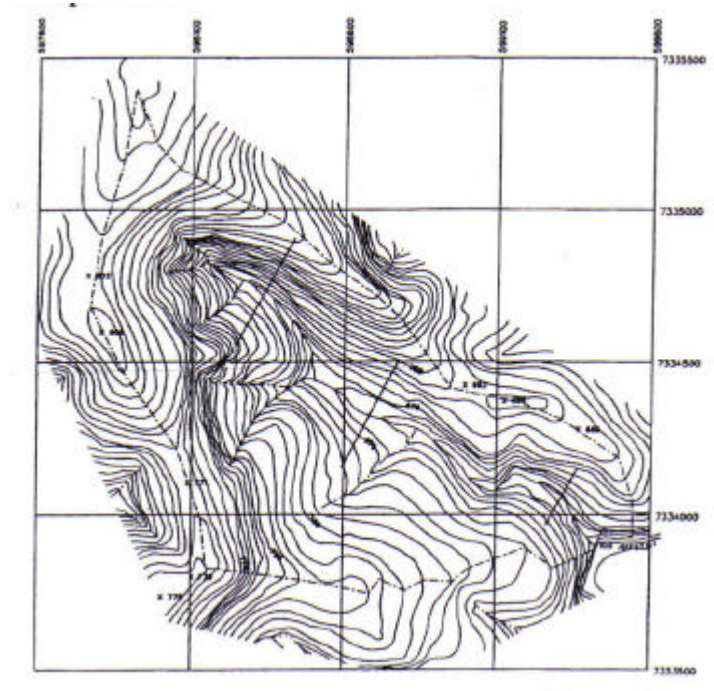
Estes parâmetros e suas inter-relações podem ser classificados em:

- a) parâmetros físicos: área, fator de forma, compacidade, altitude média, declividade média, densidade de drenagem, número de canais, direção e comprimento do escoamento superficial, comprimento da bacia, hipsometria (relação área-altitude), comprimento dos canais, padrão de drenagem, orientação, rugosidade dos canais, dimensão e forma dos vales, índice de circularidade, etc.;
- b) parâmetros geológicos: tipos de rochas, tipos de solos, tipos de sedimentos fluviais, etc.;
- c) parâmetros de vegetação: tipos de cobertura vegetal, espécies, densidade, índice de área foliar, biomassa, etc.;
- d) inter-relações: Lei do Número de Canais (razão de bifurcação), Lei do Comprimento dos Canais (relação entre comprimento médio dos canais e ordem), Lei das Áreas (relação entre área e ordem), etc.

##### **4.2.1. Área**

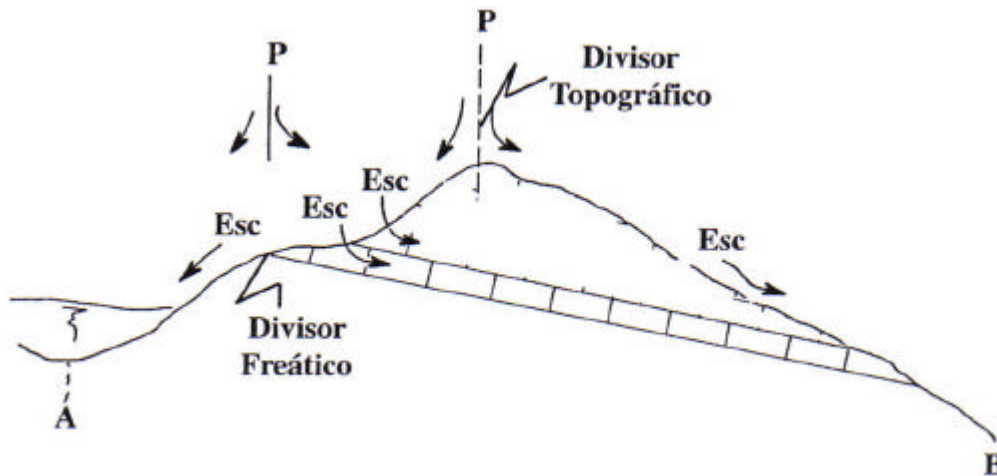
ANDERSON (1957) denominou a área como a “variável do diabo”, porque a maioria das características da bacia está, de alguma forma, correlacionada com sua área.. A área deve ser definida em relação a um dado ponto ao longo do canal, ou à própria saída ou confluência da bacia. A área total inclui todos os pontos situados a altitudes superiores à da saída da bacia e dentro do divisor topográfico que separa duas bacias adjacentes (Figura 4.2.). A determinação da área deve ser feita com muito rigor, a partir de fotografias aéreas, mapas

topográficos, ou levantamento de campo, e se possível com auxílio de computadores.



**FIGURA 4.2.** Ilustração do traçado do divisor topográfico ao longo dos pontos das linhas de contorno que delimitam uma bacia. (microbacia experimental, Bacia da Cachoeira, INPACEL, Arapoti, PR).

Como a produção total de água pela bacia (deflúvio), pode ser originado de componentes superficiais e sub-superficiais, é possível, na paisagem normal, existir uma área de drenagem superficial que não corresponde exatamente aos limites subterrâneos da bacia, ou seja, o divisor topográfico pode não coincidir com o divisor freático. A Figura 4.3. ilustra esta situação.

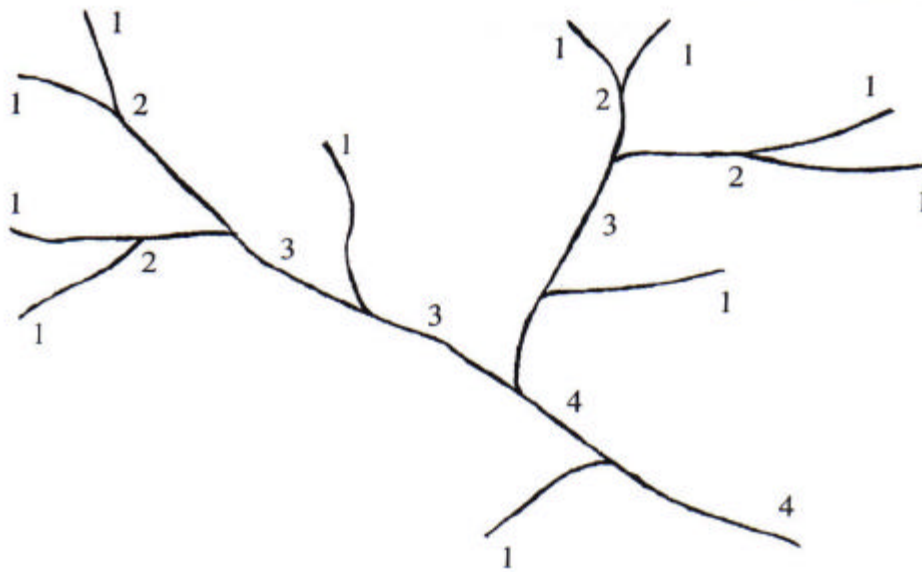


**FIGURA 4.3.** Casos em que não ocorre a coincidência entre a área superficial e a área sub-superficial das bacias.

No balanço hídrico ocorre vazamento para fora em A e para dentro em B. Pela importância da área, tentativas foram feitas no sentido de se desenvolver métodos de classificação ou de ordenamento das bacias de acordo com seu tamanho, principalmente baseados na rede de canais da bacia. O método de ordenamento de STRALER (1957) é ilustrado na Figura 4.4.

Os canais primários (nascentes) são designados de 1ª ordem. A junção de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente. A junção de um canal de uma dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste. A ordem do canal à saída da bacia é também a ordem da bacia.

Em hidrologia florestal os estudos se concentram em bacias pequenas, microbacias, de 1ª a 3ª ou até 4ª ordens, as quais são comparáveis em tamanho aos compartimentos ou talhões de manejo florestal (10 a 100 ha). Conforme pode ser observado, a menor unidade geomorfológica que caracteriza a bacia hidrográfica é a bacia de primeira ordem. A junção de duas microbacias primárias forma uma microbacia maior, de segunda ordem, e assim sucessivamente, até a formação da macrobacia hidrográfica, a bacia de um rio.



**FIGURA 4.4.** Ilustração do método de ordenação dos canais de STRHALER (1957).

O conceito de microbacia, portanto, é meio vago. Primeiro, porque não há um limite de tamanho para a sua caracterização. Em segundo lugar, porque há que se fazer distinção aqui a dois critérios:

- a) **Do ponto de vista hidrológico**, ou seja, levando em conta o funcionamento hidrológico da bacia: deste ponto de vista, bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas não apenas com base em sua superfície total, mas também nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. As microbacias apresentam, como características distintas, alta sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como ao fator uso do solo (cobertura vegetal). Em bacias grandes, o efeito de armazenamento ao longo dos canais é tão pronunciado que a bacia não mais responde, ou perde sensibilidade àqueles dois fatores.

Desta forma, define-se “microbacia” como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem. De acordo com tal definição, a área de uma microbacia pode variar de pouco menos de 1 ha a até 40 ou mais hectares, podendo mesmo atingir, em algumas situações, até 100 ha ou mais. Estes aspectos voltarão a ser discutidos em outros capítulos.

- b) **Do ponto de vista de programas e políticas** de uso do solo de recente estabelecimento no país - os programas de manejo de microbacias: o critério de caracterização da microbacia, neste caso, é eminentemente político e administrativo.

#### 4.2.2. Densidade de Drenagem

HORTON (1932) definiu densidade de drenagem como sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. É um índice importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. É dado por:

$$DD = \frac{L}{A}$$

onde:

DD = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

L = comprimento total de todos os canais (km)

A = área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)

Quanto à densidade de drenagem, as bacias podem ser classificadas em (STHALER, 1957):

baixa DD : 5.0 km/km<sup>2</sup>

média DD : 5,0 - 13,5 km/km<sup>2</sup>

alta DD : 13,5 - 155,5 km/km<sup>2</sup>

muito alta DD : >> 155,5 km/km<sup>2</sup>

A densidade de drenagem depende do clima e das características físicas da bacia hidrográfica. O clima atua tanto diretamente (regime e vazão dos cursos), como indiretamente (influência sobre a vegetação).

Das características físicas, a rocha e o solo desempenham papel fundamental, pois determinam a maior ou menor resistência à erosão. Em geral, uma bacia de geologia dominada por argilitos apresenta alta densidade de drenagem, enquanto que outra com substrato predominante de arenitos apresenta baixa densidade de drenagem (MORISAWA, 1968).

Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

#### 4.2.3. Forma da Bacia

Uma bacia hidrográfica, quando representada em um plano, apresenta a forma geral de uma pera. Dependendo da interação clima-geologia, todavia, várias outras formas geométricas podem existir.

Em qualquer situação a superfície da bacia é côncava, a qual determina a direção geral do escoamento.



A forma é uma das características físicas mais difíceis de ser expressas em termos quantitativos. A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas outras características da bacia, principalmente pela geologia. A forma pode, também, atuar sobre alguns dos processos hidrológicos, ou sobre o comportamento hidrológico da bacia.

Inúmeros métodos de descrição da forma da bacia foram apresentados, conforme explicado com detalhes na literatura (MORISAWA, 1968), (GREGORY & WALLING, 1973).

HORTON (1932) propôs o fator de forma, definido pela fórmula:

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

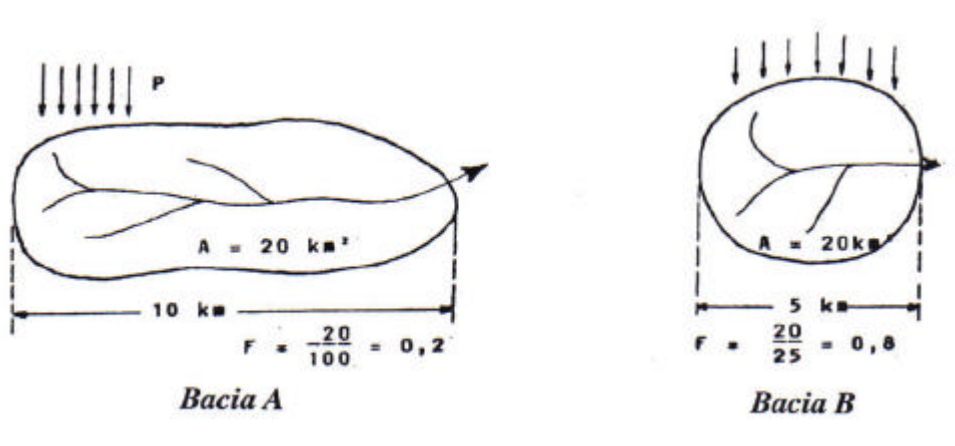
onde:

F = fator de forma

A = área da bacia

L = comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto extremo mais longínquo no espigão).

Este índice de forma pode, por exemplo, dar alguma indicação sobre a tendência a inundações, conforme ilustrado na Figura 4.5.



**FIGURA 4.5.** Ilustração da determinação do fator de forma para duas bacias de mesma área.

O escoamento direto de uma dada chuva na bacia (A) não se concentra tão rapidamente como em (B), além do fato de que bacias longas e estreitas como a (A) são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB et al., 1966). Comparativamente, bacias de fator de forma maior têm maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor.

Outro índice de forma é o chamado “índice de Circularidade” proposto por Miller em 1953 (citado por CHRISTOFOLETTI, 1974), de acordo com a fórmula:

$$IC = 12,57 * A / P^2$$

sendo:

IC = índice de circularidade < 1

A = área da bacia

P = perímetro da bacia

Quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica.

#### **4.2.4. Declividade e Orientação**

A declividade de uma bacia hidrográfica tem relação importante com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo, etc. É, além disto, um dos fatores principais que regulam o tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água.

A diferença entre a elevação máxima e a elevação mínima define a chamada "amplitude altimétrica" da bacia. Dividindo-se a amplitude altimétrica pelo comprimento da bacia obtém-se uma medida do gradiente ou da declividade geral da bacia, que guarda relação com o processo erosivo.

A declividade média da bacia pode ser calculada pela fórmula seguinte:

$$S = (D \times L / A) \times 100$$

onde:

S = declividade média (%)

D = distância entre as curvas de nível (m)

L = comprimento total das curvas de nível (m)

A = área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>)

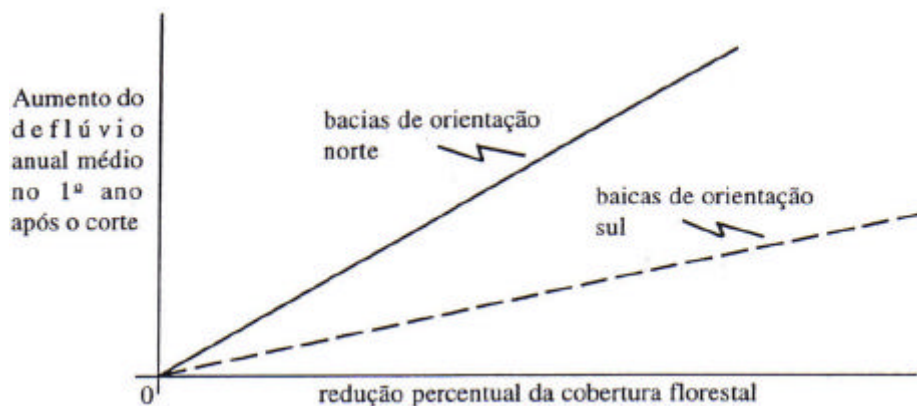
Pelo método acima, verifica-se que o material necessário compreende um mapa plani-altimétrico, um curvímeter para a medição de distâncias no mapa, e um planímetro para a determinação da área.

Para bacias maiores, ou muito acidentadas, pode-se ampliar o intervalo entre duas curvas de nível, isto é, pode-se, por exemplo, medir apenas o comprimento de curvas alternadas.

Apesar de a declividade influir na relação entre a precipitação e o deflúvio, principalmente devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz, em consequência, a possibilidade de infiltração da água no solo, não se deve desprezar a influência secundária da direção geral da declividade, ou seja, da orientação da bacia.

A orientação define, então, a direção geral para a qual a declividade está exposta. Assim, bacia de orientação norte drena para o norte.

O fator orientação afeta as perdas por evapotranspiração, devido a sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida pela bacia. Esta pode, sem dúvida, afetar as relações entre a precipitação e o deflúvio. Por exemplo, na Estação Experimental Hidrológica de Coweeta, nos Estados Unidos, foi verificado que bacias de orientação norte e orientação sul respondem diferentemente ao mesmo tratamento experimental aplicado, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4.6., a qual mostra a relação entre o corte raso da floresta e o conseqüente aumento do deflúvio nas bacias hidrográficas.



**FIGURA 4.6.** Efeito do corte raso da floresta sobre o aumento do deflúvio em bacias de orientação norte e sul (SWIFT JR., 1965).

Várias hipóteses têm sido apresentadas para a explicação do fenômeno observado. Embora se admita que o fator orientação tenha influência na diferença de comportamento, sabe-se também que a relação entre um e outro é complexa.

#### 4.2.5. Altitude Média

A variação altitudinal e também a altitude média de uma bacia hidrográfica são importantes fatores relacionados com a temperatura e a precipitação.

Em bacias hidrográficas grandes, a altitude média pode ser mais facilmente determinada pelo método das interseções. Sobrepondo-se uma transparência reticulada sobre o mapa da bacia, contam-se as interseções que se encontram dentro da área da bacia (deve haver no mínimo 100 interseções para o sucesso do método). A altitude média é, então, obtida por:

$$H = \Sigma h / n$$

onde:

H = altitude média da bacia

h = altitude nas interseções

n = número de interseções

Uma análise mais completa das características de altitude de uma bacia pode ser feita pela medição, em mapa topográfico conveniente, das sub-áreas compreendidas entre pares sucessivos de curvas de nível. Avalia-se, então, a porcentagem correspondente a cada uma destas sub-áreas, em relação à área total da bacia. Por simples soma, obtém-se, a seguir, a porcentagem da área total que fica acima ou abaixo de uma dada altitude. Este método, descrito em WISLER & BRATER (1964), pode ser melhor compreendido através do esquema demonstrativo da Tabela 4.1., utilizando-se os valores mostrados na Figura 4.2 (microbacia experimental do Onça - INPACEL).

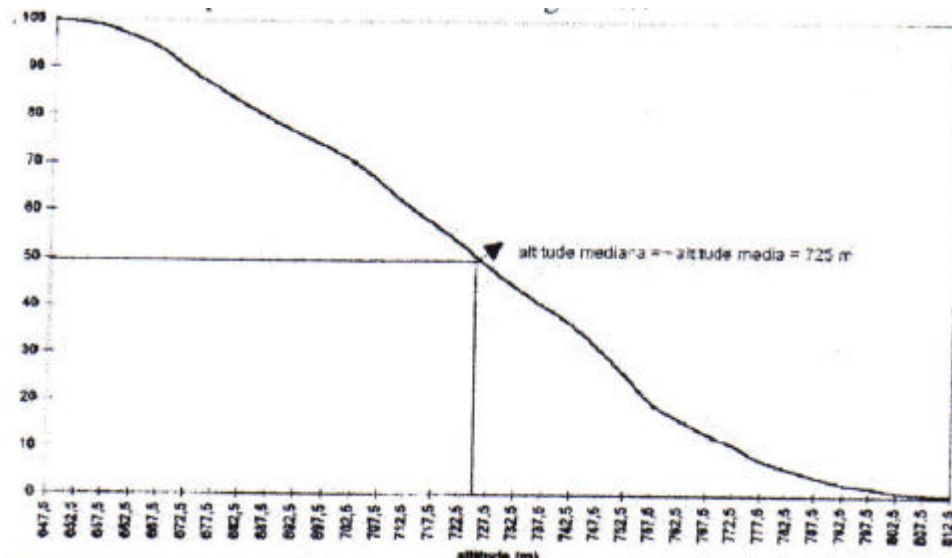
**TABELA 4.1.** Esquema demonstrativo do cálculo da altitude média da microbacia hidrográfica experimental do Onça - INPACEL.

Intervalo de classe (m)	Sub-área entre as curvas (km <sup>2</sup> ) (a)	Altitude média do intervalo (m) (h)	(a).(h)	% sobre o total	% do total acima do limite inferior do intervalo
380-400	0,03	390	11,7	0,8	100,0
400-420	0,25	410	61,5	1,2	98,8
420-440	0,45	430	193,5	3,0	95,8
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
	Σ = A		Σ (a.h)		

A altitude média da bacia é, então, calculada pela fórmula seguinte:

$$H = \Sigma (a.h) / A$$

Os dados da Tabela 4.1. servem, ainda, para a determinação da chamada curva hipsométrica da bacia, a qual mostra a porcentagem da área da bacia que se encontra acima de uma determinada altitude básica. A conformação geral da curva hipsométrica é mostrada na Figura 4.7.



**FIGURA 4.7.** Curva hipsométrica da microbacia experimental da bacia do Onça (INPACEL), Arapoti, PR.

Pela curva hipsométrica, nota-se que é possível determinar uma outra característica altitudinal da bacia - a altitude mediana - que é o valor da escala de altitudes que corresponde a 50% da escala do eixo das abscissas. A altitude mediana é ligeiramente inferior à altitude média, de maneira geral.

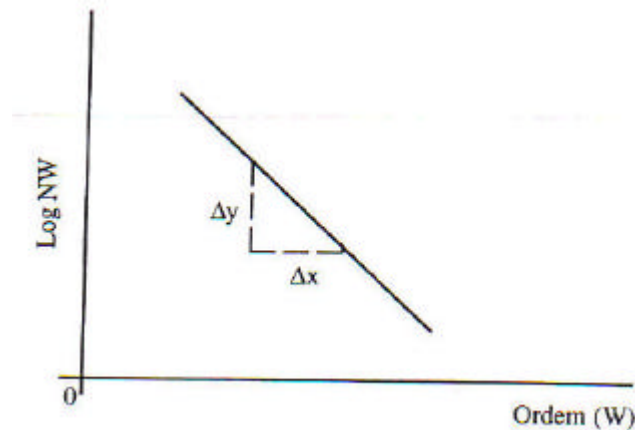
#### 4.2.6. Razão de Bifurcação

Como expressão quantitativa das inter-relações entre os parâmetros físicos, a chamada “razão de bifurcação”, ou Lei do Número de Canais foi proposta por HORTON (1932). A razão de bifurcação ( $R_b$ ) é definida como a relação entre o número de canais de uma dada ordem ( $n$ ) e o número de canais de ordem imediatamente superior ( $n+1$ ). E assim uma dada bacia de ordem  $n$ ,  $n-1$  valores de  $R_b$  podem ser determinados, conforme ilustra o esquema a seguir:

No. de canais (NW)	Ordem (W)	$R_b$
32	1	
10	2	3,2
3	3	3,3
1	4	3,0
		$R_b$ médio = 3,2

O valor médio dos Rb individuais da bacia representa a razão de bifurcação média para a bacia.

HORTON verificou que o número de canais diminui com o aumento da ordem dos canais de forma regular, ou seja, existe uma relação geométrica simples entre o número e a ordem dos canais. De fato, plotando-se a ordem dos canais (W) com o logaritmo do número de canais (log NW), os pontos alinham-se em linha reta, conforme ilustrado na Figura 4.8.



**FIGURA 4.8.** Lei do Número de Canais.

Esta relação é denominada “Lei do Número de Canais”. A tangente da curva da Figura 4.8 tem o mesmo valor da razão de bifurcação média, ou seja, no exemplo considerado ( $Rb$  média =  $\text{tg } a = \Delta y / \Delta x = 3,2$ ). Neste caso, a Lei do Número de Canais permite dizer que para cada canal de 4ª ordem existe em média 3,2 canais de 3ª ordem, e assim sucessivamente.

$$N_u = R_b^{k-u}$$

Onde

$N_u$  = número de canais de ordem  $u$

$R_b$  = razão de bifurcação média

$k$  = ordem da bacia

$u$  = ordem dada

A maioria das bacias segue, em geral, a Lei de Horton, mas existem exceções (MORISAWA, 1968).

#### 4.2.7. Lei do Comprimento dos Canais

Semelhantemente ao conceito de razão de bifurcação, pode-se estabelecer a chamada “razão do comprimento dos canais”, utilizando-se, ao invés do número, o comprimento dos canais existentes na bacia hidrográfica.

Medindo-se acumulativamente o comprimento total de todos os segmentos de uma dada ordem, então o comprimento médio dos segmentos desta ordem é dado por:

$$L_u = \frac{\sum_{i=1}^n L_u}{N_u}$$

Similarmente, também se observa que:

$$L_{u+1} < L_u < L_{u-1}$$

HORTON verificou que a razão do comprimento (RI) tende a ser constante através de uma dada série de ordens em uma bacia, tendo estabelecido, então, a chamada Lei dos Comprimentos, a qual é definida por:

$$L_u = L_1 \times RI^{u-1}$$

Ou seja, “o comprimento médio dos segmentos de uma dada ordem “u” tende a seguir uma sequência geométrica direta, na qual o primeiro termo é o comprimento médio do segmento de primeira ordem”.

Pelas leis de Horton, pode-se concluir que existe uma similaridade geométrica entre as bacias de ordem crescente. Ou seja, uma bacia de 3ª ordem é geometricamente similar às sub-bacias de 2ª ordem, e assim sucessivamente.

As leis do número e do comprimento de canais podem ser combinadas, permitindo a estimativa do comprimento total de segmentos de uma dada ordem “u”, a partir do conhecimento de Rb, RI e L1, assim como da ordem da bacia:

$$\sum_{i=1}^n L_u = L_1 \cdot R_b^{k-1} \cdot RI^{u-1}$$

O comprimento total de toda a rede de drenagem de uma bacia de ordem k, por outro lado, é dado por:

$$\sum_{i=1}^k \rightarrow \sum_{i=1}^n L_u = L_1 \cdot R_b^{k-1} \cdot \frac{RI^{k-1}}{RI - 1}$$

onde:  $Rlb = RI / Rb$

Para um aumento contínuo e uniforme de L, verifica-se que ocorrem aumentos descontínuos na área da bacia (A).

Em termos médios para diferentes regiões fisiográficas, verifica-se que esta relação entre L e A ocorre de acordo com o seguinte modelo:

$$L = 1,4.A^{0,6} \quad \text{ou} \quad L = 1,4.(2,58.A)^{0,6}$$

onde:  $A = \text{milhas quadradas}$   $A = \text{km}^2$

Para onde for válida esta relação, pode-se dizer que uma bacia de área igual a 1 milha quadrada deve conter, em média, cerca de 1,4 km de canais de drenagem.

A existência de uma relação entre L e A implica em algumas considerações importantes:

- a) a distância entre dois canais adjacentes é, por definição, igual ao recíproco da densidade de drenagem, ou seja:

$$D = A / L$$

- b) a metade desta distância (A/2L), por outro lado, representa o comprimento de terreno onde pode ocorrer escoamento superficial, ou seja, o comprimento de terreno desde o divisor até o canal mais próximo:

$$d = A / 2L$$

- c) o parâmetro “d” pode ser entendido como um indicador da quantidade de água necessária para ultrapassar o limiar de erosão.

### **4.3. O ECOSSISTEMA BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia hidrográfica pode ser considerada como um bom exemplo de um sistema geomorfológico: o geossistema.

Define-se sistema como um conjunto de elementos, seus atributos, e as relações entre si. De acordo com o critério funcional, os sistemas podem ser classificados em sistemas fechados e sistemas abertos.

Diz-se que um sistema é fechado quando apresenta limites bem definidos, através dos quais não ocorre nem importação nem exportação de matéria. Um sistema fechado desenvolve-se a partir de um fornecimento inicial de energia, ao



passo que um sistema do tipo aberto requer suprimento contínuo de energia, funcionando pelo recebimento e pela perda contínua de energia (GREGORY & WALLING, 1973), (CHRISTOFOLETTI, 1974). A bacia hidrográfica pode, desta forma, ser considerada como um sistema geomorfológico aberto, recebendo energia do clima reinante sobre a bacia, e perdendo continuamente energia através do deflúvio.

Todo sistema é um organismo autônomo, mas ao mesmo tempo componente de um sistema maior (bacia unitária, microbacia, macrobacia). No sistema aberto, portanto, a ênfase recai sobre as interações e inter-relações do conjunto, ou seja, do todo, do “holon” (holística).

A bacia hidrográfica, como sistema aberto, pode desta forma ser descrita em termos de variáveis interdependentes, as quais oscilam ao longo de um padrão, ou de uma média. Como tal, ela se encontra, mesmo quando não perturbada, em contínua flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Ou seja, a adição de energia, e a perda de energia o próprio sistema, encontram-se sempre em delicado balanço.

Em qualquer momento existe equilíbrio entre forma e forma (ex. entre a variável “área” e a variável “comprimento do canal” da bacia), ou entre forma e processo (ex. “área” x “vazão média”), ou entre processo e processo (ex. “vazão” x “sedimentos em suspensão”). Se ocorrer alguma modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou ainda na forma do sistema, deve ocorrer uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio (GREGORY & WALLING, 1973), (LEOPOLD *et al.*, 1964).

A área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo, por outro lado, atuam sobre a taxa, ou sobre o regime desta produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio.

Muitas destas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são em grande parte controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica. O manejo ecossistêmico da bacia hidrográfica, desta forma, deve levar em conta este estado transacional e esta contínua interdependência entre todos os fatores da bacia, a fim de que os impactos (reações) decorrentes das atividades antrópicas sejam sempre minimizados.

#### 4.4 . QUESTÕES

1) Fala-se muito em microbacias atualmente. O que você realmente entendeu por microbacia? Leve em conta na sua resposta:

- a) superfície;
- b) funcionamento hidrológico;
- c) programa de planejamento de uso do solo.

2) No caso da definição hidrológica da microbacia, o que vem a ser essa referida “sensibilidade” da microbacia a chuvas de alta intensidade?

3) Suponha duas microbacias de mesma área, mas com diferentes densidades de drenagem. Qual delas está mais sujeita à erosão? Por que?

4) Qual a relação entre declividade e deflúvio na microbacia?

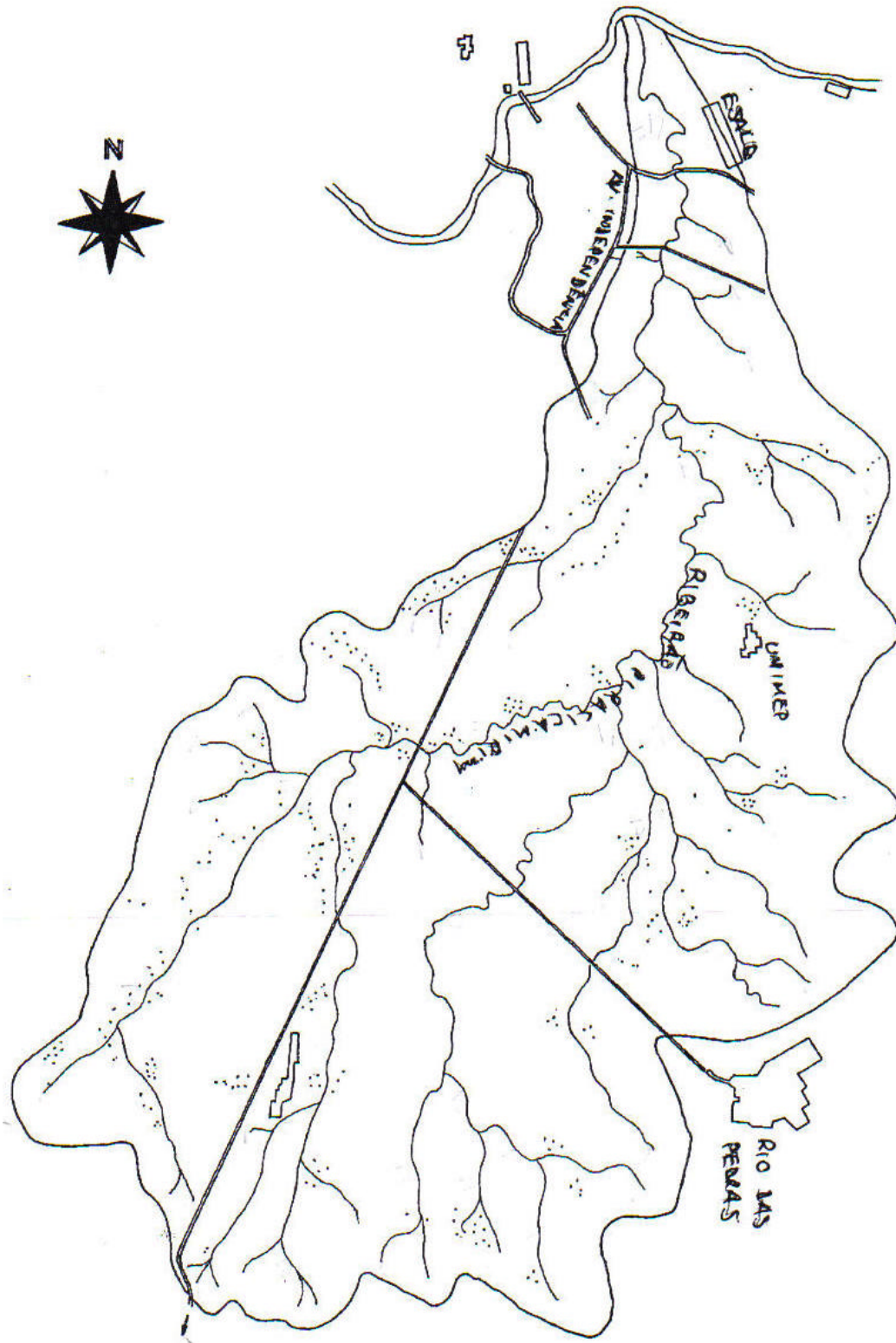
5) Examine atentamente o gráfico da Figura 4.6. Considerando que os dados são do hemisfério norte, e levando em conta a diferença na quantidade de radiação solar recebida por microbacias de orientação norte e sul naquele hemisfério, você considera este resultado normal ou conflitivo? Por que?

6) Uma bacia de 6ª ordem apresenta razão de bifurcação média = 3.2. Quantos canais primários possui a bacia?

7) Como sistema aberto, a microbacia subexiste num estado de equilíbrio transacional. Qual o significado prático desta condição do ponto de vista de manejo de recursos naturais?

8) Mapa planimétrico da Bacia do Ribeirão Piracicamirim, fora de escala. Área aproximada: 120 km<sup>2</sup>. Determinar:

- a) padrão de drenagem
- b) ordem da bacia
- c) orientação



#### **4.5. BIBLIOGRAFIA**

CHRISTOFOLETTI, A., 1974. *Geomorfologia*. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP. 149 p.

GREGORY, K.J. & D.F. WALLING, 1973. *Drainage Basin Form and Process - a Geomorphological Approach*. John-Wiley & Sons., New York. 456p.

HORTON, R.E., 1932. *Drainage Basin Characteristics*. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361.

LEOPOLD, L.B.; M.G. WOLMAN; J.P. MILLER, 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman & Co. San Francisco. 522 p.

MORISAWA, M., 1968. *Streams: their Dynamics and Morphology*. McGraw-Hill Book Co., New York, 174 p.

SCHWAB, G.O.; A.K. FREVERT; T.W. EDMINSTER, K.K. BARNES, 1966. *Soil and Water Conservation Engineering*. John-Wiley & Sons. New York. 683 p.

STHRALER, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. American Geophysical Union*, 38: 913-920.

SWIFT JR., L.W., 1965. A specific application of the energy balance approach to the interpretation of watershed response. *Research Conference on Energy Balance*, Washington, D.C., 21 p.

WISLER, C.D. & E.F. BRATER, 1964. *Hidrologia*. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro. 484 p.