

CAPÍTULO 3. BACIA HIDROGRÁFICA

3.1. Introdução

O Ciclo Hidrológico, como descrito anteriormente, tem um aspecto geral e pode ser visto como um sistema hidrológico fechado, já que a quantidade de água disponível para a terra é finita e indestrutível. Entretanto, os subsistemas abertos são abundantes, e estes são normalmente os tipos analisados pelos hidrologistas.

Dentre as regiões de importância prática para os hidrologistas destacam-se as Bacias Hidrográficas (BH) ou Bacias de Drenagem, por causa da simplicidade que oferecem na aplicação do balanço de água, os quais podem ser desenvolvidos para avaliar as componentes do ciclo hidrológico para uma região hidrologicamente determinada, conforme Figura 6.

Bacia Hidrográfica é, portanto, uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída.

CRUCIANI, 1976 define microbacia hidrográfica como sendo a área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área considerada. A área da microbacia depende do objetivo do trabalho que se pretende realizar (não existe consenso sobre qual o tamanho ideal).

PEREIRA (1981) sugere:

- a) para verificação do efeito de diferentes práticas agrícolas nas perdas de solo, água e nutrientes → área não deve exceder a 50 ha.
- b) estudo do balanço hídrico e o efeito do uso do solo na vazão → áreas de até 10.000 ha.
- c) estudos que requerem apenas a medição de volume e distribuição da vazão → bacias representativas com áreas de 10 a 50 mil ha.

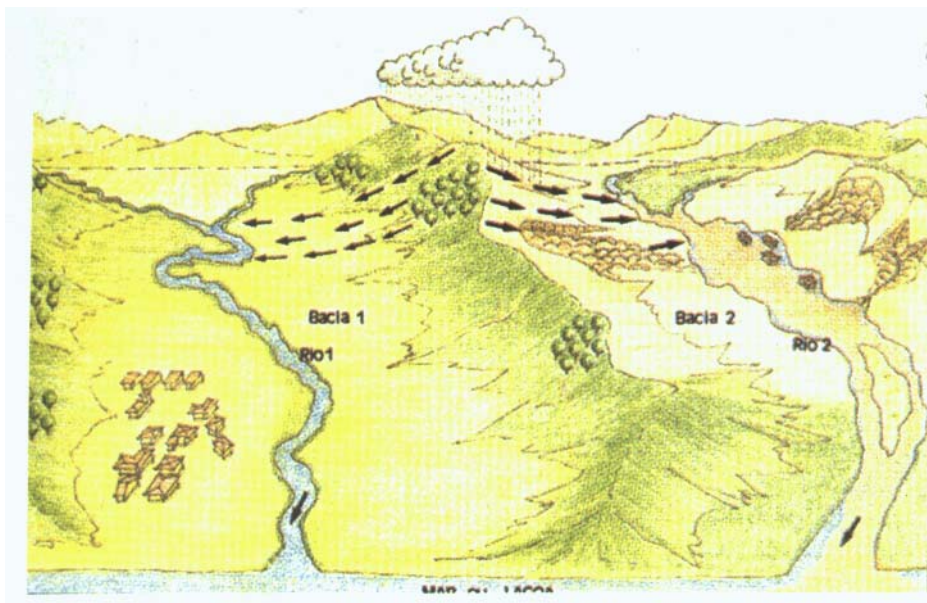


Figura 6 – Esquema de bacias hidrográficas.

A resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica é transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo (Figura 7).

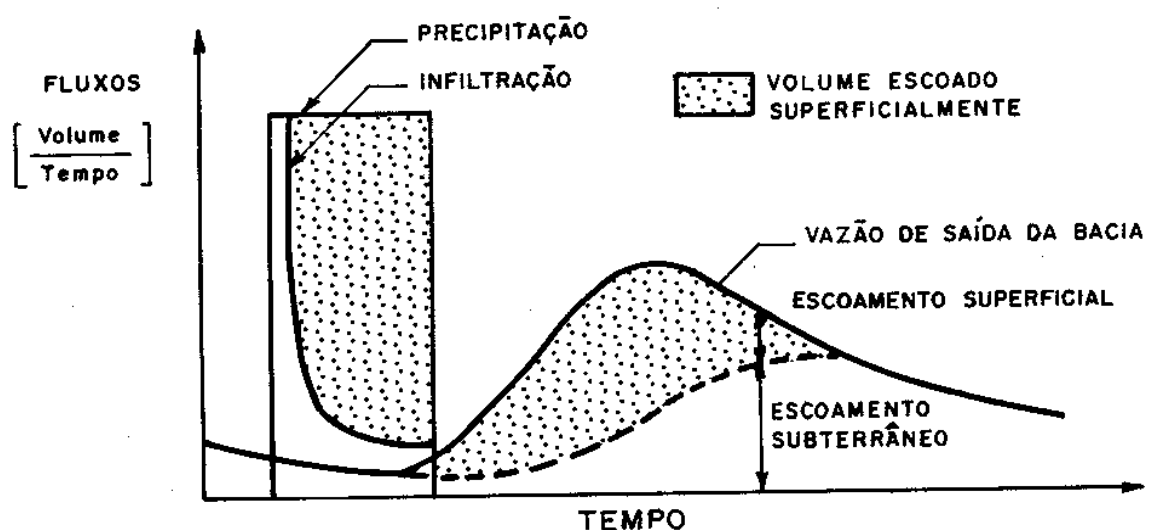


Figura 7 – Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica.

3.2. Divisores

Divisores de água: divisor superficial (topográfico) e o divisor freático (subterrâneo).

Conforme a Figura 8, o divisor subterrâneo é mais difícil de ser localizado e varia com o tempo. À medida que o lençol freático (LF) sobe, ele tende ao divisor superficial. O subterrâneo só é utilizado em estudos mais complexos de hidrologia subterrânea e estabelece, portanto, os limites dos reservatórios de água subterrânea de onde é derivado o deflúvio básico da bacia. Na prática, assume-se por facilidade que o superficial também é o subterrâneo.

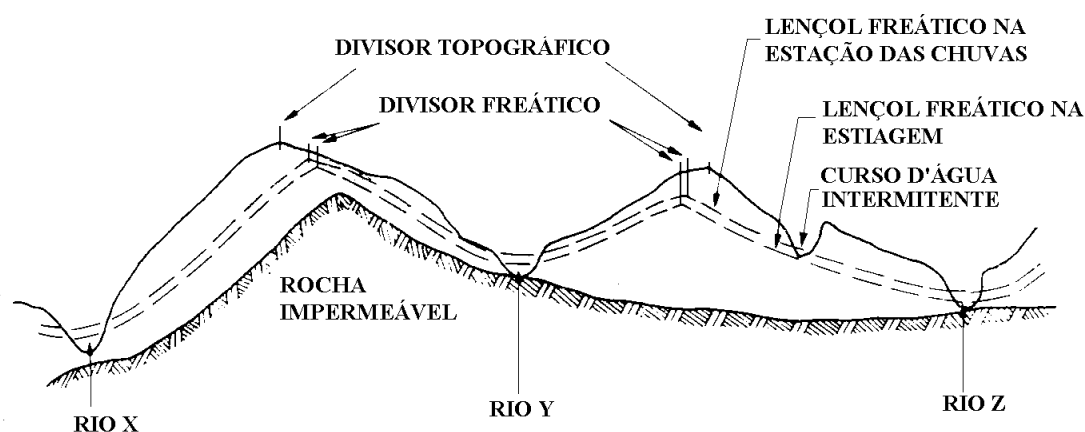


Figura 8 - Corte transversal de bacias hidrográficas.

A Figura 9 apresenta um exemplo de delimitação de uma bacia hidrográfica utilizando o divisor topográfico. Nesta Figura está individualizada a bacia do córrego da Serrinha. Note que o divisor de águas (linha tracejada) acompanha os pontos com maior altitude (curvas de nível de maior valor).



Figura 9 – Delimitação de uma bacia hidrográfica (linha tracejada).

3.3. Classificação dos cursos d'água

De grande importância no estudo das BH é o conhecimento do sistema de drenagem, ou seja, que tipo de curso d'água está drenando a região. Uma maneira utilizada para classificar os cursos d'água é a de tomar como base a constância do escoamento com o que se determinam três tipos:

- a) Perenes: contém água durante todo o tempo. O lençol freático mantém uma alimentação contínua e não desce nunca abaixo do leito do curso d'água, mesmo durante as secas mais severas.
- b) Intermitentes: em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagem. Durante as estações chuvosas, transportam todos os tipos de deflúvio, pois o lençol d'água subterrâneo conserva-se acima do leito fluvial e alimentando o curso d'água, o que não ocorre na época de estiagem, quando o lençol freático se encontra em um nível inferior ao do leito.

- c) Efêmeros: existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial. A superfície freática se encontra sempre a um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo a possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo.

3.4. Características físicas de uma bacia hidrográfica

Estas características são importantes para se transferir dados de uma bacia monitorada para uma outra qualitativamente semelhante onde faltam dados ou não é possível a instalação de postos hidrométricos (fluviométricos e pluviométricos).

É um estudo particularmente importante nas ciências ambientais, pois no Brasil, a densidade de postos fluviométricos é baixa e a maioria deles encontram-se nos grandes cursos d'água, devido a prioridade do governo para a geração de energia hidroelétrica.

Brasil: 1 posto/ 4000 km²; USA: 1 posto/ 1000 km²; Israel: 1 posto/ 200 km².

3.4.1. Área de drenagem

É a área plana (projeção horizontal) inclusa entre os seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas. É normalmente obtida por planimetria ou por pesagem do papel em balança de precisão. São muito usados os mapas do IBGE (escala 1:50.000). A área da bacia do Rio Paraíba do Sul é de 55.500 km².

3.4.2. Forma da bacia

É uma das características da bacia mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. Ela tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, no **tempo de concentração (Tc)**. Tc é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle.

Existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas:

a) coeficiente de compacidade (K_c): é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia.

$$K_c = \frac{P_{BH}}{P_C} ;$$

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

O K_c é sempre um valor > 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o K_c (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o T_c e maior a tendência de haver picos de enchente.

b) fator de forma (K_f): é a razão entre a largura média da bacia ($\bar{L}$) e o comprimento do eixo da bacia (L) (da foz ao ponto mais longínquo da área)

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L} ;$$

$$\bar{L} = \frac{A}{L} ;$$

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

Quanto menor o K_f , mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o T_c é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.

3.4.3. Sistema de drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. O padrão de drenagem de uma bacia depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia.

a) Ordem dos cursos d'água e razão de bifurcação (Rb):

De acordo com a Figura 10, adota-se o seguinte procedimento:

- 1) os cursos primários recebem o numero 1;
- 2) a união de 2 de mesma ordem dá origem a um curso de ordem superior; e
- 3) a união de 2 de ordem diferente faz com que prevaleça a ordem do maior.

Quanto maior Rb média, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a tendência para o pico de cheia.

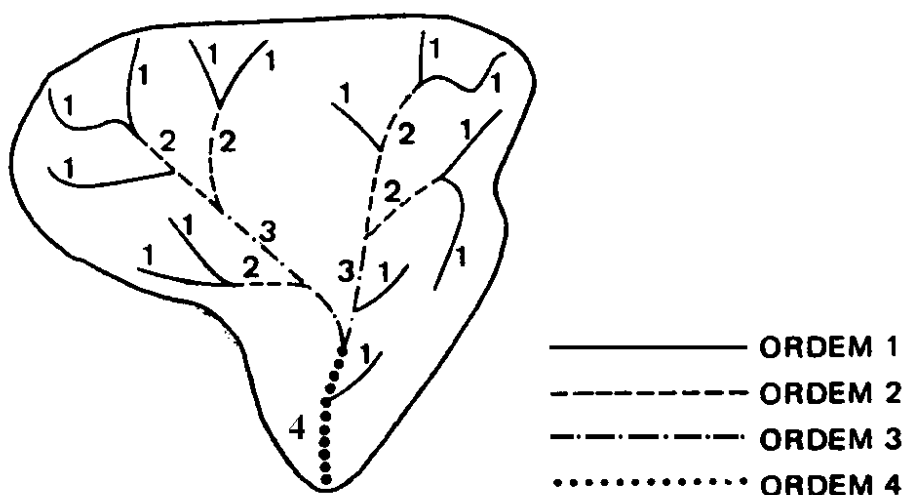


Figura 10 – Ordem dos cursos d'água.

b) densidade de drenagem (Dd): é uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. Expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e a sua área total.

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Para avaliar Dd, deve-se marcar em fotografias aéreas, toda a rede de drenagem, inclusive os cursos efêmeros, e depois medi-los com o curvímeter. Duas técnicas executando uma mesma avaliação podem encontrar valores um pouco diferentes.

Bacias com drenagem pobre $\rightarrow Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem regular $\rightarrow 0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem boa $\rightarrow 1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$

Bacias com drenagem muito boa $\rightarrow 2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$

Bacias excepcionalmente bem drenadas $\rightarrow Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

3.4.4. Características do relevo da bacia

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia.

a) declividade da bacia: quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor T_c e maior as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos de enchente e a infiltração da água, trazendo como consequência, maior ou menor grau de erosão, dependem da declividade média da bacia (determina a maior ou menor velocidade do escoamento superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra.

Dentre os métodos utilizados na determinação, o mais completo denomina-se método das quadrículas associadas a um vetor e consiste em traçar quadrículas sobre o mapa da BH, cujo tamanho dependerá da escala do desenho e da precisão desejada; como exemplo, pode-se citar quadrículas de 1km x 1km ou 2km x 2km etc.

Uma vez traçadas as quadrículas, é procedida uma amostragem estatística da declividade da área, uma vez que sempre que um lado da quadrícula interceptar uma curva de nível, é traçado perpendicularmente à esta curva, um vetor (segmento de reta) com comprimento equivalente à distância entre duas curvas de nível consecutivas. Portanto, os comprimentos desses vetores serão variáveis, em função da declividade do terreno. Feita a

determinação da declividade de cada um dos vetores traçados, os dados são agrupados, conforme dados da tabela seguinte.

BACIA: RIBEIRÃO LOBO - S.P.

MAPA: IBGE (ESCALA - 1: 50.000)

ÁREA DE DRENAGEM: 177,25 km²

1	2	3	4	5	6
DECLIVIDADE (m/m)	Nº DE OCORRÊNCIAS	% DO TOTAL	% ACUMULADA	DECLIV. MÉDIA	COL. 2 * COL. 5
0,0000 - 0,0049	249	69,55	100,00	0,00245	0,6100
0,0050 - 0,0099	69	19,27	30,45	0,00745	0,5141
0,0100 - 0,0149	13	3,63	11,18	0,01245	0,1618
0,0150 - 0,0199	7	1,96	7,55	0,01745	0,1222
0,0200 - 0,0249	0	0,00	5,59	0,02245	0,0000
0,0250 - 0,0299	15	4,19	5,59	0,02745	0,4118
0,0300 - 0,0349	0	0,00	1,40	0,03245	0,0000
0,0350 - 0,0399	0	0,00	1,40	0,03745	0,0000
0,0400 - 0,0449	0	0,00	1,40	0,04245	0,0000
0,0450 - 0,0499	5	1,40	1,40	0,04745	0,2373
TOTAL	358	100,00	-	-	2,0572

$$\text{Declividade média (dm): } dm = \frac{\sum \text{Coluna 6}}{\sum \text{Coluna 2}}$$

$$\text{Declividade média (dm)} = \frac{2,0572}{358} = 0,00575 \text{ m/m}$$

A seguir é apresentado um exemplo de curva de declividade de uma BH. A Figura 11 representa a curva de distribuição da declividade em função do percentual de área da BH. Essa curva é traçada em papel mono-log, com os dados das colunas 1 e 4.

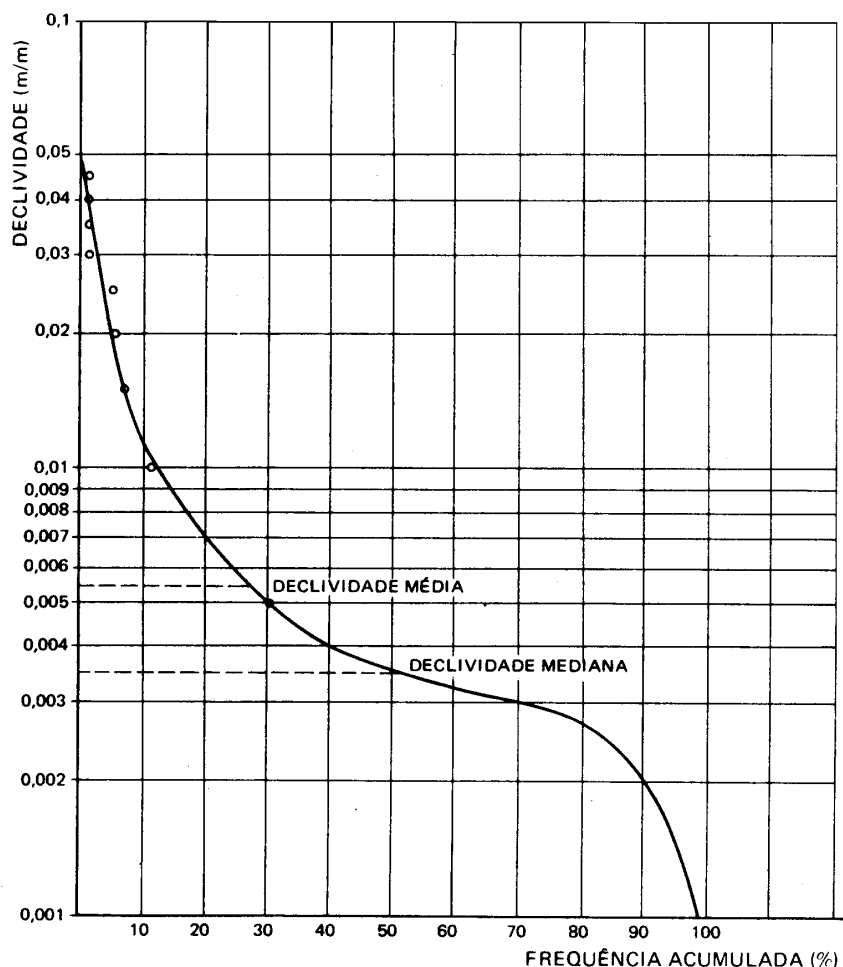


Figura 11 - Curva de distribuição da declividade de uma bacia hidrográfica.

b) curva hipsométrica: é definida como sendo a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Essa variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a percentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações. Pode também ser determinadas por meio das quadrículas associadas a um vetor ou planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível.

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo da distribuição de altitude referente à mesma bacia do exemplo anterior. A Figura 12 apresenta a curva hipsométrica desta bacia.

1	2	3	4	5	6
COTAS (m)	PONTO MÉDIO (m)	ÁREA (km ²)	ÁREA ACUMUL. (km ²)	% ACUMUL.	COL. 2 * COL. 3
940 - 920	930	1,92	1,92	1,08	1.785,6
920 - 900	910	2,90	4,82	2,72	2.639,0
900 - 880	890	3,68	8,50	4,80	3.275,2
880 - 860	870	4,07	12,57	7,09	3.540,9
860 - 840	850	4,60	17,17	9,68	3.910,0
840 - 820	830	2,92	20,09	11,33	2.423,6
820 - 800	810	19,85	39,94	22,53	16.078,5
800 - 780	790	23,75	63,69	35,93	18.762,5
780 - 760	770	30,27	93,96	53,01	23.307,9
760 - 740	750	32,09	126,05	71,11	24.067,5
740 - 720	730	27,86	153,91	86,83	20.337,8
720 - 700	710	15,45	169,36	95,55	10.969,5
700 - 680	690	7,89	177,25	100,00	5.444,1
TOTAL		177,25			136.542,1

$$\text{Altitude média } (\bar{A}): \bar{A} = \frac{\sum (e_i A_i)}{A}$$

$$\text{Altitude média} = \frac{\sum \text{Coluna 6}}{\sum \text{Coluna 3}}$$

$$\text{Altitude média} = \frac{136.542,1}{177,25} = 770 \text{ m}$$

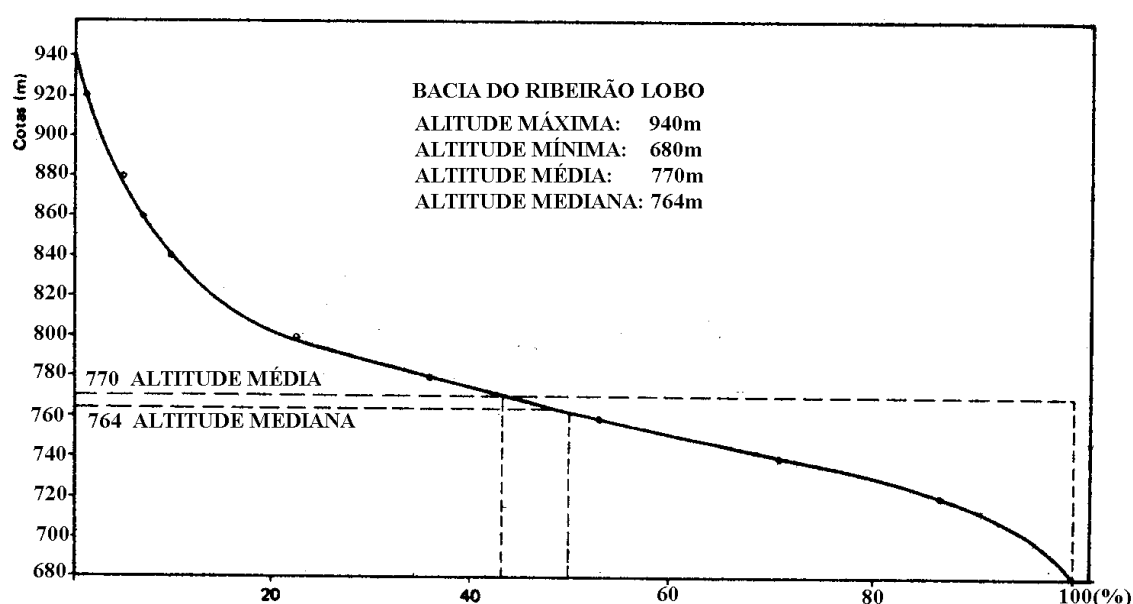


Figura 12 - Curva hipsométrica de uma bacia hidrográfica.

c) Perfil longitudinal do curso d'água: pelo fato da velocidade de escoamento de um rio depender da declividade dos canais fluviais, conhecer a declividade de um curso d'água constitui um parâmetro de importância no estudo de escoamento (quanto maior a declividade maior será a velocidade).

Existem 4 procedimentos para se determinar a declividade média do curso d'água (Figura 13):

1º) Declividade baseada nos extremos (S1): obtida dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos. Este valor superestima a declividade média do curso d'água e, conseqüentemente, o pico de cheia. Essa superestimativa será tanto maior quanto maior o número de quedas do rio.

2º) Declividade ponderada (S2): um valor mais representativo que o primeiro consiste em traçar no gráfico uma linha, tal que a área, compreendida entre ela e a abcissa, seja igual à compreendida entre a curva do perfil e a abcissa.

3º) Declividade equivalente constante (S3): leva em consideração o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal, considerando se este perfil tivesse uma declividade constante igual à uma declividade

equivalente. $S_3 = \left(\frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2$, em que L_i e D_i são a distância em e a declividade

em cada trecho i , respectivamente.

4º) Declividade 15 – 85 (S4): obtida de acordo com o método da declividade baseada nos extremos, porém descartando-se 15% dos trechos inicial e final do curso d'água. Isto se deve, pois a maioria dos cursos d'água têm alta declividade próximo da nascente e torna-se praticamente plano próximo de sua barra.

O Quadro a seguir apresenta um exemplo de cálculo do perfil longitudinal do curso d'água:

1	2	3	4	5	6	7	8
Cotas (m)	Dist. (m)	Dist. (L)* (km)	Distância Acum. (km)	Declividade Por Segmento (D _i) = 20/(2)	$\sqrt{(5)}$ (S _i)	L _{real} ** (L _i) (km)	L _i /S _i
660 - 680	7100	7,100	7,100	0,00282	0,0531	7,100028169	113,800
680 - 700	500	0,500	7,600	0,04000	0,2000	0,5003998401	2,500
700 - 720	3375	3,375	10,975	0,00593	0,0720	3,375059259	43,700
720 - 740	5375	5,375	16,350	0,00372	0,0609	5,375037209	88,300
740 - 760	850	0,850	17,200	0,02353	0,1500	0,8502352616	5,500
760 - 780	1330	1,330	18,530	0,01504	0,1220	1,330150367	10,600
780 - 800	350	0,350	18,880	0,05714	0,2390	0,3505709629	1,460
800 - 820	350	0,350	19,230	0,05714	0,2390	0,3505709629	1,460
820 - 840	880	0,880	20,110	0,02273	0,1507	0,8802272434	5,830
840 - 860	950	0,950	21,060	0,02105	0,1450	0,950210503	6,550
860 - 880	400	0,400	21,460	0,05000	0,2236	0,4004996879	1,785
880 - 900	540	0,540	22,000	0,03704	0,1924	0,5403702434	2,810
Total	22000	22,000				22,00336	304,295

* L = distância medida na horizontal;

** L_{real} = distância real medida em linha inclinada.

$$S_1 = \frac{900 - 660}{22000} = 0,01091 \text{ m/m}$$

$$S_2 = \frac{133,3}{22.000} = 0,00606 \text{ m/m}$$

$$S_3 = \left(\frac{22,000}{304,295} \right)^2 = 0,00522 \text{ m/m}$$

$$S_4 = \frac{790 - 665}{18700 - 3300} = 0,00812 \text{ m/m}$$

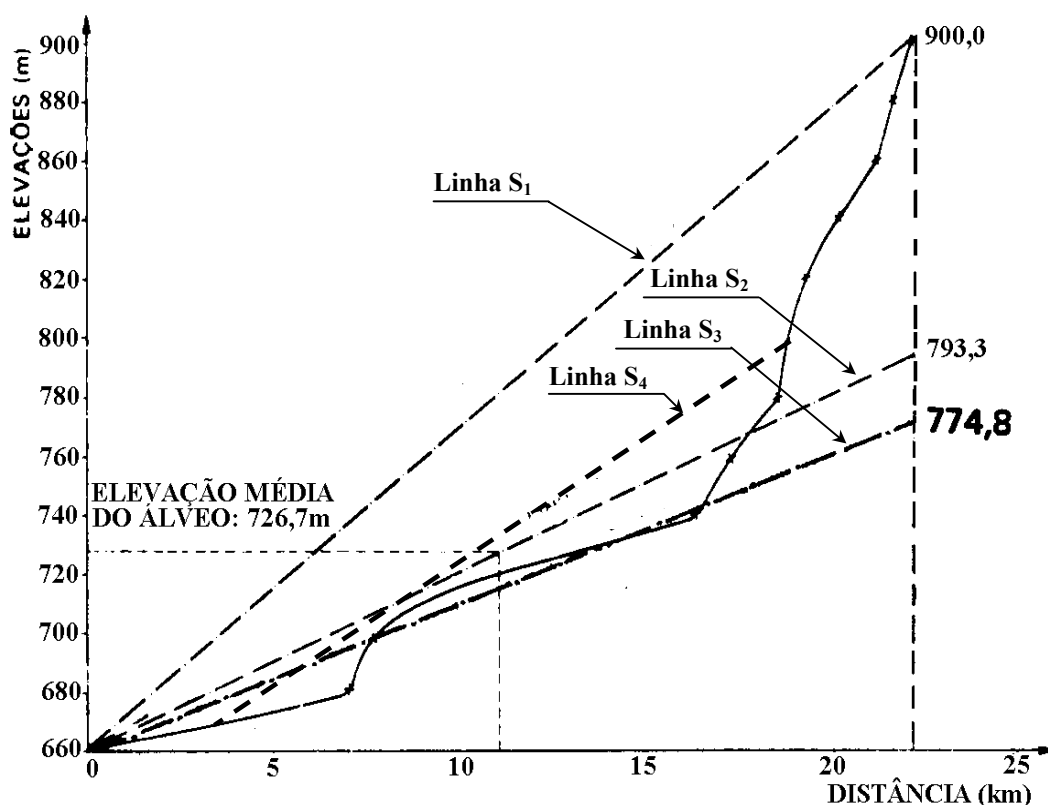


Figura 13 - Perfil longitudinal de um rio e as linhas de declividade do Alveo.

O rio Paraíba do Sul tem sua nascente na Serra da Bocaina a 1800m de altitude, e sua foz localiza-se no município de São João da Barra – RJ, onde deságua no Oceano Atlântico.

3.4.5. Características geológicas da bacia

Tem relação direta com a infiltração, armazenamento da água no solo e com a suscetibilidade de erosão dos solos.

3.4.6. Características agro-climáticas da bacia

São caracterizadas principalmente pelo tipo de precipitação e pela cobertura vegetal.

A bacia do rio Paraíba do Sul tem 65% de pastagem, 21% culturas e reflorestamento e 11% de floresta nativa (Mata Atlântica).

3.5. Exercícios

1) Assinale a alternativa correta cujos fatores contribuem para que uma bacia apresente uma maior tendência a picos de cheias:

- a) <área; <Kc; >Kf; <Rb; >Tc; <Dd;
- b) >área; >Kc; <Kf; >Rb; <Tc; >Dd;
- c) <área; <Kc; >Kf; <Rb; <Tc; <Dd;
- d) <área; <Kc; >Kf; >Rb; >Tc; >Dd;
- e) >área; <Kc; >Kf; >Rb; <Tc; >Dd;

2) Determinar a declividade média (Dm) de uma bacia hidrográfica e a curva de distribuição de declividade da bacia (papel semi-log) para os dados da tabela abaixo, os quais foram estimados pelo método das quadrículas:

1	2	3	4	5	6
Declividade (m/m)	Número de ocorrência	% do total	% acumulada	declividade média do intervalo	coluna 2 x coluna 5
0,0000 - 0,0059	70				
0,0060 - 0,0119	45				
0,0120 - 0,0179	30				
0,0180 - 0,0239	5				
0,0240 - 0,0299	0				
0,0300 - 0,0359	10				
0,0360 - 0,0419	3				
0,0420 - 0,0479	2				
Total					

3) Determinar a curva hipsométrica (papel milimetrado) e a elevação média de uma bacia hidrográfica para os dados da tabela abaixo :

1	2	3	4	5	6
cotas (m)	Ponto médio (m)	Área (km ²)	Área acumulada	% acumulada	col 2 x col 3
830 - 800		3,2			
800 - 770		4,0			
770 - 740		4,5			
740 - 710		10,0			
710 - 680		33,6			
680 - 650		40,2			
650 - 620		25,8			
620 - 590		8,8			
Total					

4) De uma bacia hidrográfica, conhece-se os seguintes dados:

- Perímetro: 70,0 km
- Distribuição de cotas:

Cotas (m)	Ponto Médio (m)	Área (km ²)	Área Acumulada (km ²)	% Acumulada	Coluna 2 * Coluna 3
940 – 920		1,92			
920 – 900		2,90			
900 – 880		3,68			
880 – 860		4,07			
860 – 840		4,60			
840 – 820		2,92			
820 – 800		19,85			
800 – 780		23,75			
780 – 760		30,27			
760 – 740		32,09			
740 – 720		27,86			
720 – 700		15,45			
700 – 680		7,89			
TOTAL					

- Distribuição de declividade:

Declividade (m/m)	Número de Ocorrências	% do Total	% Acumulada	Declividade Média	Coluna 2 * Coluna 5
0,0000 – 0,0049	249				
0,0050 – 0,0099	69				
0,0100 – 0,0149	13				
0,0150 – 0,0199	7				
0,0200 – 0,0249	0				
0,0250 – 0,0299	15				
0,0300 – 0,0349	0				
0,0350 – 0,0399	0				
0,0400 – 0,0449	0				
0,0450 – 0,0499	5				
TOTAL					

Pede-se:

- a) Qual é o coeficiente de compacidade?
- b) Qual é a altitude média?
- c) Qual é a declividade média?

5) Com os dados do perfil longitudinal de um curso d'água apresentado abaixo, calcule a sua declividade baseada nos extremos.

1	2	3	4	5	6	8
Cotas (m)	Distância (m)	Distância (Li) (km)	Distância Acumulada (km)	Declividade por Segmento (Di)	$\sqrt{(5)}$ (Si)	Li/Si
540 - 560	3500			0,0057		
560 - 580	2400			0,0083		
580 - 600	860			0,0233		
600 - 620	920			0,0217		
620 - 640	560			0,0357		
640 - 660	400			0,0500		
660 - 680	1200			0,0167		
680 - 700	1060			0,0189		
700 - 720	650			0,0308		
720 - 740	300			0,0667		
740 - 760	260			0,0769		
760 - 780	240			0,0833		
TOTAL						

6) O que é declividade equivalente constante? Determinar essa declividade para o perfil do curso d'água apresentado a seguir.

Cotas (m)	Distância (m)	Distância (Li) (km)	Distância Acumulada (km)	Declividade por Segmento (Di)	$\sqrt{(5)}$ (Si)	Li/Si
660 - 680	5800					
680 - 700	500					
700 - 720	3375					
720 - 740	5000					
740 - 760	750					
760 - 780	1200					
780 - 800	350					
800 - 820	350					
820 - 840	880					
840 - 860	950					
TOTAL						

7) (Questão 18 Prova de Hidrologia Concurso CPRM 2002 - Certo ou Errado)

a) (item 1) Em um mapa feito na escala 1:25.000, a planimetria acusou o valor de 4.163 cm² para a área de uma bacia hidrográfica, e foram totalizados os seguintes comprimentos dos cursos d'água na bacia.

Ordem do Curso D'água	Comprimento (cm)
1	904
2	380
3	160
4	82
5	17

Em face desses dados, é correto afirmar que a densidade de drenagem dessa bacia está no intervalo entre 1,4 e 1,6 km/km².

b) (item 4) Os cursos d'água intermitentes são aqueles em que ocorre escoamento apenas durante e logo após eventos de precipitação; já os efêmeros são cursos d'água em que há escoamento o ano todo.

8) (Questão 03 Prova de Hidrologia Concurso ANA 2002 - Certo ou Errado).

a) (item 1) Em uma bacia hidrográfica, todos os pontos de maior altitude no interior da bacia pertencem ao divisor d'água.

b) (item 5) O tempo de concentração de uma seção de uma bacia hidrográfica corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção.

9) (Questão 19 Prova de Hidrologia Concurso ANA 2002- Certo ou Errado).

a) (item 1) O reflorestamento das encostas de uma bacia hidrográfica tende a aumentar o tempo de concentração da bacia.