

## CAPÍTULO 2

### BACIA HIDROGRÁFICA

#### 2.1 - Introdução

A bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural isto é, uma área composta de um sistema de drenagem natural onde o movimento de água superficial inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade (Magalhães, 1989).

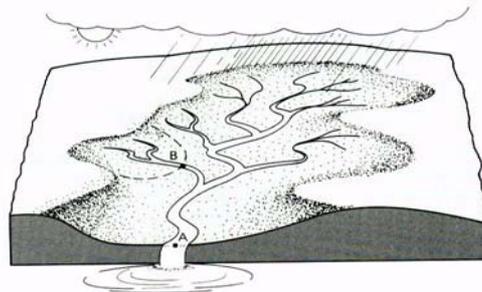
Os limites da área que compreende a bacia hidrográfica são definidos topograficamente como os pontos que limitam as vertentes que convergem para uma mesma bacia ou exutório.

As bacias hidrográficas caracterizam-se pelas suas características fisiográficas, clima, tipo de solo, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de ocupação, regime pluviométrico e fluviométrico, e disponibilidade hídrica.

#### 2.2 - Delimitação da bacia

A delimitação de cada bacia hidrográfica é feita numa carta topográfica, seguindo as linhas das cristas das elevações circundantes da seção do curso d'água em estudo. Cada bacia é assim, sob o ponto de vista topográfico, separada das restantes bacias vizinhas.

Esta delimitação que atende apenas a fatores de ordem topográfica “define uma linha de cumeeada a que poderíamos chamar linha de divisão das águas” pois ela é que divide as precipitações que caem e, que, por escoamento superficial, seguindo as linhas de maior declive, contribuem para a vazão que passa na seção em estudo (Fig. 2.1).



**Figura. 2.1 - Área de contribuição de uma bacia.**

No entanto, as águas que atingem a seção do curso d'água em estudo poderão provir não só do escoamento superficial como também do escoamento subterrâneo, que poderá ter origem em bacias vizinhas. E, inversamente, parte do escoamento superficial poderá concentrar-se em lagos ou lençóis subterrâneos que não tem comunicação com o curso de água em estudo, não contribuindo para a sua vazão.



Concluiu-se que, além da delimitação topográfica, deve-se observar a delimitação da bacia sob o ponto de vista geológico e em formações características, calcárias ou de geologia especial. Raramente as duas delimitações coincidem (Fig. 2.2).

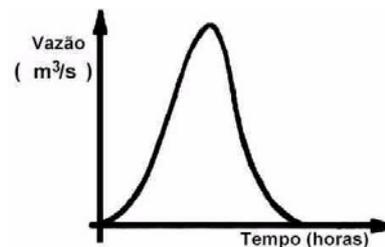
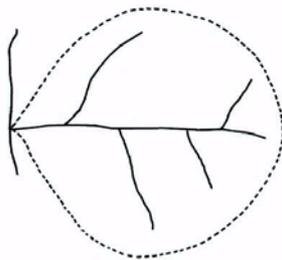
**Figura 2.2 - Linhas divisórias freática e topográfica**

### 2.3 - Características Fisiográficas

As características fisiográficas de uma bacia são obtidas dos dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. São: área, comprimento, declividade e cobertura do solo, que podem ser expressos diretamente ou, por índices que relacionam os dados obtidos.

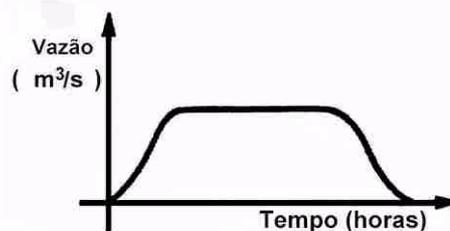
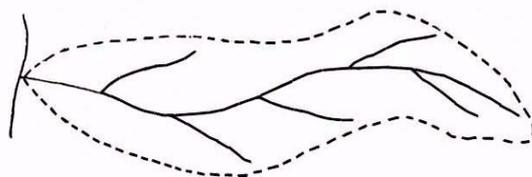
#### 2.3.1 - Forma da Bacia

A forma da bacia não é, normalmente, usada de forma direta em hidrologia. No entanto, parâmetros que refletem a forma da bacia são usados ocasionalmente e têm base conceitual. As bacias hidrográficas têm uma variedade infinita de formas, que supostamente refletem o comportamento hidrológico da bacia. Em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo (Fig. 2.3).



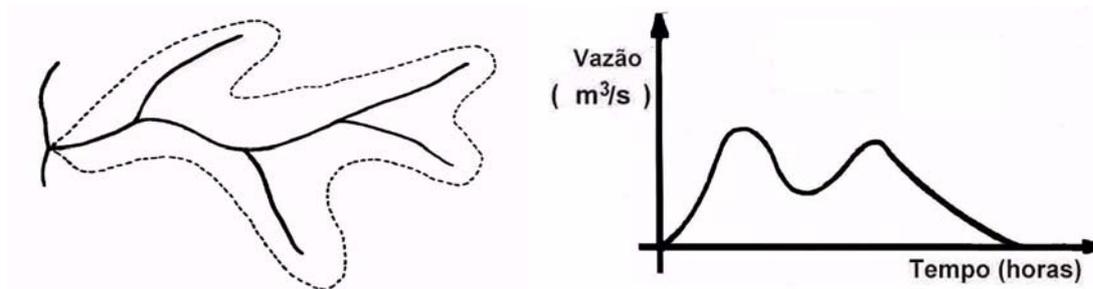
**Figura. 2.3 - Bacia Arredondada e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme**

Uma bacia elíptica, tendo a saída da bacia na ponta do maior eixo e, sendo a área igual a da bacia circular, o escoamento será mais distribuído no tempo, produzindo portanto uma enchente menor (Fig. 2.4).



**Figura 2.4 - Bacia elíptica e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme**

As bacias do tipo radial ou ramificada são formadas por conjuntos de sub-bacias alongadas que convergem para um mesmo curso principal. Neste caso, uma chuva uniforme em toda a bacia, origina cheias nas sub-bacias, que vão se somar, mas não simultaneamente, no curso principal. Portanto, a cheia crescerá, estacionará, ou diminuirá a medida em que forem se fazendo sentir as contribuições das diferentes sub-bacias (Fig. 2.5).



**Figura 2.5 - Bacia ramificada e as características do escoamento nela originado por uma precipitação uniforme**

- a) Fator de Forma: fator de forma -  $K_f$  - é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia ( $L$ ) quando se segue o curso d'água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia. A largura média ( $\bar{L}$ ) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia.

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L}, \quad (2.1)$$

mas  $\bar{L} = \frac{A}{L} \quad (2.2)$  logo  $K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2.3)$

O fator de forma é um índice indicativo da tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se portanto, da condição ideal da bacia circular discutida no item seguinte, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num só ponto.

b) **Coeficiente de Compacidade:** coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius -  $K_c$  - é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual á da bacia.

$$A = \pi.R^2 \rightarrow R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.4) \text{ e } (2.5)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi R} \quad (2.6)$$

Substituindo (2.5) em (2.6), tem-se:

$$K_c = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad (2.7)$$

onde **P** e **A** são respectivamente perímetro em km e área da bacia em km<sup>2</sup>. Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade, corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

### 2.3.2 - Relevo

Diversos parâmetros foram desenvolvidos para refletir as variações do relevo em uma bacia. Os mais comuns são:

a) **Declividade da bacia.** Apesar de haver diversos métodos para estimar a declividade da bacia, o mais comum é simular o da Equação 2.8, sendo que a diferença de cota (**H**) deve se referir a toda bacia e não apenas ao canal. Há ainda o método das quadrículas associadas a um vetor. Esse método é mais completo que o anterior e consiste em determinar a distribuição percentual das declividades do terreno por meio de uma amostragem estatística das declividades normais às curvas de nível em um grande número de pontos na bacia. Esses pontos devem ser locados num mapa topográfico da bacia por meio de um quadriculado que se traça sobre o mesmo.

b) **Curva Hipsométrica.** É 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 porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações. A curva hipsométrica pode ser determinada pelo método das quadrículas descrito no item anterior ou planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível.

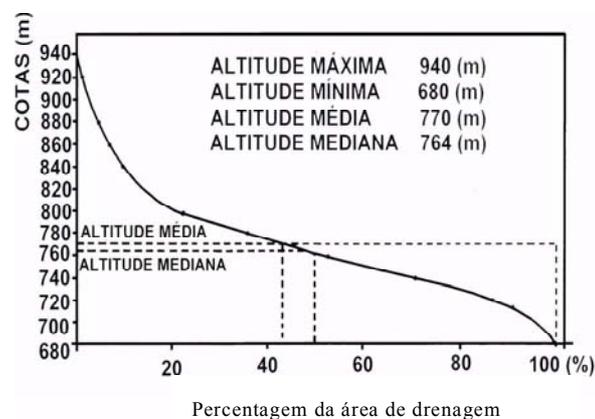


Figura. 2.6 Curva Hipsométrica

A Tabela 2.1 apresenta os passos utilizados para o cálculo de uma curva hipsométrica, a qual é mostrada na (Fig. 2.6).

1	2	3	4	5	6
Cota (mm)	Ponto Médio(m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	%	Acumulada
940-920	930	1,92	1,92	1,08	1,08
920-900	910	2,90	4,82	1,64	2,72
900-880	890	3,68	8,50	2,08	4,80
880-860	870	4,07	12,57	2,29	7,09
860-840	850	4,60	17,17	2,59	9,68
840-820	830	2,92	20,09	1,65	11,33
820-800	810	19,85	39,94	11,20	22,53
800-780	790	23,75	63,69	13,40	35,93
780-760	770	30,27	93,96	17,08	53,01
760-740	750	32,09	126,05	18,10	71,11
740-720	730	27,86	153,91	15,72	86,83
720-700	710	15,45	169,36	8,72	95,55
700-680	690	7,89	177,25	4,45	100
Total		177,25			

**Tabela 2.1 - Curva Hipsométrica**

**c) Elevação média da bacia.** A variação da altitude e a elevação média de uma bacia são, também, importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio. Grandes variações da altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração. Mais significativas, porém, são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação.

A elevação média é determinada por meio de um retângulo de área equivalente à limitada pela curva hipsométrica e os eixos coordenados; a altura do retângulo é a elevação média. Outro método é o de utilizar a equação

$$E = \frac{\sum e \cdot a}{A} \quad (2.8)$$

onde

- E= elevação média
- e= elevação média entre duas curvas de nível consecutivas
- a= área entre as curvas de nível
- A= área total

Outro fator importante no estudo das elevações da bacia é a Altura Média da Seção de Controle (Desembocadura), a qual representa uma carga potencial hipotética a que estão sujeitos os volumes de excesso de chuva e constitui um fator que afeta o tempo que levariam as águas para atingir a seção de controle. Essa altura é determinada pela diferença entre a elevação mediana e a elevação do leito na desembocadura.

**d) Declividade de álveo.** A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os gráficos vazão x tempo das enchentes.

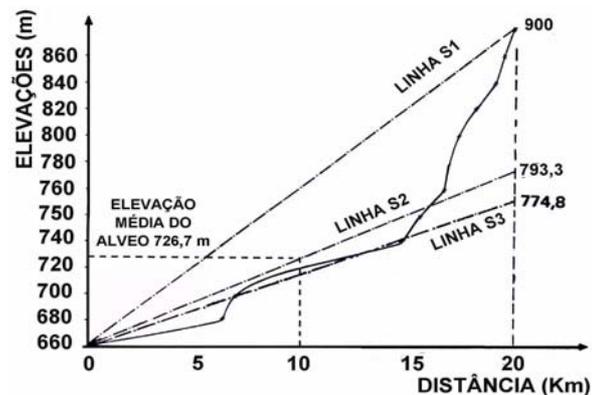
Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos.

A declividade do canal pode ser descrita como:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (2.9)$$

onde **S** é a declividade (m/m), **H** é diferença de cota (m) entre os pontos que definem o início e o fim do canal, **L** é o comprimento do canal entre estes pontos.

Na Figura 2.7 é apresentado um perfil longitudinal de uma bacia, onde a declividade entre a foz e a nascente está representada pela linha S1. Traça-se S2, tal que, a área compreendida entre ela e a abscissa seja igual à compreendida entre a curva do perfil e a abscissa. Traçando-se S3, que representa a declividade equivalente constante, tem-se uma idéia sobre o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal



**Fig. 2.7 - Perfil longitudinal do Ribeirão do Lobo**

Uma outra forma de determinar a declividade é utilizada para terrenos com declividade constante, podendo-se até determinar através desta declividade o tempo de percurso da precipitação. Caso o curso d'água tivesse uma declividade constante igual a declividade equivalente, o tempo de percurso seria determinado da seguinte maneira:

Considerando-se que o tempo de percurso varia em toda a extensão do curso d'água com o recíproco da raiz quadrada da declividade, dividindo-se o perfil de álveo em um grande número de trechos retilíneos, tem-se que a raiz quadrada da declividade equivalente constante é a média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, tomando-se como peso a extensão de cada trecho.

Logo,

$$S_3^{1/2} = \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{S_i} \right)} \quad (2.10)$$

onde  $S_i = \sqrt{D_i}$  (2.11)

sendo,

$D_i$  = declividade de cada trecho, logo:

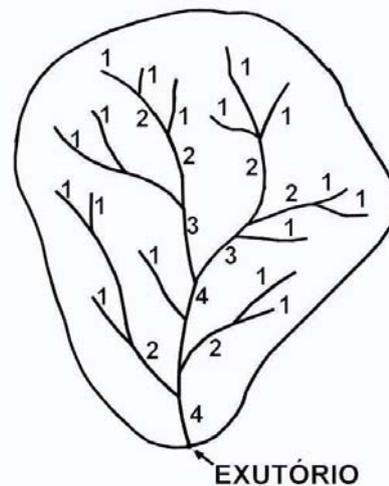
$$S_3 = \left( \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2 \quad (2.12)$$

onde  $L_i$  = distância real medida em linha inclinada

### 2.3.3 Padrões de drenagem

A velocidade do escoamento em canal é usualmente maior que a velocidade de escoamento superficial. Portanto, o tempo de deslocamento do escoamento em uma bacia na qual o comprimento de escoamento superficial é pequeno em relação ao comprimento do canal seria menor do que em uma bacia com trechos longos de escoamento superficial. O tempo de deslocamento do escoamento em uma bacia é um dado de extreme importância para diversos estudos hidrológicos, como será mostrado a seguir. O padrão de drenagem é um indicador das características do escoamento de uma precipitação. Alguns parâmetros foram desenvolvidos para representar os padrões de drenagem.

a) **Ordem dos Cursos D'Água** - Leis de Horton - A ordem do curso d'água é uma medida da ramificação dentro de uma bacia. Um curso d'água de primeira ordem é um tributário sem ramificações; um curso d'água de 2ª ordem é um tributário formado por dois ou mais cursos d'água de 1ª ordem; um de 3ª ordem é formado por dois ou mais cursos de 2ª ordem; e, genericamente, um curso d'água de ordem  $n$  é um tributário formado por dois ou mais cursos d'água de ordem  $(n - 1)$  e outros de ordens inferiores.



**Figura 2.8 - Ordem dos cursos d'água segundo Horton**

Para uma bacia hidrográfica, a ordem principal é definida como a ordem principal do respectivo canal. A Figura 2.8 mostra a ordenação dos cursos d'água de uma bacia hipotética. Neste caso, a ordem principal da bacia é 4.

## Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (**D**) é a razão entre o comprimento total dos cursos d'água em uma bacia e a área desta bacia hidrográfica. Um valor alto para **D** indicaria uma densidade de drenagem relativamente alta e uma resposta rápida da bacia a uma precipitação.

$$D = \frac{L_T}{A} \quad (2.13)$$

onde  $L_T$  é a extensão total dos cursos d'água e  $A$  é a área da bacia hidrográfica.

Exemplo: A área da bacia é 115Km<sup>2</sup>, a extensão total dos cursos d'água é 29,0Km. A densidade de drenagem é, portanto:

$$D = \frac{L_T}{A} = \frac{29}{115} = 0,25 \text{ km} / \text{km}^2$$

Segundo SWAMI (1975), índices em torno de 0,5km/km<sup>2</sup> indicaria uma drenagem pobre, índices maiores que 3,5km/km<sup>2</sup> indicariam bacias excepcionalmente bem drenadas.

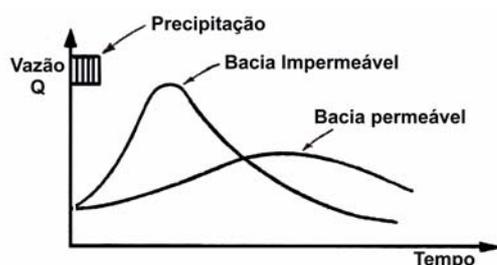
### 2.3.4. Cobertura vegetal da bacia

A cobertura vegetal, e em particular as florestas e as culturas da bacia hidrográfica, vêm juntar a sua influência à de natureza geológica dos terrenos, condicionando a maior ou menor rapidez do escoamento superficial.

Para além disso, a sua influência exerce-se, também, na taxa de evaporação da bacia, com uma ação regularizadora de caudais, sobretudo nos climas secos. No caso de grandes cheias com elevados caudais a sua ação é, no entanto, praticamente nula. Além da influência que exerce na velocidade dos escoamentos e na taxa de evaporação, a cobertura vegetal desempenha papel importante e eficaz na luta contra a erosão dos solos.

## 2.4 Características Geológicas

O estudo geológico dos solos e subsolos tem por objetivo principal a sua classificação segundo a maior ou menor permeabilidade, dada a influência que tal característica tem na rapidez de crescimento das cheias. A existência de terrenos quase, ou totalmente, impermeáveis, impede a infiltração facilitando o escoamento superficial e originando cheias de crescimento repentino. Já os permeáveis ocasionam o retardamento do escoamento devido à infiltração, amortecendo as cheias. Na Figura 8 abaixo, ilustra-se o que se acabou de falar:



Bacia Impermeável - ao receber uma certa precipitação, dá origem a um escoamento superficial com elevada ponta; Bacia Permeável - dá origem a um escoamento superficial de forma achatada e cuja ponta máxima é bastante retardada em relação ao início da precipitação.

**Figura 2.9- Características da vazão de um rio de acordo com a permeabilidade do solo.**

## 2.5. Transporte de Sedimentos

A existência de maior ou menor transporte de sedimento, depende da natureza geológica dos terrenos. O seu conhecimento é fundamental, visto que a erosão e sedimentação das partículas altera a topografia do leito do rio, podendo essa transformação chegar ao ponto de aniquilar a obra projetada pela diminuição do potencial hídrico do curso de água e assoreamento da barragem, por vezes apenas recuperável, mediante o dispêndio de somas incomportáveis.

## 2.6. Características Térmicas

O estudo hidrológico de uma bacia deverá pois, comportar a análise das suas características térmicas, análise esta em que deverá intervir observações de trocas de calor entre solo e atmosfera, superfície da água e atmosfera, etc.

A **localização** geográfica da bacia hidrográfica é determinante das suas características térmicas.

Assim, a variação da temperatura faz-se sentir com:

- **latitude** - a amplitude térmica anual está também relacionada com a latitude, - é máxima nos pólos e mínima no equador;
- **proximidade do mar** - as maiores amplitudes térmicas verificam-se nas zonas continentais, áridas, enquanto que em regiões submetidas à influência marítima apresentam uma certa uniformidade térmica;
- **altitude** - a temperatura diminui com a altitude. De uma forma geral, poderemos dizer que as regiões mais elevadas apresentam temperaturas mais baixas;
- **vegetação** - por ação da menor fração de energia solar que atinge o solo e do calor absorvido pela evapotranspiração das plantas, a temperatura média anual de uma região arborizada pode ser inferior em 10 C ou 20 C à uma região desarborizada;
- **tempo** - a temperatura começa a elevar-se ao nascer do sol e atinge o máximo 1 a 3 horas depois do sol ter atingido a altitude máxima. A variação da temperatura faz-se sentir também durante o ano segundo as estações, sendo maior ou menor conforme a localização geográfica, como atrás foi referido.

## 2.7. Ocupação e Uso do Solo

Quando ocorre uma chuva rápida, as pessoas freqüentemente procuram abrigo sob alguma árvore que esteja próxima. Admite-se que a árvore será uma proteção temporária, já que ela intercepta a chuva na fase inicial do evento. Poderia-se concluir que uma bacia coberta por uma floresta produziria menos escoamento superficial do que uma bacia sem árvores.

O escoamento em telhados é outro exemplo do efeito do tipo de cobertura da bacia sobre o escoamento. Durante uma precipitação, o escoamento em calhas de telhados começa logo depois de iniciada a chuva. Telhados são superfícies impermeáveis, inclinados e planos portanto, com pouca resistência ao escoamento. O escoamento em uma vertente gramada com as mesmas dimensões do telhado terá início bem depois do escoamento similar no telhado. A vertente gramada libera água em taxas e volumes menores porque parte da água será infiltrada no solo e devido a maior rugosidade da superfície gramada, o escoamento será mais lento conclui-se então que o escoamento em superfícies impermeáveis resulta em maiores volumes e tempos de deslocamento menores do que o escoamento em superfícies permeáveis com as mesmas dimensões e declividades.

Estes dois exemplos conceituais servem para ilustrar como o tipo de ocupação do solo afeta as características do escoamento em uma bacia. Quando as outras características da bacia são mantidas constantes as características do escoamento tais como volume, tempo e taxas de vazões máximas podem ser bastante alteradas. Portanto, o tipo de ocupação da bacia e uso do solo devem ser definidos para a análise e projeto em hidrologia.

O tipo de cobertura e uso do solo é especialmente importante para a hidrologia. Muitas questões problemáticas em projetos hidrológicos resultam da expansão urbana. A percentagem do solo impermeabilizado é comumente usada como indicador do grau de desenvolvimento urbano. Áreas residenciais com alta densidade de ocupação têm taxas de impermeabilização variando entre 40 e 70%. Áreas comerciais e industriais são caracterizadas por taxas de impermeabilização de 70 a 90%. A impermeabilização de bacias urbanas não está restrita à superfície: os canais de drenagem são normalmente revestidos com concreto, de modo a aumentar a capacidade de escoamento da seção transversal do canal e remover rapidamente as águas pluviais. O revestimento de canais é muito criticado, já que este tipo de obra transfere os problemas de enchentes de áreas à montante do canal para áreas à jusante.

## QUESTIONÁRIO

1. O que significa um fator de forma **alto** ?
2. Como a declividade influencia na resposta da bacia a enchentes ?
3. Como o fator de forma (  $K_f$ ) e o Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) podem traduzir o comportamento de uma bacia hidrográfica?