

CUNHA, S.B. (1996) Geomorfologia Fluvial. in:  
Geomorfologia: exercícios técnicas e aplicações. //  
(ed. CUNHA & GUERCA) // Rio de Janeiro, Bertrand  
Brasil.

## CAPÍTULO 5

# GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

*Sandra Baptista da Cunha*

### 1. Introdução

O ensino da Geomorfologia Fluvial tem um papel relevante dentro da diversidade de tópicos tratados na Geomorfologia. Os exercícios e aplicações sobre esse tema introduzem o leitor a algumas técnicas de coleta (conjunto de métodos e técnicas empregados em gabinete, no campo e no laboratório) e a diferentes formas de analisar os dados relacionando-os às mudanças no sistema fluvial. Os métodos e técnicas indicados (monitoramento, predição e interpolação espacial) permitem analisar as variabilidades espacial e temporal das mudanças e os mecanismos dos processos de mudança, no sistema fluvial.

Este capítulo segue a mesma estrutura dos itens abordados no Capítulo 5 do livro *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos* (Cunha, 1995) sendo, portanto, o principal guia de referência bibliográfica, mas não o único. Ao final do capítulo é oferecida uma bibliografia básica que poderá direcionar estudos complementares e

mais aprofundados. Nesse sentido, as obras de Goudie (1981), Dackombe e Gardiner (1983) descrevem relevantes técnicas e métodos, assim como formas de interpretação a respeito da temática.

A primeira parte do capítulo engloba aplicações e exercícios a respeito da fisiografia fluvial; da dinâmica das águas correntes (hidrologia e geometria hidráulica); dos processos fluviais de erosão, transporte e deposição; do perfil longitudinal dos rios; do equilíbrio fluvial e seu rompimento; e da montagem de uma estação experimental.

Os exercícios selecionados lançam mão de dados obtidos em bacias de drenagem brasileiras, e os interessados, ao realizarem os exercícios, devem recorrer às áreas do seu Município, ou mesmo às áreas próximas do seu campus universitário.

Cada exercício apresenta seus objetivos, orienta o leitor sobre a coleta dos dados e sugere idéias de análise, indicando algumas técnicas de auxílio à interpretação. É possível a utilização do computador e o emprego dos diferentes *softwares* na resolução dos exercícios.

A segunda parte do capítulo apresenta uma série de questões discursivas que completam as aplicações e exercícios tratados no item anterior.

## 2. Exercícios, Técnicas e Aplicações

### 2.1. Sinuosidade dos Canais

Uma bacia hidrográfica pode apresentar o padrão de canais reto, meandrante e anastomosado, setorizados espacialmente ou em um mesmo setor, quando ocorrem variações temporais dessa drenagem. Dessa forma, um setor do rio pode ser anastomosado em período de ausência de chuva, quando há excesso de carga sólida em relação à descarga, e exibir a fisionomia meandrante nos períodos de cheia.

A diferenciação entre os tipos de canais é definida pelo grau de sinuosidade ou índice de sinuosidade, que representa a relação entre

o comprimento do canal e a distância do eixo do vale (Figura 5.1). O valor igual ou superior a 1,5 define o padrão meândrico do canal (Dury, 1969) enquanto que a proximidade do valor 1 indica um canal retilíneo.

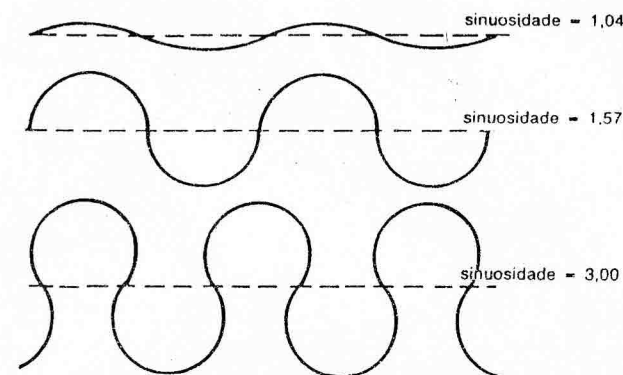


Figura 5.1 — Os tipos de canais (reto, anastomosado e meândrico) são diferenciados pelo seu grau ou índice de sinuosidade. Exemplos de valores.

A distinção entre os diferentes tipos de canais tem certo interesse, uma vez que os processos de erosão, transporte e deposição atuam de acordo com o tipo de canal, onde a sua seção transversal reflete o interrelacionamento entre a descarga, carga sedimentar, declive, largura e profundidade, velocidade do fluxo e rugosidade do leito.

Por sua vez, o tipo de carga detrítica é responsável, muitas vezes, pelas diferentes sinuosidades dos canais. Assim, os canais meandrantes relacionam-se aos elevados teores de silte e argila, os canais anastomosados a uma carga mais arenosa, e o aumento da quantidade de carga detrítica pode diminuir a sinuosidade dos canais.

Defina o padrão do canal que está estudando através do cálculo do índice de sinuosidade de um trecho ou de vários trechos do rio, utilizando a carta topográfica ou, no campo, com auxílio de uma trena. Poderá, também, relacionar a carga detrítica do fundo do leito

com os diferentes tipos de canais. Ainda, poderá analisar o processo de variação dessa carga detrítica em função da mudança do tipo de canal. Não esqueça de buscar explicações para esses fatos.

## 2.2. Medição das Velocidades do Fluxo

Este exercício mostra como medir a velocidade do fluxo fluvial. Com essas medições e usando a imaginação, é possível criar uma série de pequenos projetos de pesquisa, no campo, sobre as características dos rios. Como exemplo, é possível verificar as mudanças da velocidade, em um sistema fluvial, considerando que os processos fluviais indicam que os fluxos a montante dos rios se caracterizam por altas velocidades. Outra pesquisa poderá verificar as variações de velocidade em um cotovelo de meandro, ou em uma seção transversal de canal simétrico. Ainda poderá ser analisada a distribuição do tamanho das partículas dos sedimentos da carga de fundo, com a variação das velocidades no perfil longitudinal ou da seção transversal do canal.

A velocidade da corrente é medida em metros por segundo (m/s) por tratar-se de uma relação entre uma distância percorrida (espaço) e o tempo de percurso ( $V = D/T$ ). Medições de velocidade média, para um dado trecho do rio, podem ser utilizadas para calcular a descarga (Exercício 5.5). Dados de velocidade da corrente podem ser obtidos empregando-se o método dos flutuadores ou a técnica que utiliza correntômetros.

### a). Flutuadores

A forma mais simples de se obter medições de velocidade da superfície do rio é através dos flutuadores, que deslizam na superfície do rio, em uma distância determinada. Pesquisas experimentais têm mostrado que a velocidade média dos rios, em uma seção vertical, é 0,85 vez a velocidade da superfície. Como se observa, a velocidade das águas é variável ao longo do perfil transversal, decrescendo com a profundidade e na direção das margens, devido às forças de fricção entre a água do fluxo e as paredes laterais ou fundo do canal. Dessa

forma, se a velocidade das águas for medida pelo uso dos flutuadores, é possível estimar a velocidade média do rio multiplicando-se a velocidade da superfície por 0,85. Essa variação ocorre, também, ao longo do perfil longitudinal.

O flutuador deve ser de tamanho pequeno (inferior a 10 cm de diâmetro) e percorrer o fluxo o mais submerso possível para evitar o efeito da velocidade dos ventos durante a medição. Quando as profundidades mínimas do rio forem inferiores a 15-20cm e a largura do canal inferior a 1-2m, o método dos flutuadores deve ser abandonado.

Exemplos simples de flutuadores são as pequenas bolas coloridas de brinquedo, de plástico rígido, enchidas pela metade, com água, areia ou solo. Caso o peso do material seja insuficiente ou em excesso para permitir a submersão, o volume de material colocado dentro da bolinha deve ser revisto. Também podem ser utilizadas as laranjas maduras que possuem a vantagem de serem visíveis e uma parte delas ficar abaixo da linha d'água. Outras informações podem ser obtidas em Marques e Argento (1988).

O procedimento da medição da velocidade da corrente, utilizando flutuadores, é relativamente simples. De início, selecione um trecho do rio de 10m de comprimento e com algumas condições ideais como possuir seções transversais estáveis, nem muito profundas nem rasas; ser relativamente reto e com fluxo livre da presença de vegetação e grandes blocos.

Jogue o flutuador no centro do canal, a 3 metros a montante do ponto de medição, e registre o tempo que ele leva para passar entre o início e o final do trecho selecionado para medição. Use um cronômetro ou um relógio que marque os segundos. Esse procedimento deve ser repetido, pelo menos, 3 vezes, sem contar as medições que o flutuador tocou a margem, que devem ser abandonadas.

Faça uma tabela com os resultados, na caderneta de campo, calcule a velocidade média da superfície do canal e faça a correção para obter a velocidade do rio, como mostra o exemplo da Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – Velocidades do rio Bacaxá (RJ) obtidas a partir do método dos flutuadores, em trecho selecionado, de 10 metros de extensão.

Nº de repetições	Tempo do flutuador (segundos)	Tempo médio	Velocidade média da superfície (m/s)	Velocidade média do rio (m/s)
1	20,0			
2	12,0	16,13	0,6199	0,5269
3	16,4			

#### b) Correntômetros

A estimativa mais precisa da velocidade do fluxo é obtida pelo uso dos correntômetros, instrumentos conhecidos também como molinetes (Figura 5.2). Há uma variedade grande desse instrumental, mas, basicamente, ele possui uma pequena hélice conectada a um tubo compacto que fica preso a uma haste. No momento da medição,

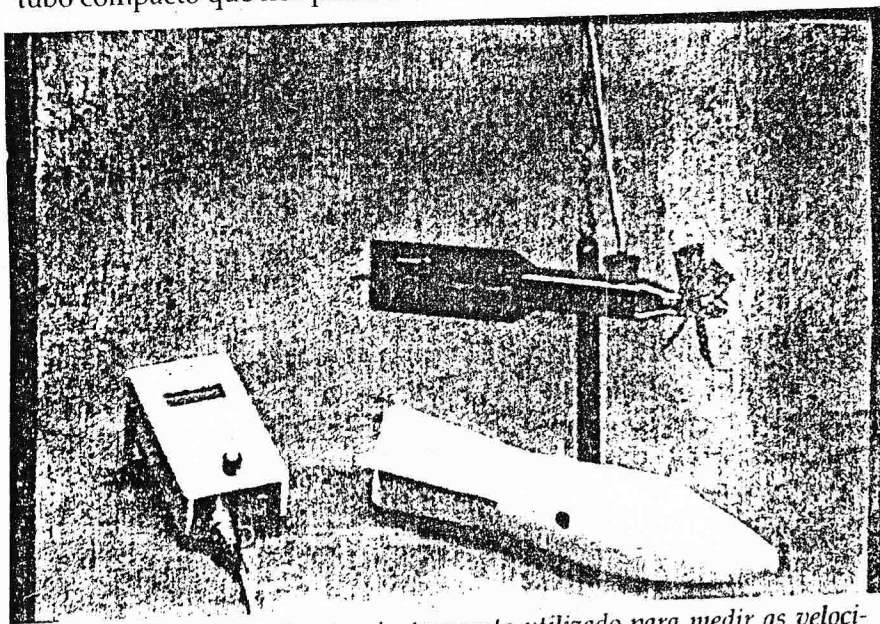


Figura 5.2 — Correntômetro, instrumento utilizado para medir as velocidades do fluxo do rio.

o aparelho deve estar voltado para jusante (sentido contrário da corrente) e paralelo à direção do fluxo principal (local do talvegue).

O número de revoluções da hélice é proporcional à velocidade do rio, no ponto de medição. Em geral, os correntômetros são calibrados no laboratório, através de equações de calibragem fornecidas pelas fábricas.

A velocidade é medida em um número de pontos, na seção transversal do rio, e em diferentes profundidades, registrando-se o número de revoluções da hélice em 60 segundos e convertendo-se o número de revoluções, por segundo, em uma medida de velocidade. Alguns aparelhos fornecem essa leitura direta.

Quando as medições da velocidade são apenas para o cálculo da descarga, dividida a largura da seção transversal do canal em 11 distâncias iguais para obter 10 pontos de medição de igual espaçamento (Figura 5.3a) e faça medições da velocidade localizadas a uma distância do fundo do canal que corresponda à relação entre a multiplicação de 0,4 pela profundidade da água. Por exemplo, se a profundidade da água no ponto 5 for de 30cm, a profundidade média

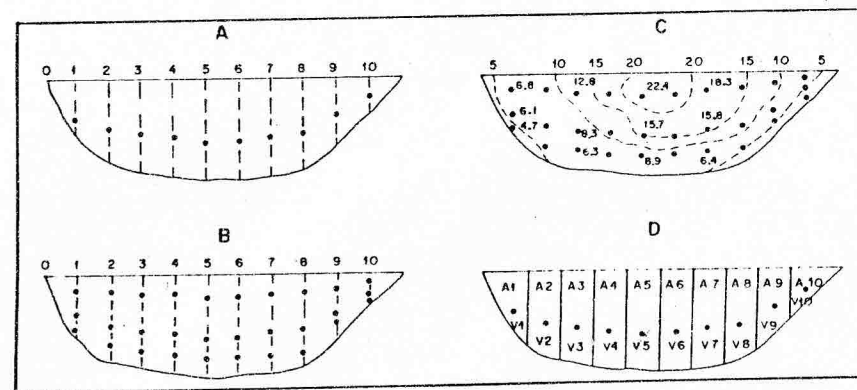


Figura 5.3 — Medições de velocidade em um canal de 1,10m de largura. (A) Localização dos pontos verticais para medição da velocidade com o emprego do correntômetro (0,4 vez a profundidade do ponto vertical). (B) Três diferentes profundidades para cada ponto vertical de medição de velocidade, correspondendo a 0,2; 0,4; e 0,8 vez a profundidade desse ponto vertical. (C) Linhas de isovelocidades delineadas por sensibilidade. (D) Áreas parciais associadas a cada segmento de velocidade.

deve ser medida a 12cm do fundo (30cm x 0,4), como mostra a Tabela 5.2. A velocidade média do rio é obtida através da soma das velocidades individuais para cada ponto medido e dividida pelo número de pontos.

**TABELA 5.2 – Exemplo de registro da seção transversal e dados de velocidade coletados em campo, a partir do uso do correntômetro.**

Pontos de medição	Profundidade da água (cm)	Local da medição (prof. x 0,4)	Velocidade (m/s)
1	20	8,0	0,061
2	26	10,4	0,079
3	28	11,2	0,083
4	30	12,0	0,108
5	31	12,4	0,157
6	31	12,4	0,164
7	30	12,0	0,158
8	29	11,6	0,136
9	20	8,0	0,068
10	10	4,0	0,047

Havendo necessidade de verificar as variações de velocidade dentro da seção transversal, os 10 espaçamentos iguais entre os perfis verticais podem ser mantidos, porém a velocidade pode ser medida em três diferentes profundidades, para cada setor vertical, correspondendo a 0,2; 0,4; e 0,8 vez a profundidade desse ponto vertical. Por exemplo, para uma profundidade da água igual a 30cm, você poderá medir a velocidade a 6cm (30 x 0,2), 12cm (30 x 0,4) e a 24cm (30 x 0,8) do fundo. As medições podem ser plotadas como na Figura 5.3b, escolhendo uma escala horizontal e vertical para a seção transversal do rio. Igualmente, poderão ser traçadas as linhas de igual velocidade (isovelocidades) construídas, por sensibilidade (Figura 5.3c).

Medições detalhadas das distribuições da velocidade em espaçadas seções de cotovelo de meandros ou nas seções dos canais com

depressões e soleiras (fundos e rasos) possibilitarão identificar mudanças no ponto de máxima velocidade, em um pequeno trecho do rio.

### 2.3. Área e Forma da Seção Transversal

Para construir a seção transversal do canal, também conhecida como perfil transversal do canal ou seção molhada, tire a medida da largura do rio (superfície da água), em metros, e divida por 11 para obter 10 pontos de igual espaçamento.

Estenda uma trena, transversal ao rio, e em cada ponto definido faça a medição das profundidades da água, anotando, na caderneta de campo, como mostra a coluna 2 da Tabela 5.2. Em canais largos e de profundidades acentuadas é possível fazer as austragens nas pontes. Plote esses valores no papel milimetrado, escolhendo escalas horizontal e vertical, relacionadas com a situação real (exemplo: 1cm no papel milimetrado pode equivaler a 1m no terreno). Sempre que possível, as escalas vertical e horizontal devem ser iguais.

Unindo os pontos plotados é possível representar a forma da seção molhada como mostra a Figura 5.3a. A forma do fundo do leito pode apresentar sinuosidades (soleiras e depressões) que demonstram intensa atividade na dinâmica do transporte dos sedimentos.

Elaborações sucessivas e repetidas dos perfis transversais, em uma escala de tempo intermediária (de meses a 1 ano), representa um bom método para avaliar as mudanças laterais dos canais e a erosão das margens (Figura 5.4).

Como a área da seção transversal sofre modificações com a variação do volume do fluxo, você poderá fazer sucessivas medições ao longo do ano. Poderá, também, utilizar a largura do canal, considerando as margens plenas. Nesse caso, utilize observações quanto ao padrão de vegetação e de sedimentos para definir as margens do canal durante os períodos de cheia (débitos que enchem, na medida justa, o canal fluvial). Esses dados podem ser coletados em campo ou em fotografias aéreas.

Utilizando as mesmas escalas vertical e horizontal, conte o número de quadrados contidos dentro da seção transversal, desenhada no papel milimetrado, e calcule a área real, em metros qua-

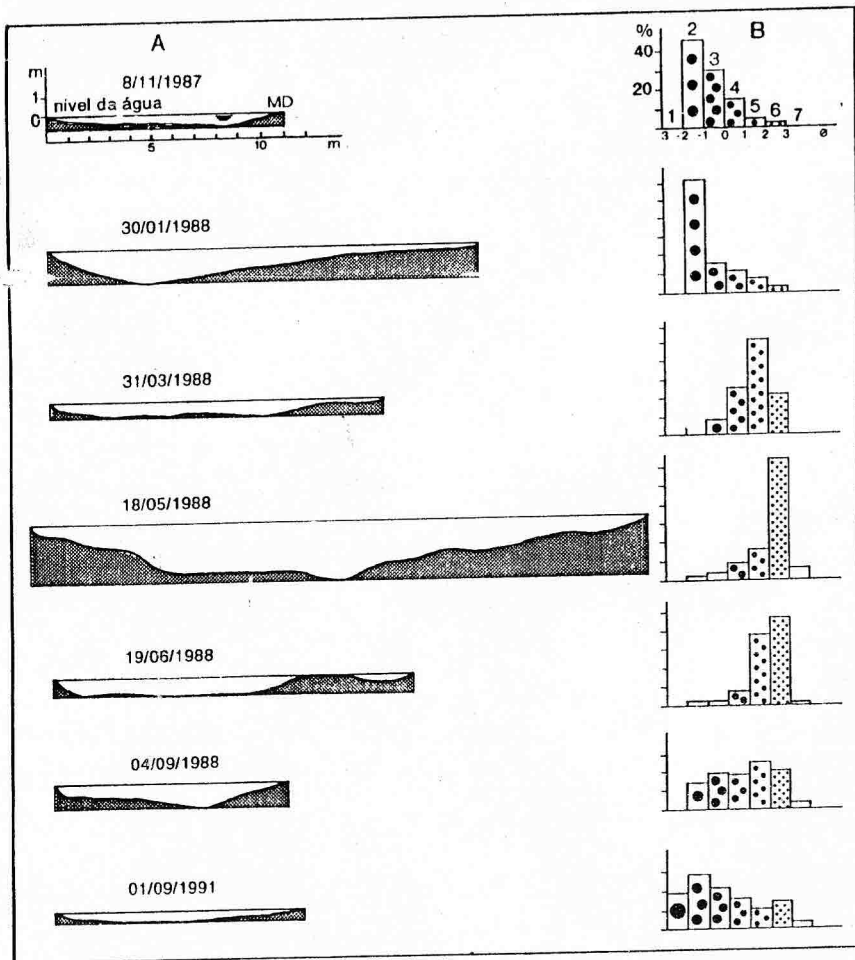


Figura 5.4 — Rio Capivari (Rio de Janeiro). Série de perfis transversais, de novembro de 1987 a agosto de 1991, onde podem ser observadas as mudanças ocorridas no leito, em função da variação dos débitos; respectivos histogramas de composição granulométrica dos sedimentos de fundo (talvegue); (1) cascalho; (2) grânulo; (3) areia muito grosseira; (4) areia grosseira; (5) areia média; (6) areia fina (Cunha, 1993).

drados. A área pode ser obtida, também, com o uso de um planímetro. Outra maneira de calcular a área da seção molhada do canal (A) é através do produto da largura (L) pela profundidade média (P), sendo representada pela expressão  $A = L \times P$  média.

O valor da área da seção transversal pode ser utilizado para o cálculo do raio hidráulico do canal ou da descarga (Exercícios 2.4 e 2.5).

#### 2.4. Raio Hidráulico

A eficiência do fluxo é medida pelo raio hidráulico que corresponde ao quociente da área da seção transversal molhada, pelo perímetro molhado. Desta relação conclui-se que, quanto menor for o perímetro molhado (ou mais lisa a calha fluvial), maior será o valor do raio hidráulico, expresso em metros. A facilidade de o fluxo escoar é função direta do raio hidráulico; portanto, quanto maior for o seu valor, mais lisa será a calha, que oferecerá maior facilidade ao escoamento do fluxo.

Os dados para representar essa relação são fáceis de serem coletados. A área é obtida pela realização do exercício anterior e o perímetro é dado pela circunferência do canal, utilizando a figura montada no papel milimetrado. Você poderá calcular a eficiência do fluxo do rio em estudo, seguindo os passos indicados nesse exercício. Poderá fazer, também, um controle da eficiência do fluxo nos diferentes meses do ano.

#### 2.5. Medição da Descarga do Rio

O fluxo fluvial é constituído pela descarga, cargas sólida e dissolvida, sendo a descarga definida como o volume de água que flui em determinado ponto do canal, num período de tempo. Para grandes rios a unidade de medida é o metro cúbico por segundo ( $m^3/s$ ), enquanto que, para pequenos rios, a descarga é medida em litros por segundo (l/s) onde 1000 l/s equivalem a um  $1m^3$ .

A descarga pode ser medida utilizando-se diferentes métodos, mas o mais conhecido deles emprega a equação  $Q = A \cdot V$ , que representa a relação entre a área (A) da seção transversal do canal (largura x profundidade média) e a velocidade da corrente (V), sendo expressa sob a forma  $Q = L \times P \times V$ , onde Q é a descarga, L é a largura, P é a profundidade média e V é a velocidade média. Dessa for-

ma, para a obtenção da descarga são necessárias a estimativa da velocidade média (metros por segundo) e a medição da área da seção molhada do canal (metros quadrados).

*a) Descargas obtidas com o uso do flutuadores*

Como a vazão representa o produto da área da seção molhada ( $A$  em  $m^2$ ) pela velocidade da corrente ( $V$  em  $m/s$ ), esses valores podem ser obtidos com a resolução dos Exercícios 5.2 e 5.3. Agora, basta calcular o valor de  $Q$  multiplicando  $A \times V$ , obtendo-se o resultado em  $m^3/s$ .

*b) Descargas obtidas com o uso do correntômetro*

Desenhe a seção molhada, no papel milimetrado, utilizando os procedimentos do Exercício 5.3. Cada ponto de medição da velocidade representa o ponto médio da área da seção parcial. A área  $A_1$  está associada com a velocidade  $V_1$ , e assim por diante.

Calcule a área de cada setor, de acordo com a Figura 5.3d, e depois, multiplique cada área pela respectiva velocidade, obtendo o valor da descarga setorial, em  $m^3/s$  ou  $l/s$ . A descarga total do rio é obtida pelo somatório dos valores das descargas setoriais (Tabela 5.3).

### 2.6. Predição de Vazão (Curva-Chave)

O método da análise temporal de curvas de descarga em seções transversais (curva-chave) é utilizado para se obter, de forma rápida, a vazão correspondente a um determinado nível de água do rio e para estudar a dinâmica fluvial. Para a realização das curvas de descarga são necessários dados de vazão ( $Q = A \times V$ ), e altura do nível da água do rio ( $h$ ), por um longo período de tempo. Em rios de grande porte a vazão é coletada por linígrafos em postos fluviométricos, administrados, em geral, por instituições públicas (a maioria pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica — DNAEE).

Como a vazão ( $Q$ ) é calculada pelo produto da área da seção transversal ( $A = L \times P$ ) pela velocidade média ( $V$ ), alterações nesses parâmetros modificam a relação entre  $h$  e  $Q$ . Porém, se ao longo do

TABELA 5.3 – Exemplo de valores da descarga obtidos a partir do emprego do correntômetro

Área ( $m^2$ )	Velocidade ( $m/s$ )	Descarga ( $l/s$ )
$A_1$ 0,122	$V_1$ 0,061	$Q_1$ 7,44
$A_2$ 0,025	$V_2$ 0,079	$Q_2$ 1,95
$A_3$ 0,028	$V_3$ 0,083	$Q_3$ 2,32
$A_4$ 0,029	$V_4$ 0,108	$Q_4$ 3,13
$A_5$ 0,030	$V_5$ 0,157	$Q_5$ 4,71
$A_6$ 0,030	$V_6$ 0,164	$Q_6$ 4,92
$A_7$ 0,029	$V_7$ 0,158	$Q_7$ 4,58
$A_8$ 0,027	$V_8$ 0,136	$Q_8$ 3,67
$A_9$ 0,025	$V_9$ 0,068	$Q_9$ 1,70
$A_{10}$ 0,119	$V_{10}$ 0,047	$Q_{10}$ 5,59
Descarga total do rio: 40,01 $ln^3/s$		

tempo a forma da seção transversal ( $L$  e  $P$ ) se mantiver constante, a curva-chave não sofrerá modificações.

De posse dos dados de  $h$  e  $Q$ , monte um gráfico cartesiano colocando no eixo de  $y$ , o valor da altura da água ( $h$ ) e no eixo de  $x$ , a descarga correspondente ( $Q$ ). Calcule a reta de melhor ajuste ou trace-a por sensibilidade, seguindo o exemplo da Figura 5.5. Com esse gráfico é possível obter o valor da descarga para um determinado valor do nível da água do rio, obtido nos trabalhos de campo, e analisar a dinâmica da geometria fluvial.

Ao analisar o gráfico observe que a redução de  $h$  para uma mesma descarga pode estar associada à intensificação da erosão no leito do rio. De maneira inversa, o aumento da cota ( $h$ ), para uma mesma descarga, pode estar relacionado à agradação do fundo do leito.

Como exemplo, Evlyn (1985) observou que, no ribeirão Canas, São Paulo, no período de 1956 a 1958, o aumento da altura da lâmina

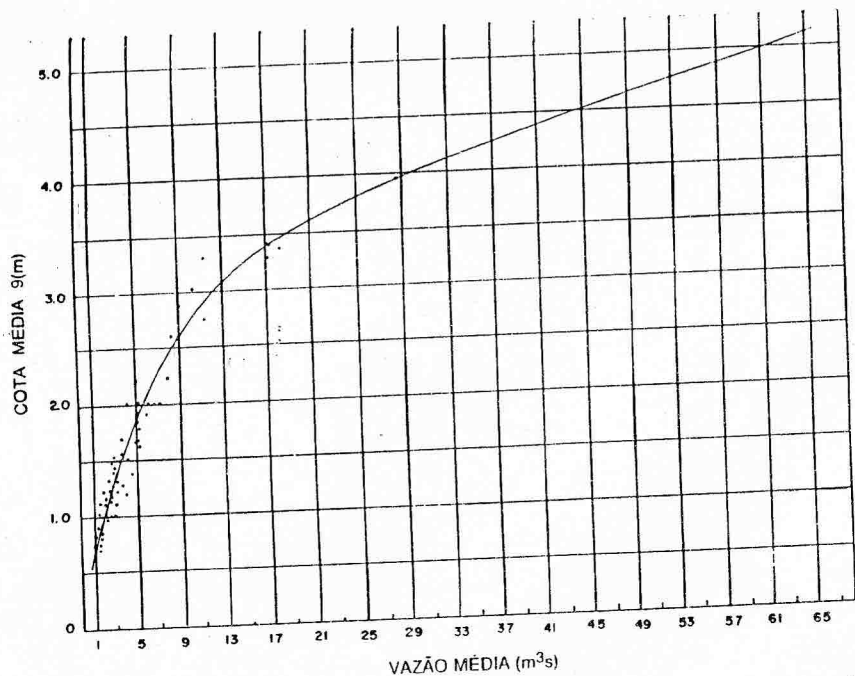


Figura 5.5 — Curva-chave — relação cota ( $h$ ) e vazão ( $Q$ ) para o alto rio Grande, no posto de medição Fazenda Mendes (Cunha, 1978).

de água determinou um aumento proporcional na vazão (Figura 5.6). Assim, a largura do canal pareceu aumentar em proporção com o aumento da profundidade.

No período seguinte (1959-1963), essa relação se modificou de forma que a variação da altura da água, de 80cm para 1,20m, não implicou na variação da vazão. Dessa forma, concluiu-se que o canal se manteve com largura constante, ocorrendo pequena alteração na área da seção transversal, com aumento do nível das águas ( $h$ ). A partir de 1,20m, a vazão passou a aumentar rapidamente para pequenos incrementos do nível das águas, o que sugeriu um alargamento do canal, a partir desse ponto. Após a realização do gráfico, interprete-o levando em consideração as mudanças da profundidade e da largura do canal.

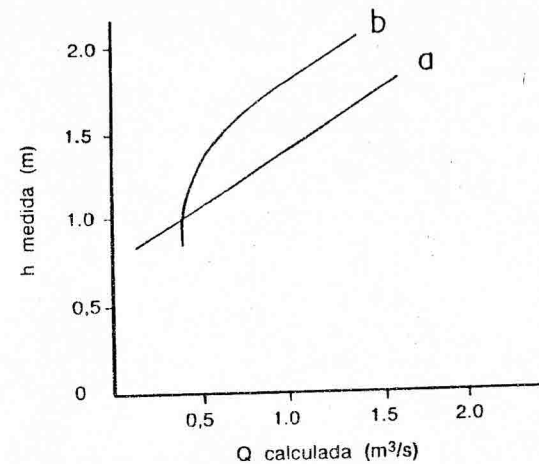


Figura 5.6 — Curva-chave do ribeirão Canas, São José dos Campos, São Paulo. (A) Período de 1956 a 1958. (B) Período de 1959 a 1963 quando o rio Canas foi canalizado. Ocorreram mudanças na forma da seção transversal do canal de um período para outro (Evlyn, 1985).

### 2.7. Carga de Fundo

As mudanças que se realizam no sistema fluvial, em rios transportadores de carga grosseira, podem ser verificadas através da análise do tamanho e da forma das partículas da carga de fundo. Esse método permite examinar os efeitos dos tipos de rocha sobre o tamanho e a forma das partículas, e fazer uma comparação dessas propriedades, nos locais onde os grandes tributários confluem para sistemas maiores.

Você pode realizar algumas investigações como, por exemplo, avaliar as mudanças na distribuição do tamanho e da forma das partículas, na seção transversal, nas curvas dos meandros e nos trechos retilíneos. Ainda, poderá ser feita uma comparação das mesmas propriedades entre os cascalhos do terraço fluvial e os ambientes fluviais atuais.



Lembre-se de que os processos fluviais de erosão, transporte e deposição de sedimentos são definidos pela distribuição da velocidade e da turbulência do fluxo, e estão em constantes mudanças. Ao longo do perfil longitudinal, quando a velocidade é lenta e uniforme, constituindo o fluxo laminar, os processos erosivos são diminutos e a capacidade de transporte reduzida, deslocando, apenas, partículas muito finas.

Ao contrário, no período dos fluxos turbulentos, a capacidade de transporte atinge partículas maiores, ocorrendo velocidades críticas a partir das quais os grãos, de diferentes tamanhos, iniciam sua movimentação. Ao longo do perfil transversal, a velocidade e a turbulência das águas são também variáveis, definindo locais preferenciais de erosão e deposição das partículas.

A análise das propriedades físicas dos sedimentos (tamanho e forma) permite o exame das mudanças nas características dos sedimentos no espaço e no tempo. Assim, é possível examinar a direção e a taxa ou velocidade de mudança, verificar a natureza dos processos cujos resultados são responsáveis pelo desenvolvimento das formas do canal.

Colete amostras da carga de fundo, ao longo do canal, seguindo o talvegue, ou transversal ao rio, com o mesmo espaçamento indicado para a coleta dos valores da profundidade do canal, como no Exercício 2.3 (Figura 5.7a). Ainda, escolha um trecho do rio e faça uma rede de pontos de amostragem como mostra a Figura 5.7b. Não esqueça de fazer um esquema com todas as medições, na caderneta de campo.

#### a) Tamanho da partícula

As partículas que constituem a carga de fundo do rio podem ser classificadas em um número de categorias que vai do matacão (partículas de diâmetro maiores que 256mm) até argilas que correspondem aos diâmetros inferiores a 0,003mm (Tabela 5.4).

Para as partículas mais grosseiras, constituídas de fragmentos de rochas como o matacão, os blocos e os seixos, existem algumas técnicas de coleta do valor do tamanho, que devem ser aplicadas no campo. Muitas propriedades podem ser determinadas com o uso do paquímetro, do medidor de seixos (*pebblesmeter*) ou mesmo de uma

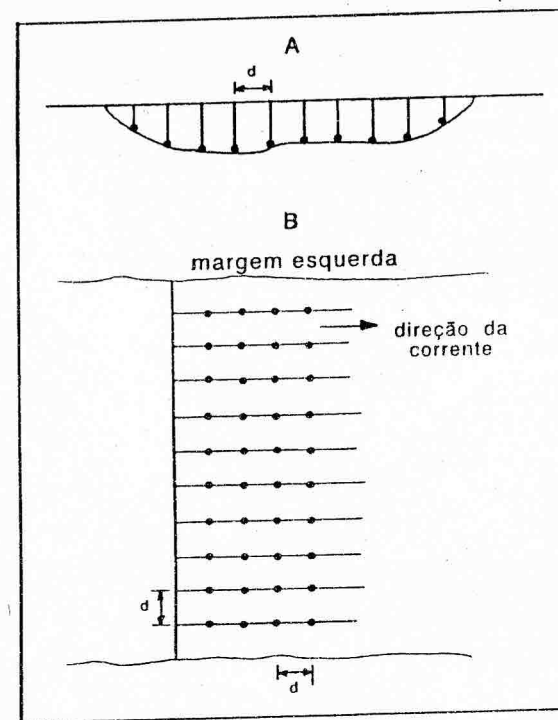


Figura 5.7 — Esquema de amostragem da carga de sedimentos de fundo do canal. (A) Localização de pontos de amostragem no perfil transversal. O espaço definido pela letra *d* corresponde à divisão da largura por 11. (B) Visão em planta do perfil longitudinal indicando a localização dos pontos de amostragem.

régua graduada que permita medir os eixos em um sistema de coordenadas (Figura 5.8).

Para obter os valores, segure a partícula grosseira e faça a medição do eixo de maior comprimento (eixo *a*). Rode a partícula 90° e anote o valor do eixo de maior largura (eixo *b*). Rode-a, novamente, e anote o eixo de maior altura (eixo *c*). Na caderneta de campo, além de anotar as medições, aponte, também, o tipo de rocha sendo recomendado, nessa atividade, o uso de um mapa geológico.

O tamanho médio da partícula é obtido pela expressão  $\frac{(a + b + c)}{3}$

Consultando a Tabela 5.4 você poderá classificá-la quanto ao seu tamanho.

**TABELA 5.4 – Escala de tamanho dos sedimentos segundo Wentworth (1922).**

Partícula	Diâmetro	
	phi	mm
Matacão	-10 a -8	1024,00 a 256,00
Bloco	-8 a -6	256,00 a 64,00
Seixo	-6 a -2	64,00 a 4,00
Grânulo	-2 a -1	4,00 a 2,00
Areia muito grossa	-1 a 0	2,00 a 1,00
Areia grossa	0 a 1	1,00 a 0,50
Areia média	1 a 2	0,50 a 0,250
Areia fina	2 a 3	0,250 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte grosso	4 a 5	0,062 a 0,0312
Silte médio	5 a 6	0,0312 a 0,0156
Silte fino	6 a 7	0,0156 a 0,0078
Silte muito fino	7 a 8	0,0078 a 0,0039
Argila	>8	<0,0039

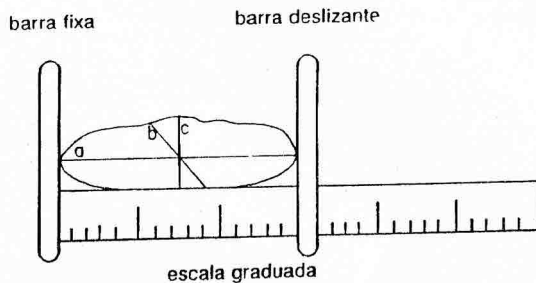


Figura 5.8 – Medidor de seixos (pebblemeter), instrumento de fácil construção, utilizado para medir o tamanho das partículas superiores a 4mm. (a) Eixo de maior comprimento, (b) eixo de maior largura, (c) eixo de maior altura.

Para tornar a amostragem representativa, é necessário medir um número suficiente de partículas grosseiras para todos os tipos de rocha. Recomenda-se a medição de um mínimo de 30 para cada tipo de litologia. Para coletá-las, selecione-as aleatoriamente, dentro de uma moldura de madeira de 0,5m ou 1m de lado (0,25 a 1m<sup>2</sup>). A localização do quadrado, no leito do rio, depende dos objetivos da amostragem.

Para a coleta das partículas menores e a determinação do seu tamanho, assim como o cálculo dos parâmetros estatísticos, recomenda-se seguir as sugestões encontradas no Capítulo 6, item 2.1.

Com os resultados, em percentuais, é possível montar histogramas que identifiquem a competência dos fluxos ao longo do perfil longitudinal do rio (Figura 5.9), do corte transversal do canal (Figura 5.4)

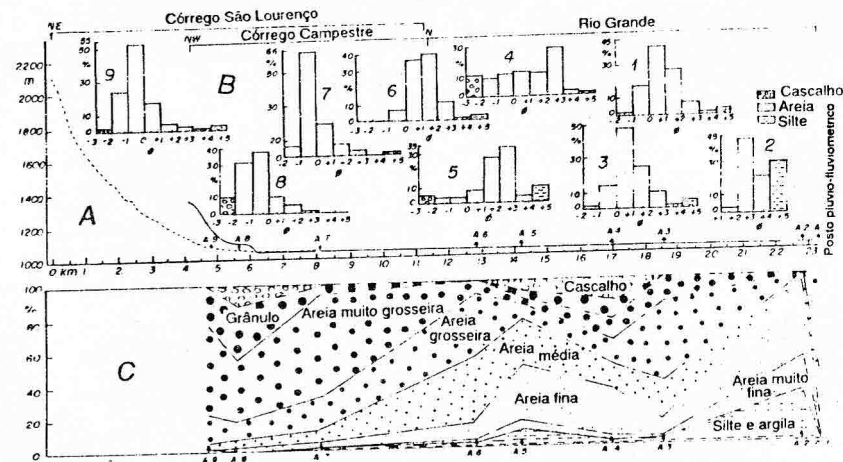


Figura 5.9 – Composição granulométrica do material de fundo do leito, alto rio Grande, Rio de Janeiro. (A) Perfil longitudinal com a localização das amostras. (B) Histogramas de composição granulométrica. (C) Diagrama de frequência acumulada ao longo do perfil (Cunha, 1978).

ou mesmo avaliar, no decorrer do tempo, as mudanças induzidas pelo aporte de sedimentos de um rio tributário. Essas mudanças são nítidas em rios represados, uma vez que o controle da vazão uniformiza a distribuição dos sedimentos ao longo do rio (Figura 5.10).

Utilizando o método da interpolação espacial faça comparações do tamanho e da forma das partículas em rios adjacentes, um que tenha sofrido mudanças ambientais e o outro não, ou compare, ao longo do próprio rio, trechos naturais e trechos que tiveram mudanças ambientais por algumas condições, como por exemplo, a canalização ou a exploração de alúvios. O tipo de estudo proposto só é viável para bacias de drenagem com características físicas homogêneas.

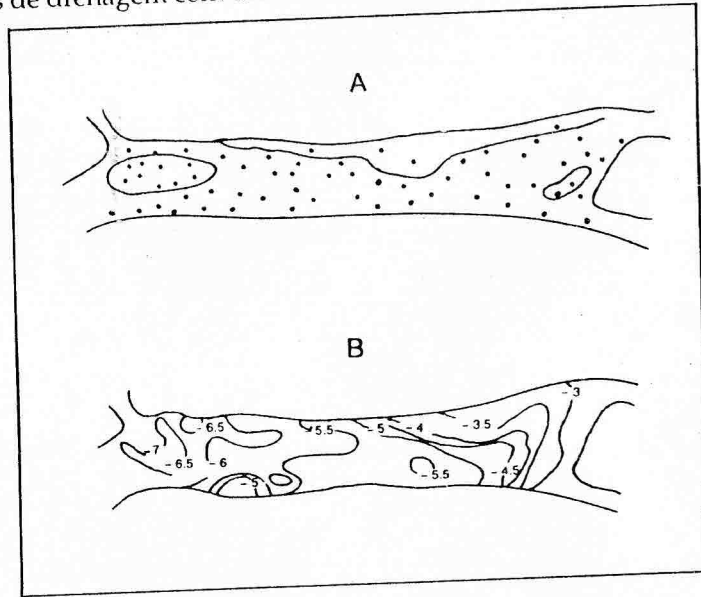


Figura 5.10 — Variação do tamanho médio das partículas em um trecho de agradação do rio Rheidol, a jusante da confluência com o rio Peithnant, Inglaterra, 18 anos após o seu represamento (Pelts, 1984). (A) Distribuição da rede de amostras. (B) Padrão de distribuição dos sedimentos superficiais do fundo do leito, refletindo uma redução gradual da fração arenosa (valores em phi)

b) Forma da partícula

A forma da partícula controla seu comportamento durante o transporte e deposição, enquanto que o seu arredondamento ou angularidade reflete a distância e o rigor do transporte.

A medição precisa da forma da partícula é de difícil execução devido à tentativa de representar o objeto em terceira dimensão por

um simples número. Alguns índices de forma têm sido criados com ênfase nas simples medições dos eixos a, b e c, já mencionados.

O método de Zingg (1935), após medir os eixos a, b e c para cada seixo, calcula as razões  $b/a$  e  $c/b$ . Consultando o gráfico da Figura 5.11 ou a Tabela 5.5 é possível classificar a forma do seixo. Como alternativa, você pode representar, por um simples histograma ou diagrama circular, os dados obtidos, fazendo comparações da forma do grão com o tipo de rocha ou fazendo um histórico da distribuição da frequência baseado em classes de arredondamento.

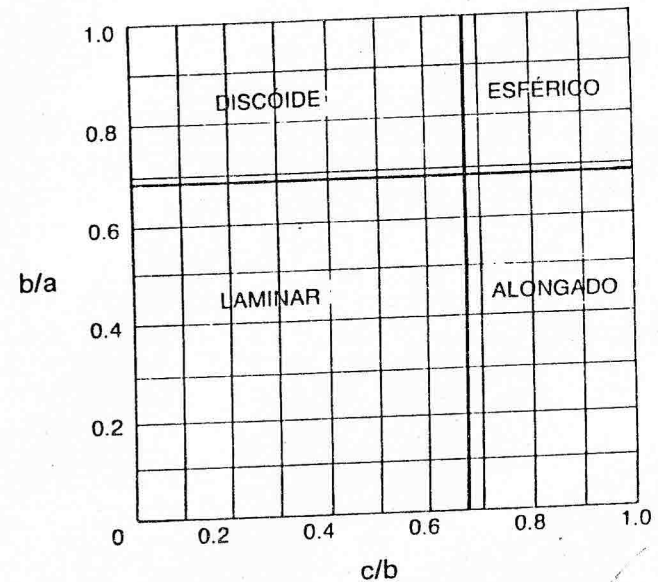


Figura 5.11 — Classificação de Zingg para a forma da partícula (Suguio, 1973).

Faça a coleta e processe as amostras dos sedimentos de fundo do rio selecionado para estudo, bem como analise os resultados seguindo as observações indicadas, passo a passo, nesse exercício.

TABELA 5.5 – Forma dos seixos, segundo Zingg (1935).

Classe	B/A	C/B	Forma
1	>0,67	>0,67	esférica
2	>0,67	<0,67	discóide
3	<0,67	>0,67	alongada
4	<0,67	<0,67	laminar

### 2.8. Monitoramento da Erosão das Margens (Pinos de Erosão)

As medições nas margens dos rios, ao longo do tempo, podem avaliar as mudanças laterais dos canais e as taxas de erosão. As técnicas empregadas para essas avaliações devem ser selecionadas considerando a escala disponível de tempo de amostragem.

Para um longo período de análise (de 1 a 100 anos), utilizam-se as evidências sedimentológica e botânica, assim como as fontes históricas, enquanto que os recursos planimétricos e as sucessivas repetições dos perfis transversais são técnicas escolhidas quando a escala de tempo de observação é intermediária (de meses a 1 ano).

Para o curto tempo de investigação, que pode durar horas, dias, poucos meses ou poucos anos, emprega-se a fotogrametria terrestre, ou os pinos de erosão. Essa escala de tempo reduzido focaliza a variação espacial, dando ênfase aos estudos de processos detalhados de mudança, sem preocupação em obter a taxa de erosão. Devido às suas vantagens, a colocação de pinos de erosão tem sido o método mais popular entre os pesquisadores que trabalham com a erosão das margens, seguindo o trabalho pioneiro de Wolman (1959).

O roteiro abaixo permite acompanhar o processo de erosão nas margens do rio selecionado para o estudo de caso, colocando os pinos de erosão.

De início, introduza os pinos no material da margem, com o auxílio de um martelo, montando uma rede de pinos ou, no caso de segmentos de canais de primeiras ordens, ao longo do perfil transversal (Figura 5.12). As ponteiros ou os pregos, de 20cm ou mais de comprimento, são exemplos que você pode utilizar como pinos.



Figura 5.12 — Malha de pinos de erosão colocada na calha e nas margens de um canal de primeira ordem, localizado na floresta da Tijuca, bacia do rio Cachoeira (RJ), para medir a evolução do canal (Faria, em publicação).

Observe que o comprimento dos pinos deve ser longo o suficiente para evitar que eles sejam totalmente expostos e levados pela erosão. Ainda, esse comprimento deve levar em conta as taxas espe-

radas de erosão e o planejamento da frequência de visitas ao local para remontar ou recompor os pinos.

O número e a densidade de pinos devem ser suficientes para definir, com certo grau de certeza, a natureza da variação espacial da erosão e um valor médio representativo da erosão. Entretanto, não devem ser numerosos de forma a tornar inviável o tempo de leitura. Para isso, adote, se possível, uma distância de 1 a 5 metros entre os pinos. Na caderneta de campo, faça um esquema com as distâncias utilizadas na montagem da grade de pinos, como o exemplo da Figura 5.13.

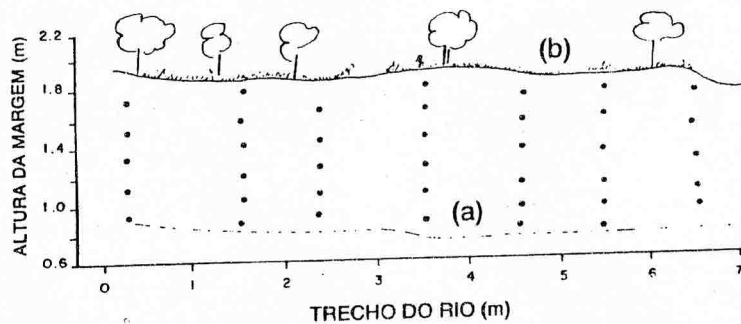


Figura 5.13 — Face vertical da margem de um trecho do rio com a distribuição espacial dos pinos de erosão. (A) Marca do nível da água. (B) topo da margem.

O diâmetro dos pinos deve ser o menor possível (em torno de 2 a 6mm) para não chamar atenção e para minimizar os efeitos nas condições das margens, no momento da colocação. Diâmetros menores podem ser usados em locais muito ativos quando são necessários pinos mais longos.

Com o avanço da erosão, os pinos vão ficando expostos, sendo necessárias freqüentes idas ao local, com curtos intervalos (semanal, mensal, completados por leituras após os maiores eventos), para anotar, na caderneta de campo, a espessura do material perdido (distância entre a ponta do pino e a margem/parte exposta do pino).

Devido aos distúrbios iniciais, durante a instalação dos pinos, alguns pesquisadores recomendam um período de estabilização (1 a 3 meses) antes do início das medições.

Ainda, utilizando gráficos da seção transversal, referentes ao início e ao final da observação, é possível calcular o volume dos sedimentos perdidos.

### 2.9. Traçado do Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal de um rio sofre contínuas flutuações, devido às variações no escoamento e na carga sólida, o que acarreta muitas irregularidades no seu leito como as corredeiras e as depressões. Ao longo do canal, o rio tenta eliminar essas irregularidades, na tentativa de adquirir um perfil longitudinal côncavo e liso, com declividade suficiente para transportar a sua carga. Utiliza, para isso, o mecanismo de erodir, onde a velocidade aumenta e inicia a sedimentação onde há decréscimo de velocidade.

Em geral, os perfis longitudinais são traçados a partir dos mapas de curvas de níveis para permitir a visualização do desenvolvimento longitudinal do curso de água, desde a origem até a foz.

De início, escolha as escalas do gráfico. O eixo de x refere-se ao comprimento do rio, cuja escala deve ser a da carta para facilitar a construção do perfil, embora não seja obrigatório. O eixo de y indica as cotas altimétricas do ponto mais alto para o mais baixo. A escala da carta deve ser evitada, apesar de representar o perfil de forma exata, quando o desnível topográfico for muito fraco (fazer um exagero acentuado) ou forte (fazer um exagero menor).

Ao exagerar a escala vertical a realidade fica deformada mas o perfil poderá ser melhor analisado. A escolha da escala vertical e o exagero em relação à escala horizontal deve ser determinado em relação ao desnível altimétrico (cota altimétrica da nascente menos a cota da foz).

Utilizando uma tira de papel estreita, percorra a extensão do rio, marcando, a partir da nascente, todos os pontos de interseções do rio com as curvas de níveis, anotando os seus valores (pontos de

altitude). A tira de papel deve seguir o curso do rio acompanhando todas as suas curvaturas.

Para traçar o perfil, coloca-se a tira de papel no gráfico, na posição horizontal, a partir da esquerda, sendo marcadas as interseções, de acordo com a escala vetical (altitude). Deve-se utilizar uma ponta de lápis fina, de preferência lapiseira, para aumentar a precisão. Em seguida, ligam-se os pontos, evitando-se as linhas retas.

Com as informações da Figura 5.14, trace o perfil do rio selecionado. Caso faça a opção de hierarquizar os segmentos de canais, conforme a Figura 5.15, realize esta tarefa primeiro (consulte o Capítulo 9, Exercício 2.4).



Figura 5.14 — Rede de drenagem localizada na carta topográfica de Casimiro de Abreu, indicada para o traçado do perfil longitudinal. Equidistância das curvas de níveis: 20m.

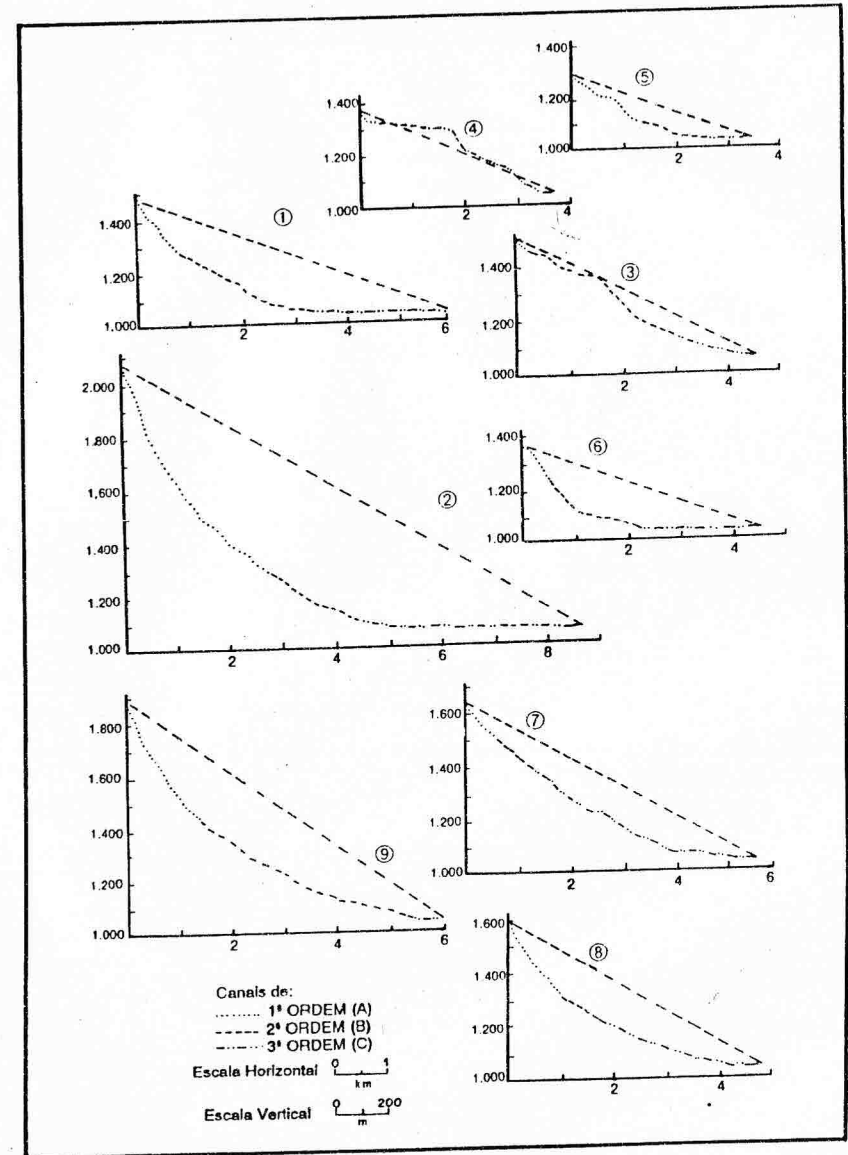


Figura 5.15 — Perfis longitudinais dos afluentes do rio Grande, Nova Friburgo, RJ. Observar os diferentes comprimentos e inclinações para os segmentos de 1ª, 2ª e 3ª ordem (Cunha, 1978).

No caso de pretender fazer o perfil longitudinal composto, com um ou mais afluentes, tenha o mesmo procedimento, explicado anteriormente, com a tira de papel do rio principal, marcando nele, além das interseções com as curvas de níveis, os pontos de confluência. Cada afluente terá sua tira de papel com as mesmas observações. Ao plotar, no gráfico, os afluentes, comece do ponto de confluência para a esquerda.

Por fim, as escalas horizontal e vertical seleccionadas devem ser indicadas no gráfico, assim como a orientação da nascente, da foz e das mudanças de orientação, utilizando os pontos cardiais.

### 2.10. Avaliação do Equilíbrio Fluvial

A avaliação do equilíbrio fluvial pode ser realizada através do método da dinâmica fluvial, que se baseia no uso de relações geométricas entre componentes das bacias hidrográficas. Admite que em uma região estável exista uma relação direta entre a área da bacia e a área da seção transversal do canal.

Quando esses dados são plotados em papel log x log (Figura 5.16), a aproximação é linear. Modificações nesta relação indicam a instabilidade. Esse método, cujos valores de área da seção transversal podem ser substituídos por relações similares que empreguem a largura, profundidade do rio ou a distribuição do tamanho da partícula dos sedimentos, embora resolvendo problemas de custo, só pode ser aplicado em regiões homogêneas. Caso a bacia hidrográfica em estudo tenha essas características, você poderá avaliar o seu equilíbrio fluvial.

Para começar, percorra todo o rio para definir os locais possíveis de serem medidas as áreas das seções transversais (veja Exercício 2.3 para o cálculo dessas áreas) e realize a tomada dos dados que constituirão o eixo de y, no gráfico. Ainda no campo, localize esses pontos na carta topográfica e, no gabinete, calcule a área das bacias correspondentes.

De posse de todos os dados e utilizando o papel log x log, inicie o gráfico pelo lado esquerdo, colocando os valores mais a montante

do rio, até o local em desequilíbrio (marcado por A, na Figura 5.16). Trace, por sensibilidade, a reta de ajuste dos pontos e extrapole até a foz. Se os valores a jusante do rio (esquerda do gráfico) permanecerem muito acima ou abaixo da reta extrapolada, o canal poderá apresentar-se maior ou menor do que o esperado.

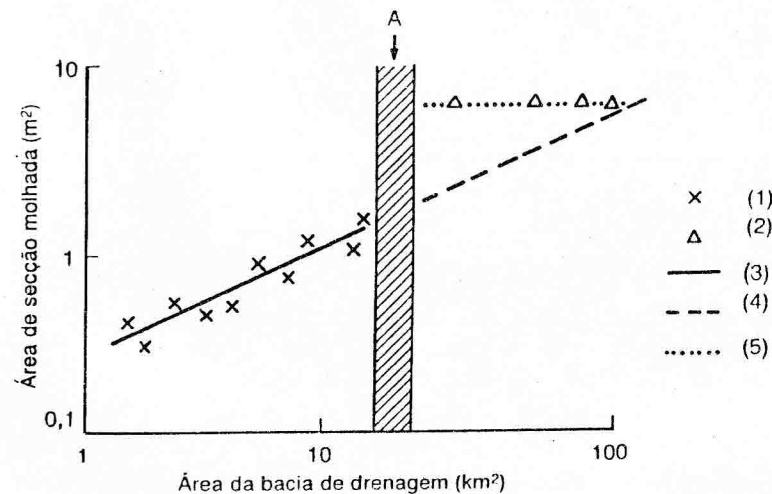


Figura 5.16 — Rompimento do perfil de equilíbrio resultante da atividade humana. (A) Área urbana, reservatório ou substituição da vegetação por cultivos. (1) Dados a montante do local onde a atividade humana se desenvolve, (2) dados a jusante, (3) reta de ajuste para os dados a montante, (4) reta de ajuste extrapolada, (5) reta de ajuste dos dados a jusante (Cunha, 1995).

Obtenha, então, o grau que esses valores diferem do valor esperado através do cálculo da razão de alargamento do canal que é expresso pela divisão do tamanho observado pelo tamanho esperado.

No gráfico e nos resultados das razões pode ser observado que o efeito do desequilíbrio (pela urbanização, obras de engenharia e outros) diminui em direção a jusante do canal, à medida em que ocorrem contribuições de fluxos de tributários naturais.

### ***2.11. Montagem das Estações de Monitoramento e Experimental***

Escolha uma bacia hidrográfica (cerca de 3km<sup>2</sup>) e localize um trecho do rio que servirá de estação de monitoramento, onde o maior número dos exercícios sugeridos poderá ser aplicado.

O monitoramento da estação deve ter a periodicidade indicada em cada exercício, com intervalos fixos ou após o registro dos maiores eventos em observação. Dados produzidos, ordenação da coleta de material e observações gerais quanto à geologia, presença de vegetação, aparecimento de obstáculos, características gerais da bacia hidrográfica e outras anotações devem ser registrados na caderneta de campo onde constarão, ainda, esquemas, tabelas e croquis.

A organização dessas informações, durante a obtenção dos dados, facilita a análise dos mesmos quando é possível realizar comparações de dados temporais, importantes para o acompanhamento dos processos definidores dos distintos ambientes fluviais.

É possível, também, a criação de modelos experimentais em um local espaçoso, como os fundos de um terreno (entre 600 e 2.000m<sup>2</sup>), onde serão produzidas maquetes e modelos reduzidos dos canais, reservatórios e até mesmo de bacias hidrográficas para acompanhamento dos processos envolvidos e controle dos dados. Use a criatividade utilizando materiais como caixa d'água, tijolos, calhas, areia e outros.

A estação experimental poderá ser montada no campo onde serão simuladas situações que não ocorrem, na realidade, no momento da coleta do dado como, por exemplo, a produção da chuva.

### ***3. Questões de Auto-Avaliação***

1. Indique, fazendo comentários, os diferentes tipos de leitos encontrados nos canais fluviais explicando as causas dessa variação.