

# TOPOGRAFIA {ALTIMETRIA}

## DICAS

### 1. MIRAS DE NIVELAMENTO

A mira constitui parte integrante do instrumento usado em nivelamento de precisão. Existem dois tipos de miras; a denominada mira falante e a mira de correção, estando esta última, praticamente, em desuso nas operações topográficas.

A mira falante tem a grande vantagem de possibilitar que sejam determinadas, diretamente, do aparelho, com auxílio dos fios estadimétricos do retículo da luneta, as alturas de visadas aos pontos topográficos.

As miras falantes são construídas de peças de madeira de seção retangular e devidamente graduadas. Apresentam, geralmente, o comprimento de quatro metros e seção de 8 x 2 ou 4 centímetros e reforçadas, nas extremidades superior e inferior, por guarnições metálicas.

As miras falantes de uso, em operações desnivelamento, são graduadas em centímetros aparecendo os números arábicos representando os decímetros e os pontos vermelhos indicando altura de leitura correspondente ao número em metros.

As miras podem apresentar graduações direta ou invertida. De preferência, a mira de graduação direta deve ser usada, quando o aparelho empregado for de luneta terrestre; e a de graduação invertida quando a luneta for astronômica, fornecendo, portanto, imagem inversa do objeto visado.

Em nivelamento, deve-se proceder à leitura na mira tendo-se, como referência, o fio médio horizontal que aparece projetado sobre a imagem da mira colocada, verticalmente, no ponto topográfico a ser nivelado.

Existem lunetas que trazem também fios estadimétricos verticais, para serem usados em estadia horizontal, isto é, a mira neste caso deve ser colocada com auxílio de tripé em posição horizontal.

Segundo a modalidade de construção, as miras falantes podem ser classificadas em: mira de dobrar e mira de encaixe, sendo esta última a mais usada, em virtude da facilidade de manejo e de transporte.

#### **Mira de Dobrar**

Consta de duas peças de madeira graduadas e devidamente unidas por meio de dobradiças, possibilitando a sua articulação. Para o transporte, a mira é fechada, escala contra escala métrica, por meio de alça de couro.

Quando em uso, a mira é aberta e a fixação da articulação é feita com auxílio de parafuso próprio, situado em dispositivo metálico, existente na face posterior da mira.

Em se tratando de miras, relativamente pesadas para o seu manejo, durante as operações de campo, apresentam em sua face posterior alças metálicas, e, às vezes, nível esférico que possibilitam ao auxiliar de campo mante-las, em posição vertical, nos pontos topográficos, no momento de leitura.

As figuras 72 e 73 mostram as principais características das mencionadas miras.

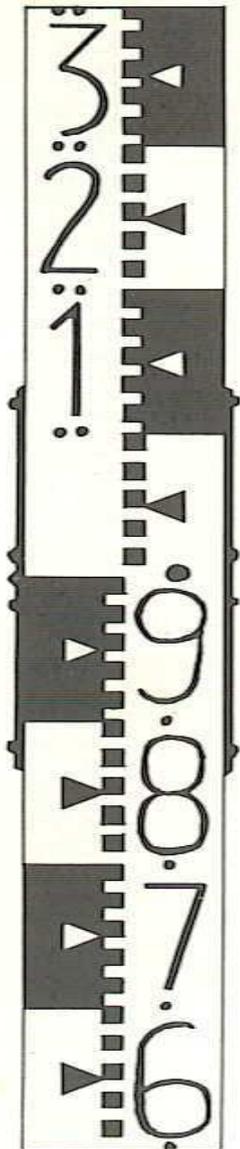


FIGURA 72

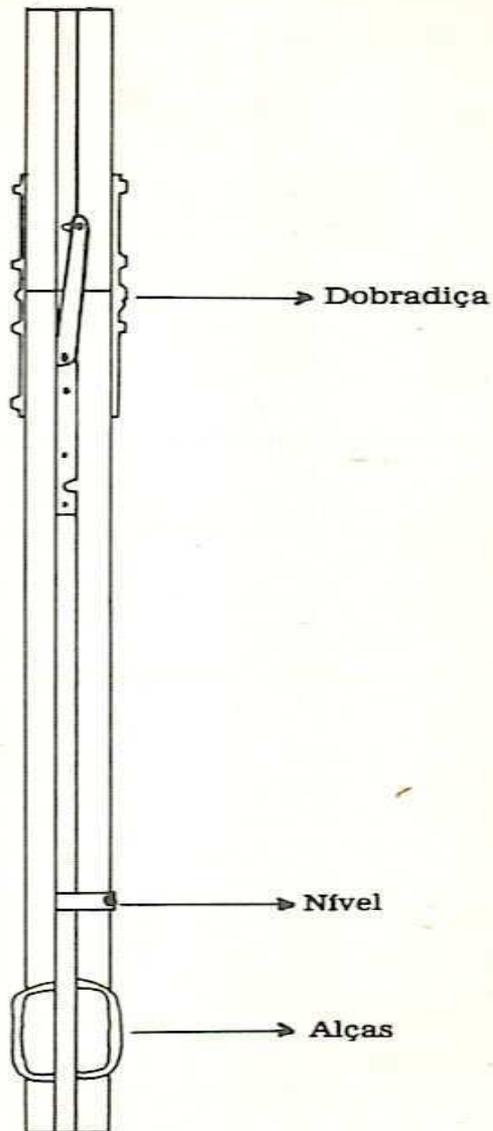


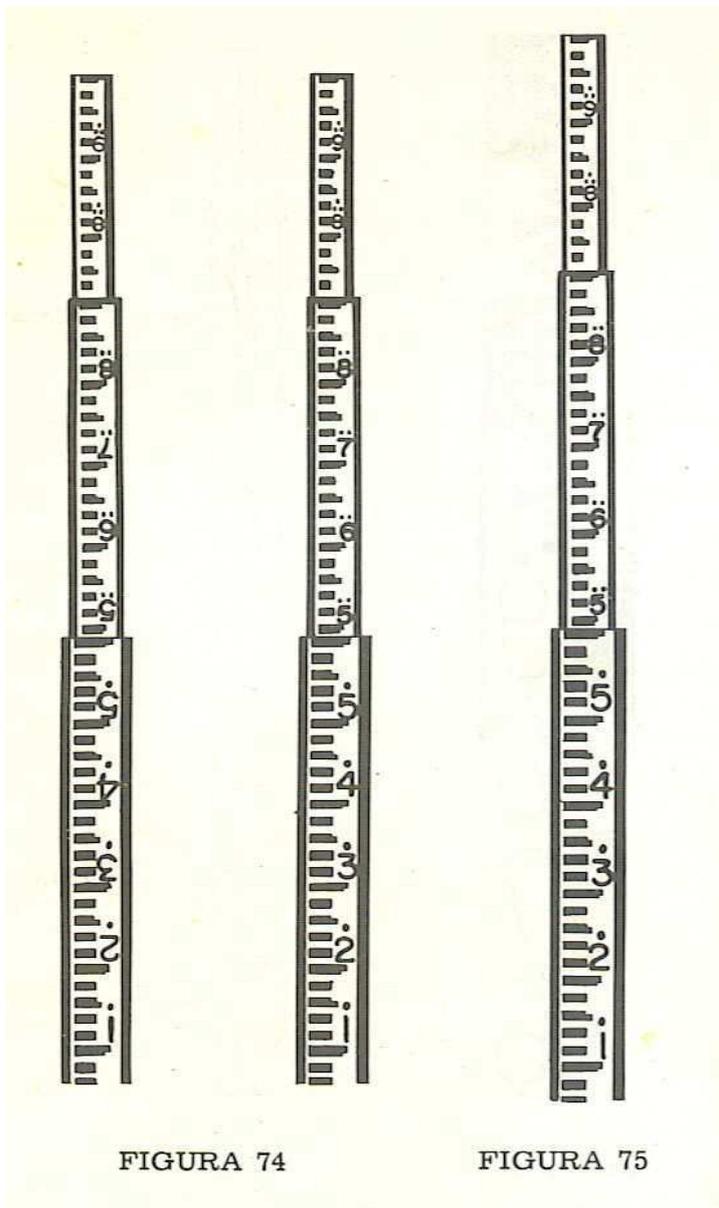
FIGURA 73

### Mira de Encaixe

É constituída de três peças de madeira, em forma de caixas prismáticas e seções retangulares, sendo que a primeira se encaixa na segunda, e este conjunto na terceira. Todas as peças são reforçadas em suas extremidades, por guarnições metálicas. Quando em uso, as peças são desencaixadas umas das outras até o ponto de ajuste do dispositivo, ficando nesta condição com a altura de 4 metros. Para leituras em distâncias, relativamente, pequenas, não há necessidade de desencaixar todas as peças, podendo mesmo trabalhar somente com a parte inferior da mira.

Para evitar causas dos erros nas leituras, deve-se instruir ao auxiliar de campo que ao desencaixar as partes componentes da mira, seja, rigorosamente, observado o perfeito ajuste das peças.

As figuras 74 e 75 mostram as características das miras de encaixe.



### Leitura

Os principiantes encontram, às vezes, alguma dificuldade na leitura da mira, o que poderá ser contornada lembrando-se das seguintes recomendações:

- a) a mira é uma escala métrica vista de longe com auxílio de uma luneta;
- b) a leitura na mira é constituída de um número de quatro casas decimais (o metro, decímetro, centímetro e milímetro por estimativa). Portanto, temos na mira quatro algarismos para cada leitura (0,020; 1,055; 2,235; 3,540; 3,905, etc.);
- c) para evitar erro deve-se observar o sentido do crescimento da graduação. Se o aparelho empregado fornece imagem direta, a graduação da mira cresce de baixo para cima, e se for de luneta astronómica, a graduação cresce de cima para baixo;
- d) os pontos vermelhos que aparecem nas miras indicam o número de metros (um ponto, um metro; dois pontos, dois metros e três pontos vermelhos indicam a altura de três metros de leitura) (figura 76).

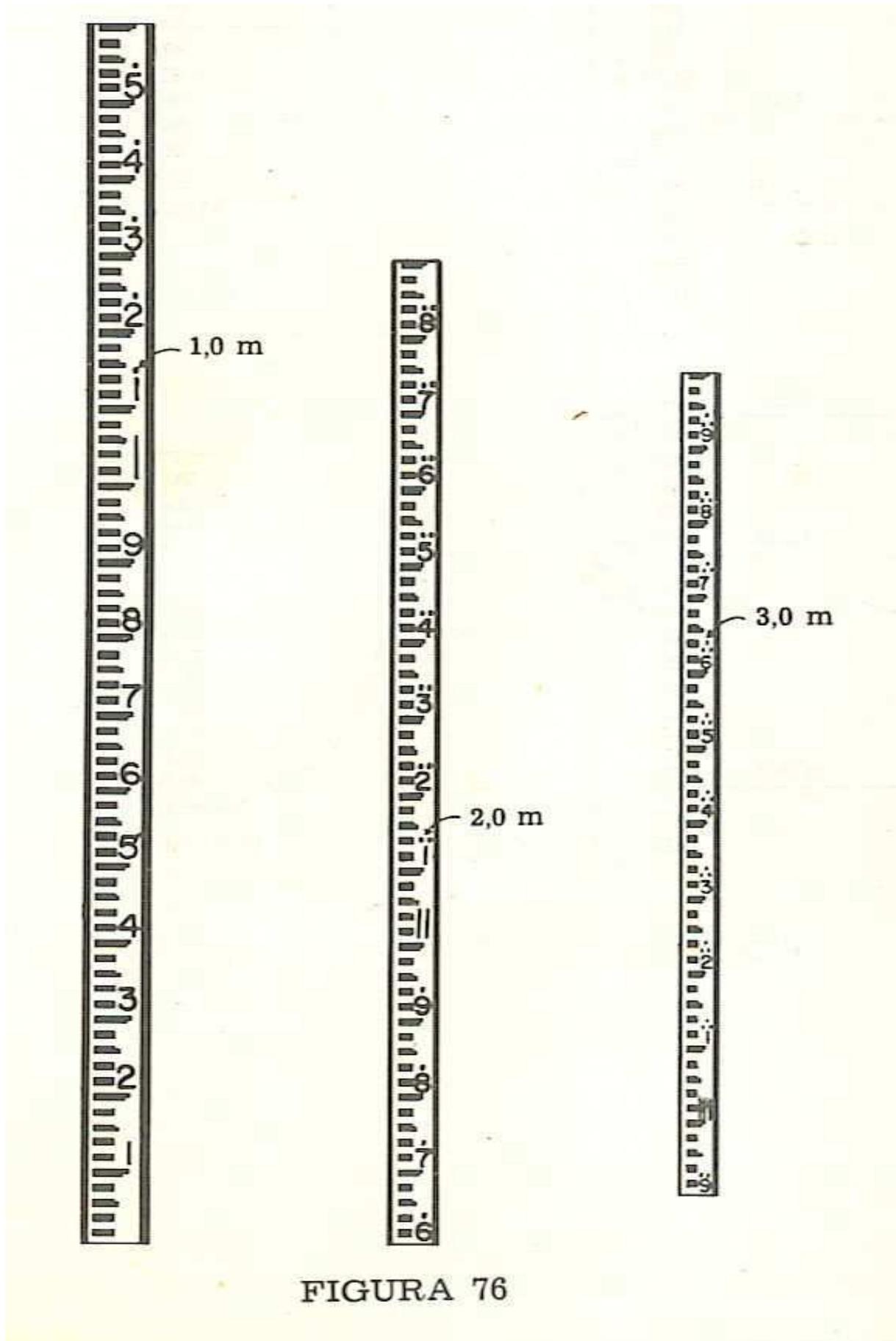


FIGURA 76

e) verificar se a mira está perfeitamente ajustada nos pontos de fixação do encaixe;

f) daremos em seguida alguns exemplos de leitura de mira, conforme as figuras 77,78 e 79.

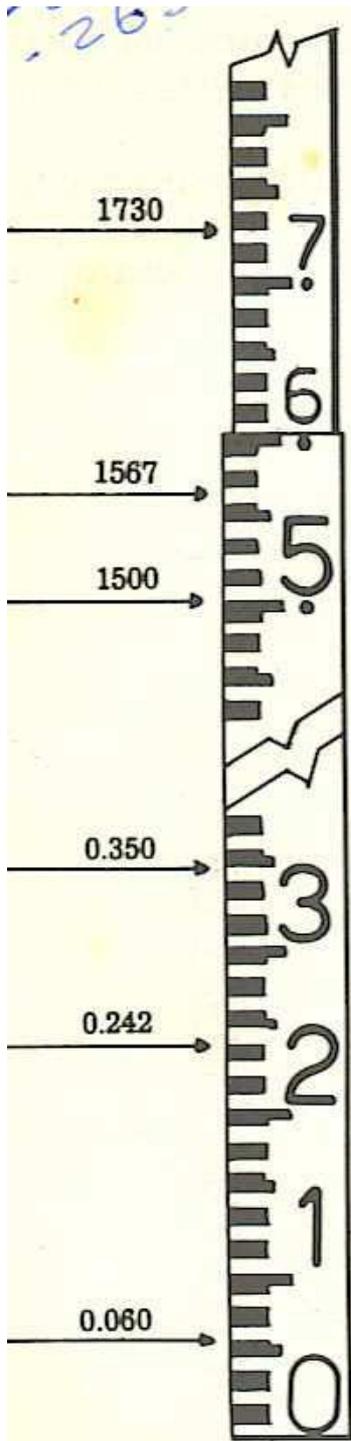
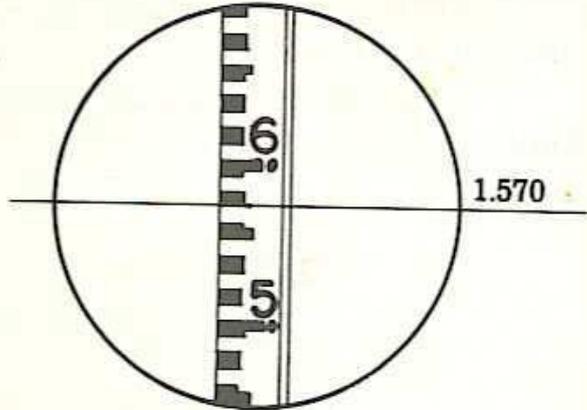
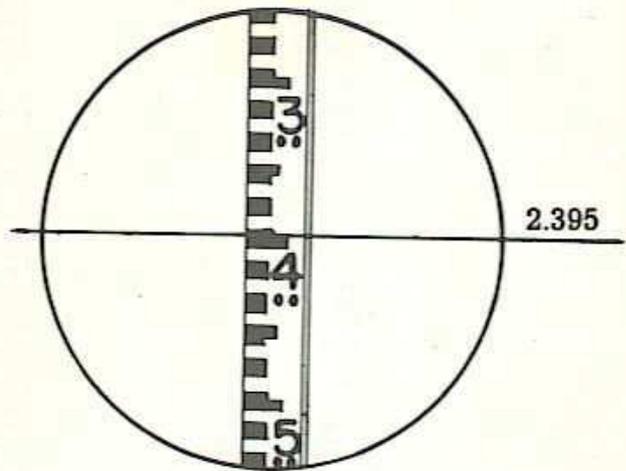


FIGURA 77



Mira Direta

FIGURA 78



Mira Invertida

FIGURA 79



### *Altura do Instrumento*

Chama-se de altura do instrumento ou plano de referência, em nivelamento geométrico, a distância vertical existente entre o plano de visada do nível que passa pela linha de colimação, até uma superfície de nível tomada como termo de referência, representada na figura 84 por SS' ou S.N.C. As distâncias verticais MN, M'N' e M''N'' representam, pois, as alturas do instrumento nas respectivas estações A, B e C. Assim, ao iniciar o cálculo da caderneta, fixamos, para o ponto primeiro do nivelamento, determinada cota, como, por exemplo, 100 metros, significando ter-se escolhido arbitrariamente uma superfície de nível de comparação, passando 100 metros abaixo do ponto zero. Porém, se fosse conhecida a altura do ponto inicial (zero) com relação ao nível médio do mar, as alturas dos outros pontos a serem estabelecidas seriam relacionadas com esta superfície suposta, prolongando por baixo do terreno, e receberiam a denominação de altitudes.

A altura do instrumento, em nivelamento geométrico, é calculada, somando-se à cota do ponto em que se fez a leitura de ré a altura da mira lida nesta estaca; e, a cota será calculada subtraindo-se da altura do instrumento a leitura de vante, isto é:

$$\text{alt. inst.} = \text{cota} + \text{leitura de ré}$$

$$\text{cota} = \text{alt. inst.} - \text{leitura de vante.}$$

Em face do exposto temos:

$$\text{alt. inst.}(A) = \text{cota}(O) + 3,000 = 100,00 + 3,000$$

$$\text{alt. inst.}(A) = 103,00\text{m}$$

$$\text{cota}(1) = \text{alt. inst.}(A) - \text{leitura de vante}(1)$$

$$\text{Cota}(1) = 103,00 - 0,800 = 102,200\text{m}$$

$$\text{alt. inst.}(B) = \text{cota}(1) + \text{leitura de ré}(1)$$

$$\text{alt. inst.}(B) = 102,00 + 1,150 = \mathbf{103,350\text{m}}$$

Da estação B, foram feitas as visadas de vante em 2, 3, 4 e 5, permitindo assim o cálculo das cotas destes pontos com a mesma altura do instrumento da posição B, e vem:

$$\text{cota}(2) = \text{alt. inst.}(B) - \text{leitura de vante}(2)$$

$$\text{Cota}(2) = 103,350 - 0,500 = 102,850\text{m}$$

$$\text{cota}(3) = \text{alt. inst.}(B) - \text{leitura de vante}(3)$$

$$\text{cota}(3) = 103,350 - 3,450 = 99,900\text{m}$$

$$\text{cota}(4) = \text{alt. inst.}(B) - \text{leitura de vante}(4)$$

$$\text{cota}(4) = 103,350 - 3,850 = 99,500\text{m}$$

$$\text{cota}(5) = \text{alt. inst.}(B) - \text{leitura de vante}(5)$$

$$\text{cota}(5) = 103,350 - 2,010 = 101,340\text{m}$$

$$\text{alt. inst.}(C) = \text{cota}(5) + \text{leitura de ré}(5)$$

$$\text{alt. inst.}(C) = 101,340 + 3,800 = 105,140\text{m}$$

$$\text{cota}(6) = \text{alt. inst.}(C) - \text{leitura de vante}(6)$$

$$\text{cota}(6) = 105,140 - 0,140 = \mathbf{105,000\text{m}}$$

Feito o cálculo de todas as cotas dos pontos topográficos, passa-se a determinar as diferenças de nível,

comparando-as com a do ponto inicial.

A diferença de nível será positiva, quando a cota calculada for maior que a do ponto inicial, e negativa, quando de menor valor.

Assim, temos:

$$dn(0-1) = cota(1) - cota(O) = 102,200 - 100,00 = +2,200m$$

$$dn(0-2) = cota(2) - cota(O) = 102,850 - 100,00 = +2,850m$$

$$dn(0-3) = cota(3) - cota(O) = 99,900 - 100,00 = -0,100m$$

$$dn(0-4) = cota(4) - cota(O) = 99,500 - 100,00 = -0,500m$$

$$dn(0-5) = cota(5) - cota(O) = 101,340 - 100,00 = +1,340m$$

$$dn(0-6) = cota(6) - cota(O) = 105,000 - 100,00 = +5,000m$$

Este valor representa a diferença de nível total entre os pontos topográficos zero (inicial) e seis (6).

Estes elementos assim determinados são devidamente anotados na caderneta de campo, conforme exemplo mencionado.

Em face do exposto, conclui-se que o cálculo de uma caderneta de nivelamento geométrico composto reduz-se a operação de soma e subtração que, em se tratando de muitos pontos nivelados com diversas mudanças do aparelho, poderão ocorrer erros nos referidos cálculos. Para evitar a existência de qualquer engano no cálculo das diferenças de nível, deve-se, após completar a caderneta de campo, aplicar a seguinte regra prática:

A diferença de nível total deve ser igual à diferença entre os valores da soma das visadas de ré e da soma das visadas de vante propriamente ditas.

Chamam-se vante propriamente dita todas as visadas de vante processadas nas estacas de mudanças, mais a leitura feita no último ponto topográfico, pois este será sempre um elemento de ligação para o prosseguimento do nivelamento, e, se necessário for, continuar o estudo do perfil do terreno.

Assim, temos:

$$dnt = \sum r - \sum v \text{ (vante prop. dita.)}$$

$$dnt(0-6) = (3,00 + 1,150 + 3,800) - (0,800 + 2,010 + 0,140)$$

$$dnt(0-6) = 7,950 - 2,950 = +5,000m$$

— É bom salientar que esta regra se aplica tão somente para verificar se os cálculos da caderneta de um nivelamento geométrico estão corretos.

Durante a execução dos trabalhos de campo de um nivelamento geométrico, às vezes, é preciso, para operações futuras, deixar no terreno um marco de referência, cuja cota ou altitude é determinada, na própria caderneta de campo, servindo como ponto de partida para outros nivelamentos, em trabalhos de locação. Recebe este marco a designação de referência de nível e caracterizado pelo nome de RN.

O RN deve apresentar boa condição de estabilidade, portanto, ser materializado no terreno, em troncos de árvores, em marcos de concreto ou de madeira de lei, ou também, em alicerces de construção existentes nas proximidades da linha que se nivela.

Para que o RN possa ser perfeitamente identificado em trabalhos posteriores ao do nivelamento realizado, é necessário que suas características sejam perfeitamente registradas na caderneta de campo, na coluna

das observações. Assim, deve ser anotado como foi materializado no terreno o RN, por exemplo, a espécie de árvore que foi usada, a distância que se encontra à direita ou à esquerda de uma das estacas do eixo nivelado, enfim, tudo que possa concorrer para que o RN seja facilmente encontrado, quando dele se precisar, em trabalhos futuros.

#### *Aplicação do RN*

Desejando-se locar no terreno as cotas dos pontos A(105,45), B(106,15) e C(103,20), conhecendo-se a cota do RN de 104,20m, existente na caderneta de nivelamento realizado, procede-se da seguinte maneira: Escolhida a posição no terreno para a estação do nível, e após as operações preliminares, visa-se a mira colocada no RN, conforme figura 85, cuja leitura feita de 2,640m é devidamente anotada.

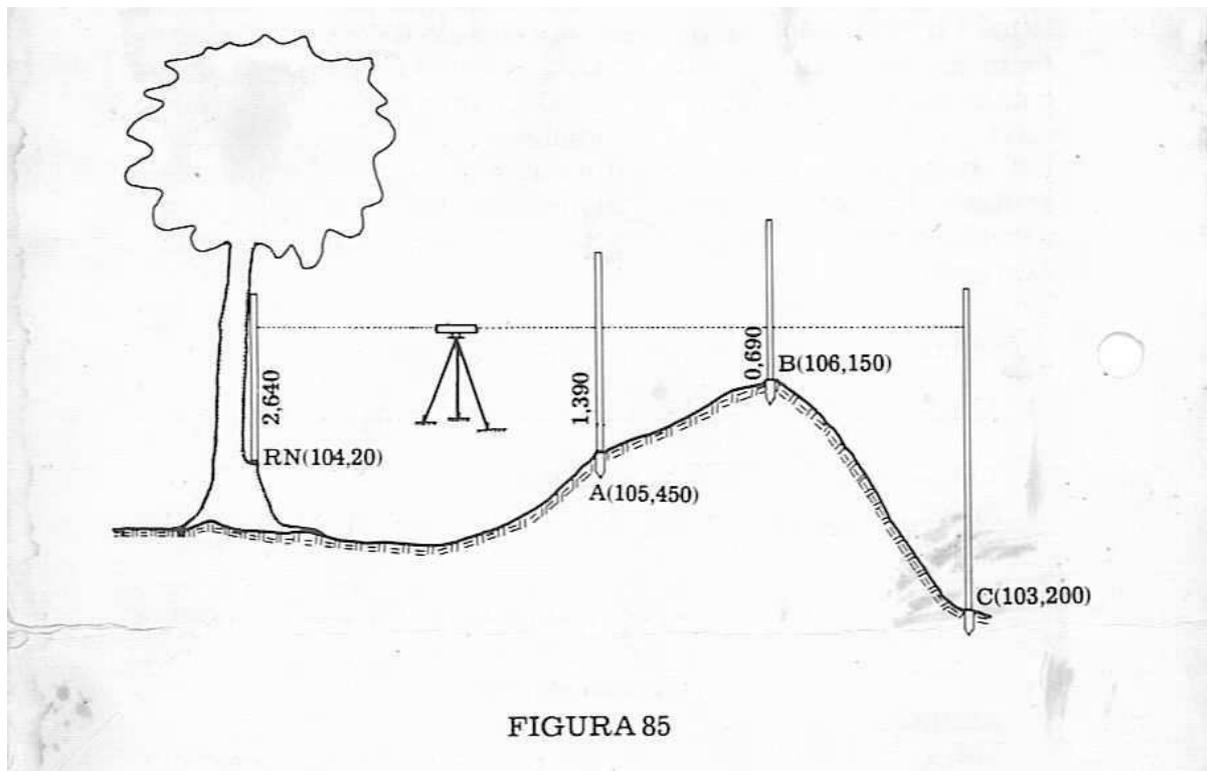


FIGURA 85

Em seguida, determinam-se os valores das leituras que deverão ser feitas nos pontos topográficos, aplicando a seguinte expressão:

$$LM_{pt} = LM_{RN} \pm dn (C_{pt} - C_{RN}),$$

$LM_{pt}$  = leitura a ser feita na mira, no ponto topográfico cuja cota se loca;

$LM_{RN}$  = leitura da mira feita no RN;

$Dn (C_{pt} - C_{RN})$  = diferença de nível existente entre a cota do ponto a ser locado e a cota do RN; se a diferença for positiva, subtrai-se e, caso negativa, soma-se à leitura da mira no RN para se ter o valor da leitura a ser feita no ponto considerado. Assim temos:

$$LM_{(A)} = 2,640 - (105,450 - 104,200) = 2,640 - 1,250 = \mathbf{1,390m}$$

$$LM_{(B)} = 2,640 - (106,150 - 104,200) = 2,640 - 1,950 = \mathbf{0,690m}$$

$$LM_{(C)} = 2,640 + (103,200 - 104,200) = 2,640 + 1,000 = \mathbf{3,640m}$$

Foram determinados os valores de 1,390m, 0,690m e 3,640m que correspondem às leituras que deverão ser

feitas, respectivamente, nos pontos topográficos A, B e C, para que eles tenham as cotas constantes do projeto de 105,450m(A), 106,150m(B) e 103,200m(C).

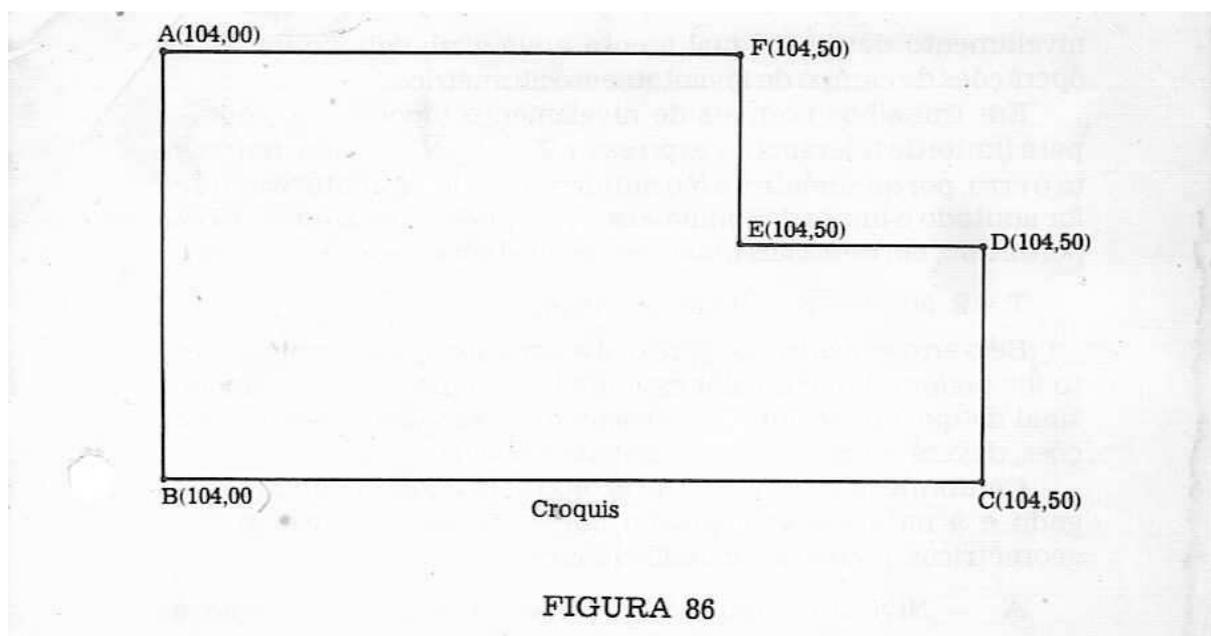
Assim, instalada a mira no ponto A, e se a leitura processada for de 1,420m e não 1,390m, conforme o cálculo, compreende-se que o ponto A locado no terreno está mais baixo 0,300m, necessitando, portanto, que se faça um aterro de 0,300m no ponto A, para que tenha a cota desejada para o ponto A, cuja anotação na estaca testemunha ficará A(+0,300m).

Se a leitura na mira colocada no ponto B, for de 0,290m e não 0,690m, conforme o cálculo, deverá ser feito um corte no terreno de 0,400m, para se obter a cota desejada pelo projeto, e temos B(-0,400m).

Se a leitura da mira no ponto C, for de 2,450m, e não 3,640m, deverá ser feito um corte de 1,100m, no terreno, para se ter a cota de 103,200m, referente ao ponto C, e ficará assinalado na estaca Os dados provenientes dos mencionados cálculos poderão ser devidamente anotados, em caderneta própria, denominada caderneta de locação, conforme o exemplo que segue (figura 86).

**CADERNETA DE LOCAÇÃO**

Est.	Cotas	Leitura Mira		Altura de		Observações
		Cálc.	Terreno	Corte	Aterro	
R.N.	105,24	-	1,315	-	-	RN Fixado
A	104,00	2,555	2,310	0,245	-	no respaldo
B	104,00	2,555	2,605	-	0,050	do alicerce
C	104,50	2,055	2,215	-	0,160	de um prédio existente
D	104,50	2,055	2,055	-	-	a 40 m à esquerda do alinhamento AB.
E	104,50	2,055	2,105	-	0,050	
F	104,50	2,055	1,945	0,945	0,110	
F	104,50	2,055	1,945	0,110	-	

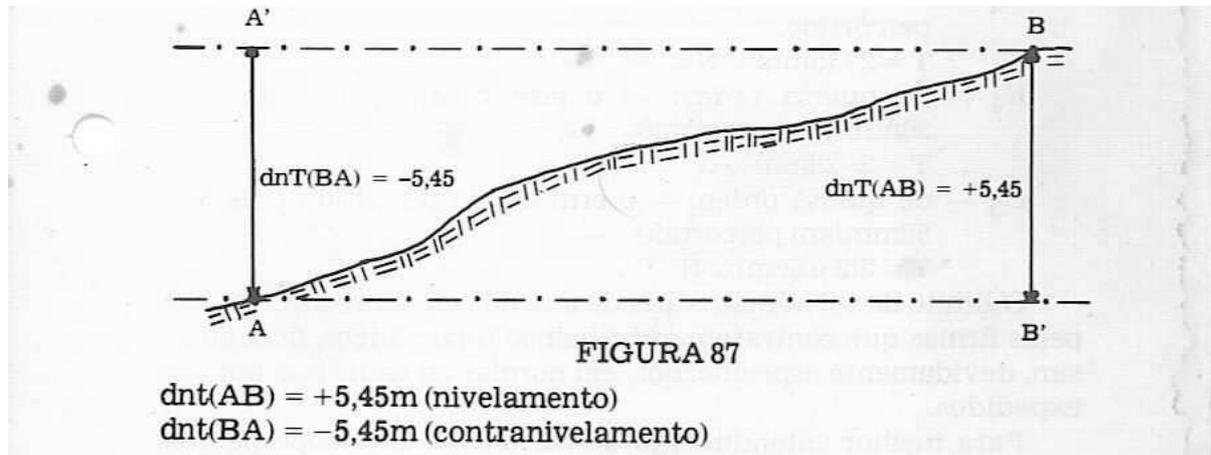


**FIGURA 86**

### Erro de Nivelamento

O erro cometido, no total das operações de um nivelamento geométrico em poligonal aberta, é determinado, por outro nivelamento feito, em sentido contrário, denominado contranivelamento.

As diferenças de nível totais entre as duas operações realizadas devem ser iguais, porém, de sinais contrários, conforme mostra a figura 87.



Em se tratando de uma poligonal fechada, a soma algébrica das diferenças de nível parciais deve ser nula. Neste caso, ao se fechar a poligonal, a cota ou altitude calculada para o ponto de partida do nivelamento deve ser igual à cota a ele atribuída, no início das operações de campo do levantamento altimétrico.

Em trabalhos normais de nivelamento topográfico, adota-se para limite de tolerância a expressão:  $T = 2 \cdot c \cdot \sqrt{N}$ , em que  $c$  representa o erro, por quilómetro, e  $\sqrt{N}$  o número de quilómetros nivelados. Se for adotado o limite de 5 milímetros por quilómetro, o erro máximo permitido, em dezesseis quilómetros nivelados, será de:

$$T = 2 \cdot 5mm \cdot \sqrt{16} = 10mm \cdot 4 = 40mm.$$

Se o erro encontrado entre o nivelamento e o contranivelamento for maior do que o valor estipulado pelo limite de tolerância, é sinal de que houve qualquer descuido no trabalho e, nestas condições, deverá ser realizado novamente o nivelamento.

Conforme já estudamos, de acordo com o instrumental empregado e a natureza do trabalho que se realiza, os nivelamentos geométricos podem ser classificados em:

A — Nivelamento de alta precisão, em que o erro médio admissível varia de 1,5 a 2,5mm/km percorrido.  $T = 2(1,5 \text{ a } 2,5mm) \cdot \sqrt{N}$

B — Nivelamento de precisão:

BI — de primeira ordem — o erro médio admitido é de 5mm/km percorrido.  $T = 2 \cdot 5mm \cdot \sqrt{N}$

B2 — de segunda ordem — o erro médio admissível é de 10 mm/km percorrido.  $T = 2 \cdot 10mm \cdot \sqrt{N}$

B3 — de terceira ordem — o erro médio é de 15mm/km percorrido.  $T = 2 \cdot 15mm \cdot \sqrt{N}$

B4 — de quarta ordem — o erro médio permitido é de 20mm/km percorrido.  $T = 2 \cdot 20mm \cdot \sqrt{N}$

B5 — de quinta ordem — o erro médio permitido é de 30 a 50mm/km percorrido.  $T = 2(3 \text{ a } 5cm) \cdot \sqrt{N}$

O limite de tolerância varia de acordo com a precisão exigida pelas firmas que contratam os trabalhos topográficos, ficando assim, devidamente especificados, em normas ou cadastros por elas expedidos.

Para melhor entendimento do cálculo de uma caderneta de nivelamento geométrico, daremos, a seguir, os cálculos efetuados do nivelamento e contranivelamento do perfil longitudinal de um terreno, onde apresentamos duas modalidades de anotações.

CADERNETA DE NIVELAMENTO							
Est.	Leituras		Altura Instr.	Cotas ou Altitude	Dif. Nivel		Observação
	Ré	Vante			+	-	
0	1,520		11,520	10,000			Nivelamento de 20 x 20 m Em uma árvore a 15 m à direita da est. 3
1		2,510	11,520	9,010		0,990	
2		3,725	11,520	7,795		2,205	
2		2,600	11,520	8,920			
3	3,851	3,250	12,121	8,270		1,730	
4		2,430	12,121	9,881		0,119	
m	3,050	0,820	14,351	11,301	1,301		
5		2,030	14,351	12,321	2,321		
6		1,125	14,351	13,226	3,226		

Verificação do Cálculo:

$$\sum m_{re} - \sum n_{vp} \cdot dita = dnt \text{ (0 a 6)} = + 3,226 \text{ m} \therefore$$

$$(1,520 + 3,851 + 3,050) - (3,250 + 0,820 + 1,125) = dnt \therefore$$

$$dnt \text{ (0 a 6)} = 8,421 - 5,195 = + 3,226 \text{ m.}$$

#### CADERNETA DE CONTRA NIVELAMENTO

Est.	Leitura	Plano de Referência	Cotas ou Altitudes	Dif. de Nivel		Observação
				+	-	
6	+1,000	14,226	13,226	-	-	
5	1,905	14,226	12,321	-	0,905	
m	2,925	14,226	11,301	-	1,925	
m	+0,800	12,101	-	-	-	
4	2,220	12,101	9,981	-	3,245	
3	3,831	12,101	8,270	-	4,956	
3	+1,500	9,770	-	-	-	
2	1,975	9,770	7,975	-	5,431	
1	0,760	9,770	9,010	-	4,216	
1	+2,000	11,010	-	-	-	
0	1,010	11,010	10,00	-	3,226	

Verificação do Cálculo

$$dnt \text{ (6 a 0)} = (1,00 + 0,800 + 1,500 + 2,000) - (2,925 + 3,831 + 0,760 + 1,010) = + 5,300 - 8,526 \therefore$$

$$dnt \text{ (6 a 0)} = -3,226 \text{ m.}$$

Conclui-se, deste modo, que não houve erro nos trabalhos de campo, nem nos cálculos das cadernetas do nivelamento e contranivelamento do exemplo supramencionado.

# REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

## 1. INTRODUÇÃO

Feito o estudo dos processos de nivelamento, trabalho que nos conduz à determinação das cotas ou altitudes dos pontos característicos e definidores da altimetria do terreno, temos agora que conceituar os processos empregados para representar o relevo do terreno, topograficamente levantado.

A representação do relevo é de grande importância para os projetos que se tem em vista realizar, e daí a necessidade de constar da planta topográfica, não somente os pormenores planimétricos, mas também os elementos altimétricos que se prendem ao modulado do terreno, configurado, de um modo geral, pelas suas elevações e depressões.

## 2. PROCESSOS DE REPRESENTAÇÃO

A representação pode ser feita, empregando-se um dos seguintes processos:

- processo do desenho de perfil;
- processo dos pontos cotados;
- processo das curvas de nível;
- processo das declíneas ou hachuras;
- processo do plano relevo;
- processo das tintas hipsométricas;
- processo da perspectiva.

Qualquer que seja o processo usado, deverá satisfazer às seguintes condições:

- a) realçar de maneira mais expressiva possível as formas do terreno;
- b) permitir determinar com precisão a cota ou altitude de um ponto qualquer do terreno;
- c) exprimir os declives e permitir a sua determinação.

Dentre os processos citados, daremos, mais pormenorizadamente, os três primeiros, por serem mais usados em levantamentos topográficos.

### **Processo do desenho de perfil**

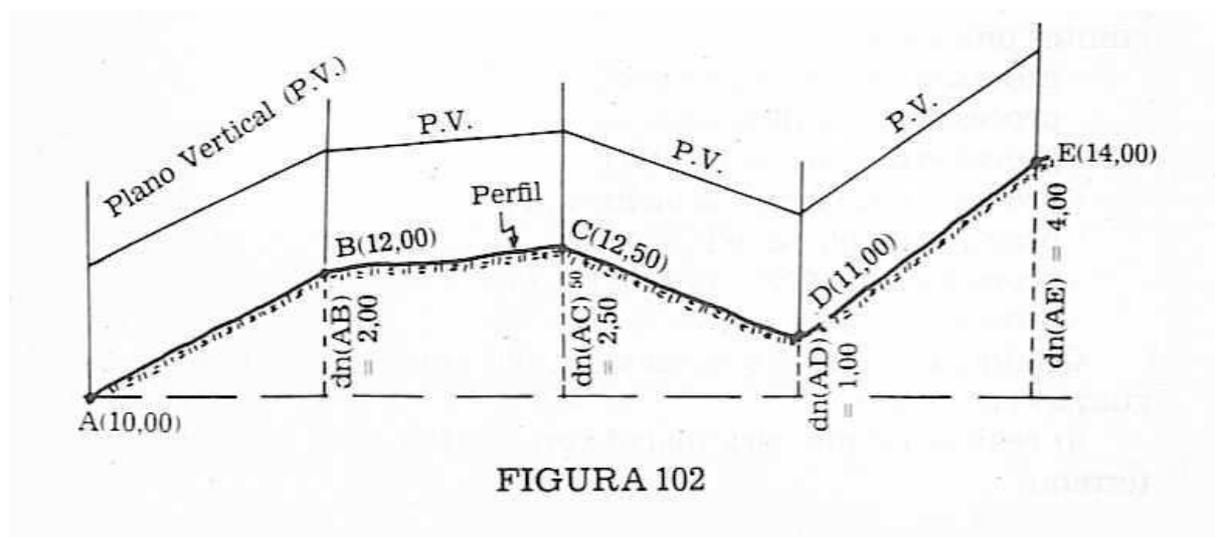
Quando se realiza um trabalho de nivelamento, com a finalidade de conhecer apenas as particularidades do relevo, em seção longitudinal ou transversal, representam-se os elementos altimétricos obtidos (diferença de nível, cotas ou altitudes) por meio do desenho do perfil das seções levantadas no terreno.

Esta é a modalidade mais rigorosa para representar o relevo, e por isso necessária, em todo projeto de Engenharia, ligado ao estudo de balanceamento de greides e cálculo de movimentação de terras e em trabalhos de sistematização.

**PERFIL** — É a representação no plano vertical das diferenças de nível, cotas ou altitudes, obtidas em um nivelamento. A união destes elementos, por linhas retas ou curvas, constitui a representação gráfica do perfil do terreno estudado. Assim, o desenho de um perfil representa, pois, a interseção do terreno com planos verticais que passam pelos alinhamentos medidos no terreno, conforme mostra a figura 102.

Para o desenho de um perfil, é necessário, portanto, que se conheçam as distâncias horizontais entre os pontos topográficos medidos no terreno e as diferenças de nível entre eles.

Também o perfil pode ser desenhado em função das cotas ou altitudes dos pontos do terreno a serem nele representados.



O desenho de um perfil, de preferência, deve ser realizado em papel milimetrado, transparente ou opaco. Pode ser também feito em papel vegetal ou canção, quando se dispõe de uma prancheta equipada com tecnógrafo, para se obter melhor representação gráfica dos elementos que compõem o perfil. /

No eixo dos  $x$ , serão representadas as distâncias horizontais entre os pontos topográficos nivelados no terreno, e nas linhas verticais (eixo dos  $y$ ) serão tomados os valores correspondentes às diferenças de nível, cotas ou altitudes calculadas e constantes na caderneta do nivelamento realizado. As diferenças de nível positivas serão marcadas acima do eixo  $x$ , e as negativas, abaixo.

Como o terreno, geralmente, apresenta predominância nos valores das distâncias horizontais, sobre as verticais ( $dn$ ) e desejando-se salientar bem as condições de elevações e depressões, prefere-se usar duas escalas no desenho de um perfil, sendo que a escala vertical será 10 vezes maior que a escala horizontal. Isto é, se a escala adotada para as distâncias horizontais é de 1:1000, para as diferenças de nível ( $dn$ ) deverá ser usada a escala de 1:100;  $dh = 1:500$ ,  $dn = 1:50$ ;  $dh = 1:2000$ ,  $dn = 1:200$  etc.

Por outro lado, quando as distâncias verticais apresentam valores próximos das distâncias horizontais, como acontece em estudo para projetos de linhas de transmissão, poderá ser usada, no desenho do perfil, uma escala apenas.

Este procedimento, acentuando as formas do relevo do terreno, permite melhor análise e maior precisão dos dados a serem nele determinados.

Dos dados da caderneta de nivelamento transcritos abaixo, foram realizados os desenhos dos perfis constantes da figura 103, usando as diferenças de nível, e o da figura 104, empregando-se os valores das cotas.

CADERNETA DE NIVELAMENTO

Estacas	Distâncias (m)	Cotas (m)	Dif. de Nível	
			+	-
0		100,0	-	-
1	20,00	102,50	2,50	-
2	30,00	105,00	5,10	-
3	20,00	107,00	7,00	-
4	40,00	104,80	4,80	-
5	30,00	106,00	6,00	-
6	20,00	103,00	3,00	-
7	20,00	100,50	0,50	-
8	30,00	98,50	-	1,50
9	30,00	97,50	-	4,30
10	20,00	101,10	1,10	-

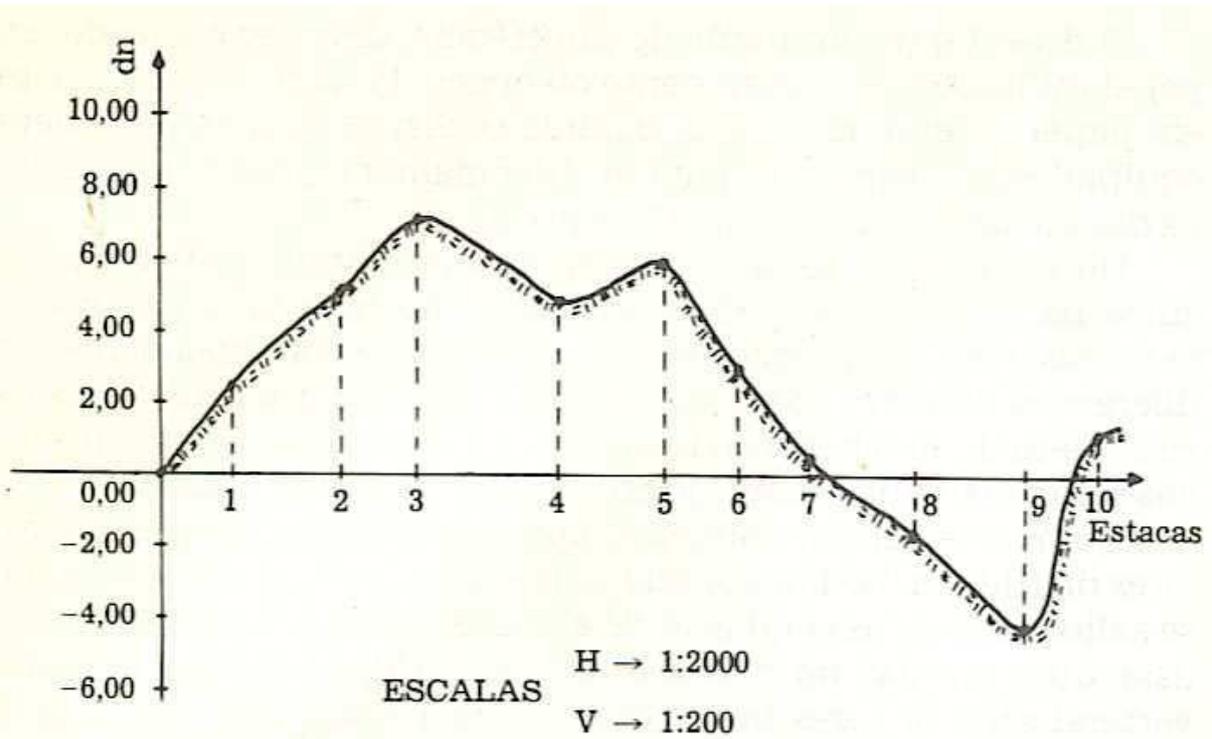


FIGURA 103

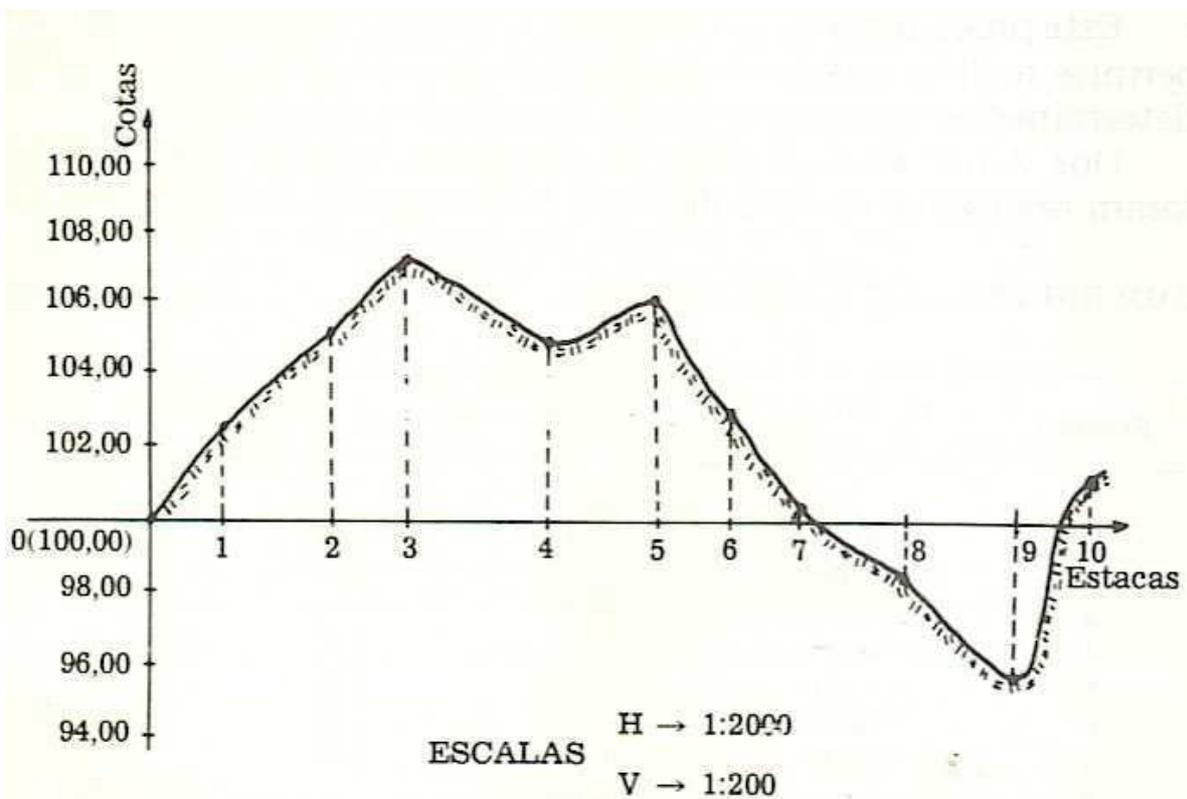
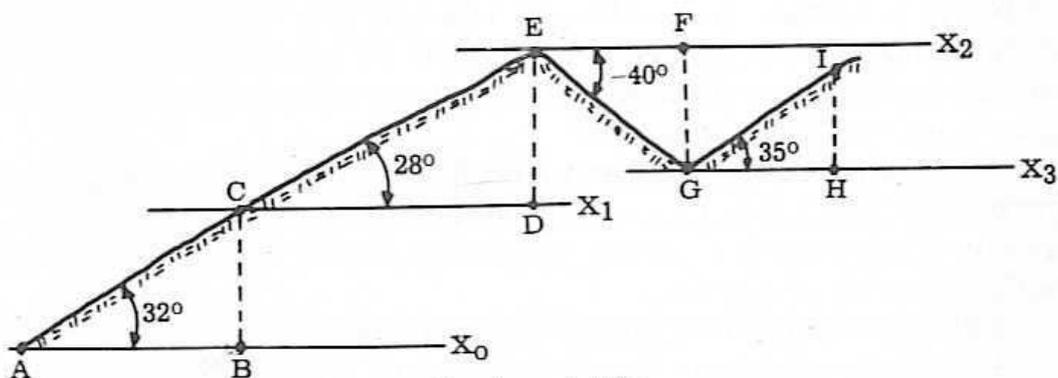


FIGURA 104

Quando se emprega o nivelamento trigonométrico, determinando-se os ângulos de inclinação do terreno entre os pontos topográficos estudados, o desenho do perfil pode ser executado, utilizando-se estes elementos sem ser necessário o cálculo das diferenças de nível. Neste caso, com auxílio de um transferidor, registra-se sobre a horizontal  $x_0$ , o valor do ângulo medido no terreno, e marca-se sobre esta horizontal a distância na escala desejada. Em seguida, tira-se por este ponto uma perpendicular até tocar o lado  $A_y$  do ângulo transferido. A perpendicular  $BC$  representa, pois, a diferença de nível entre o ponto  $A$  (vértice) e o ponto topográfico  $C$ . Pelo ponto  $C$  tira-se uma nova horizontal  $x_1$  e, sobre ela, transfere-se o novo ângulo. Marca-se a partir de  $C$  a distância horizontal medida no terreno, e levanta-se a perpendicular até tocar o lado do ângulo. Esta perpendicular  $DE$  representa a diferença de nível entre  $C$  e  $E$ . Repete-se a operação até o desenho final do perfil, conforme ilustram os dados abaixo e a figura 105.

Conforme a natureza do trabalho que se realiza, há necessidade do nivelamento longitudinal e transversal do terreno, a fim de obter os perfis transversais e longitudinal, que nos fornecerão os dados

Estaca	Leitura do Ângulo/Distância
A	+ 32°/30 m
C	+ 28°/40 m
E	- 40°/20 m
G	+ 35°/20 m



Escala — 1:1000

FIGURA 105

necessários ao futuro traçado das curvas de nível e outros relacionados com o projeto.

Chama-se perfil longitudinal o obtido por meio do nivelamento, ao longo do eixo de caminhamento, referente à poligonal básica lançada no terreno; e o transversal o resultante dos dados do nivelamento das seções que atravessam aquele eixo, conforme se vê na figura 106.

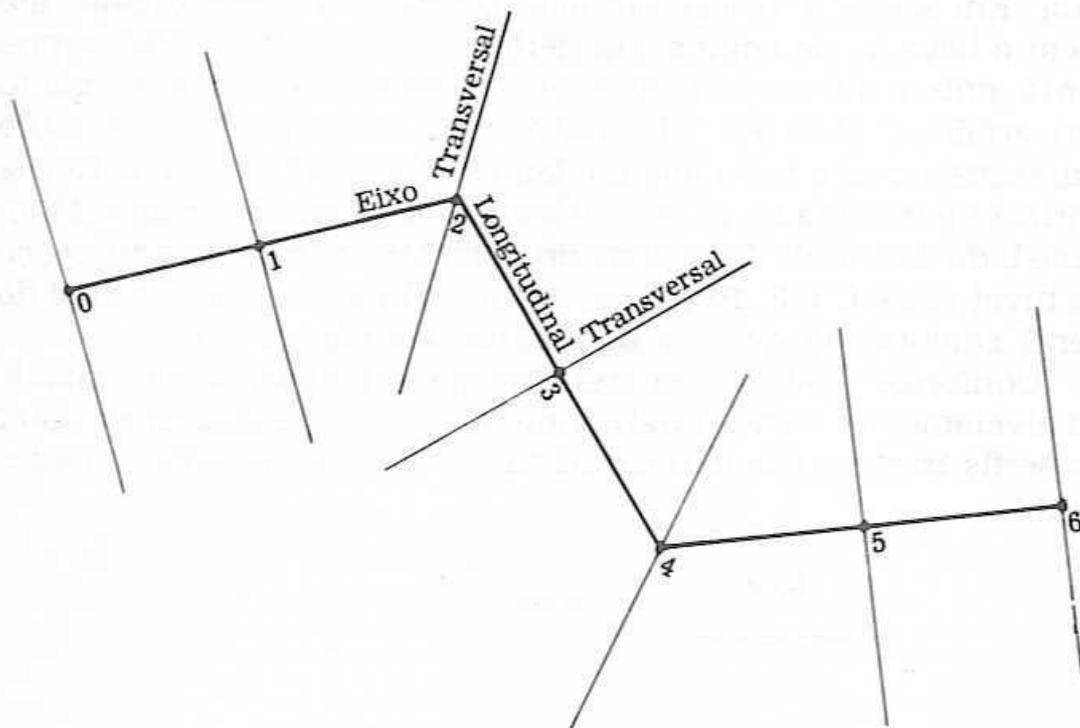


FIGURA 106

O nivelamento das seções transversais deve ser perfeitamente amarrado ao eixo longitudinal.

O nivelamento do eixo longitudinal deve ser feito por processo geométrico, com emprego de nível de luneta. O nivelamento das seções transversais, de acordo com a natureza do trabalho, pode ser realizado pelo processo geométrico (nível de luneta), trigonométrico (clinômetros, clisímetros, teodolitos), estadimétrico (taqueômetros) e barométricos (aneróide).

Pode-se também levantar um perfil, empregando-se uma régua horizontal e uma outra vertical, ambas graduadas convenientemente. A horizontalidade da régua será obtida com um nível de bolha (nível de pedreiro).

Seja, por exemplo, levantar o perfil da figura 107.

Coloca-se a régua na horizontal apoiada no ponto A do terreno, e ergue-se a vertical em B; por meio do nível de pedreiro colocado na face superior da régua horizontal, é posta horizontalmente. Em

seguida, procede-se, com a face inferior da régua horizontal, à leitura (BM) na régua vertical que representa a diferença de nível entre os pontos A e B. O valor AM lido na régua horizontal será a distância entre os pontos A e B nivelados.

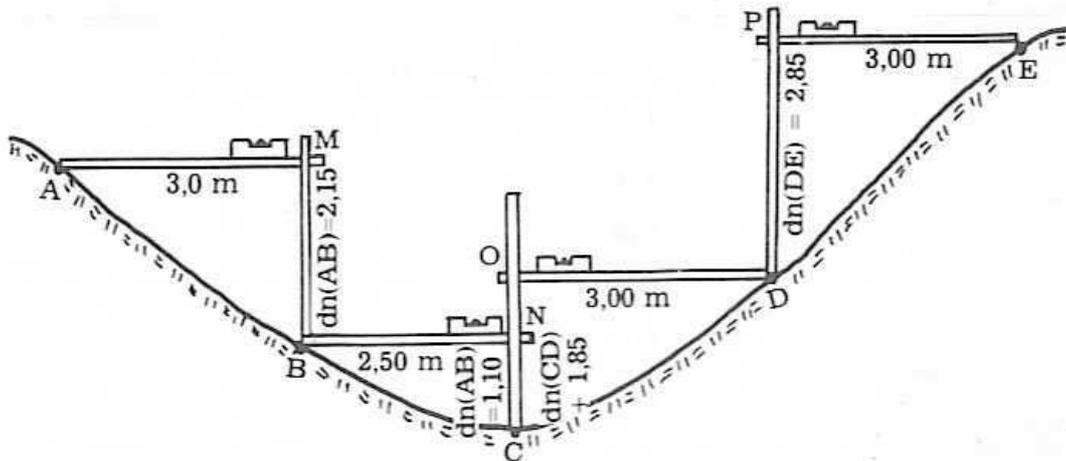


FIGURA 107

Coloca-se agora a régua horizontal em B e a vertical em C, os valores CN e BN representam, respectivamente, a  $dn(BC)$  e a  $dh(BC)$ . Em seguida, a régua vertical será mantida em C e a horizontal apoiada no ponto D, obtendo-se os valores  $CO = dn(CD)$  e  $OD = dh(CD)$ , e assim, sucessivamente, até o final do nivelamento.

Os dados obtidos por este nivelamento poderão ser anotados na caderneta de campo da página seguinte, quando se trata de um levantamento de perfil longitudinal.

Nota-se que, de preferência, o registro dos dados obtidos é feito em forma de fração ordinária, em que o numerador representa a diferença de nível e o denominador a distância horizontal entre os pontos e precedidos do sinal (+) ou (-) conforme a diferença de nível for positiva ou negativa.

Quando se trata de nivelamento de seção transversal, as anotações serão feitas da seguinte maneira:

Esquerda	Estaca	Direita
-1,10/2,50; -2,15/3,00	C	+1,85/3,00; +2,85/3,00

Este tipo de nivelamento é bastante usado em trabalhos agrícolas, principalmente quando se deseja determinar quedas d'água.

para estudo de projeto de pequenas usinas hidrelétricas nas fazendas. Também é usado em nivelamento de seções transversais e em levantamento de perfis para projetos de estradas.

Estaca	Leituras	Cotas	Distâncias
A	-	10,00	-
B	2,15	7,85	3,00
	- 3,00		
C	1,10	6,75	2,50
	- 2,50		
D	1,85	8,60	3,00
	+ 3,00		
E	2,85	11,45	3,00
	+ 3,00		

Este processo de nivelamento, quando empregado com certo cuidado, nos conduz a trabalhos com certa precisão, e daí ser bastante usado por ser pouco dispendioso, prático e eficiente.

Um exemplo de aplicação do desenho de perfil pode ser mostrado no projeto abaixo, em que se deseja retificar um trecho de uma estrada com 0,8% de declividade ascendente, num terreno nivelado com as seguintes características.

#### CADERNETA DE NIVELAMENTO

Estacas	Visadas		Altura do Inst.	Costas		Alturas de		Obs.
	Ré	Vante		Terreno	Grade	Cortes	Aterros	
0	2,10		102,10	100,00	100,00			Est. 20m em 20m.
1		1,60		100,50	100,16	0,34		
2		1,80		100,30	100,32		0,02	
2+9	3,20	2,00	103,30	100,10	100,39		0,29	
3		2,30		101,00	100,48	0,52		
4	1,90	2,60	102,60	100,70	100,64	0,06		
5		2,40		100,20	100,80		0,60	
6		1,80		100,80	100,96		0,16	
7	1,70	0,80	103,50	101,80	101,12	0,68		
7+8		2,50		101,00	101,18		0,18	
8		1,50		102,00	101,28	0,72		

A figura 108 mostra o desenho do perfil do terreno e do *grade* (0,8% de declividade), em que colocamos no eixo  $x$  as estacas, e no eixo  $y$  as cotas do terreno e do *grade*.

A linha do *grade* indicará, no desenho do perfil, qual será a posição da estrada, após a retificação. Quando o perfil do terreno estiver acima da linha do *grade*, teremos um corte, e se estiver abaixo, um aterro.

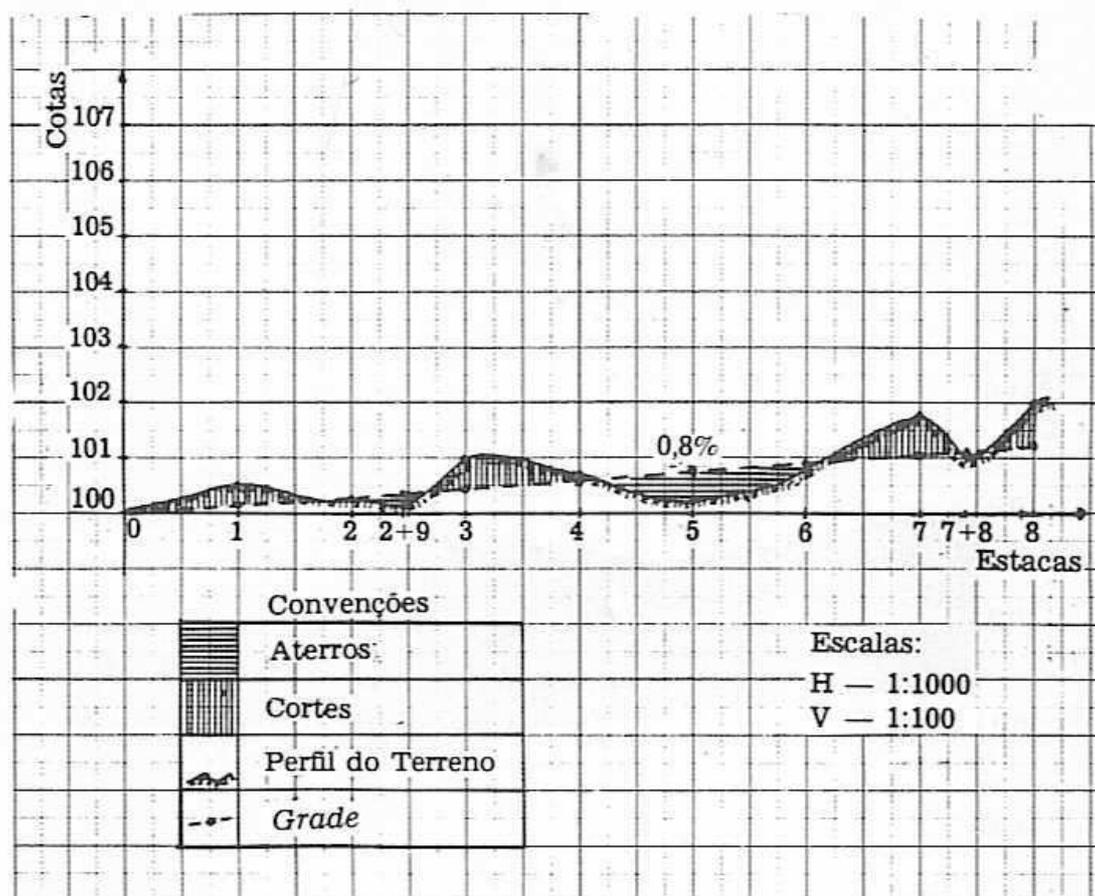


FIGURA 108

Outro exemplo de aplicação de desenho do perfil será mostrado quando, por exemplo, desejamos construir uma rede de esgoto. Do terreno nivelado que se encontra na caderneta da página seguinte projetamos um trecho de uma rede de esgotos com 1,0% de declividade descendente, partindo-se com a rede, na estaca zero, à profundidade de 1,5m.

A figura 109 mostra o desenho do perfil do terreno e do *grade*. Neste exemplo, verificamos que a linha do *grade* está sempre abaixo do perfil do terreno, uma vez que a rede de esgoto deve ser subterrânea. Da mesma forma podemos verificar que só teremos cortes, neste projeto, uma vez que a rede será subterrânea.

CADERNETA DE NIVELAMENTO

Estacas	Visadas		Altura do Inst.	Cotas		Alturas de		Obs.
	Ré	Vante		Terreno	Grade	Cortes	Aterros	
0	2,20		12,20	10,00	8,50	1,50	-	Estat. 10m em 10m
1		2,30		9,90	8,40	1,50	-	
2	1,20	2,50	10,90	9,70	8,30	1,40	-	
3		1,30		9,60	8,20	1,40	-	
4		1,20		9,70	8,10	1,60	-	
4+6		1,20		9,70	8,04	1,66	-	
5	1,00	1,60	10,30	9,30	8,00	1,30	-	
6		1,30		9,00	7,90	1,10	-	
7		1,30		9,00	7,80	1,20	-	
8		1,20		9,10	7,70	1,40	-	

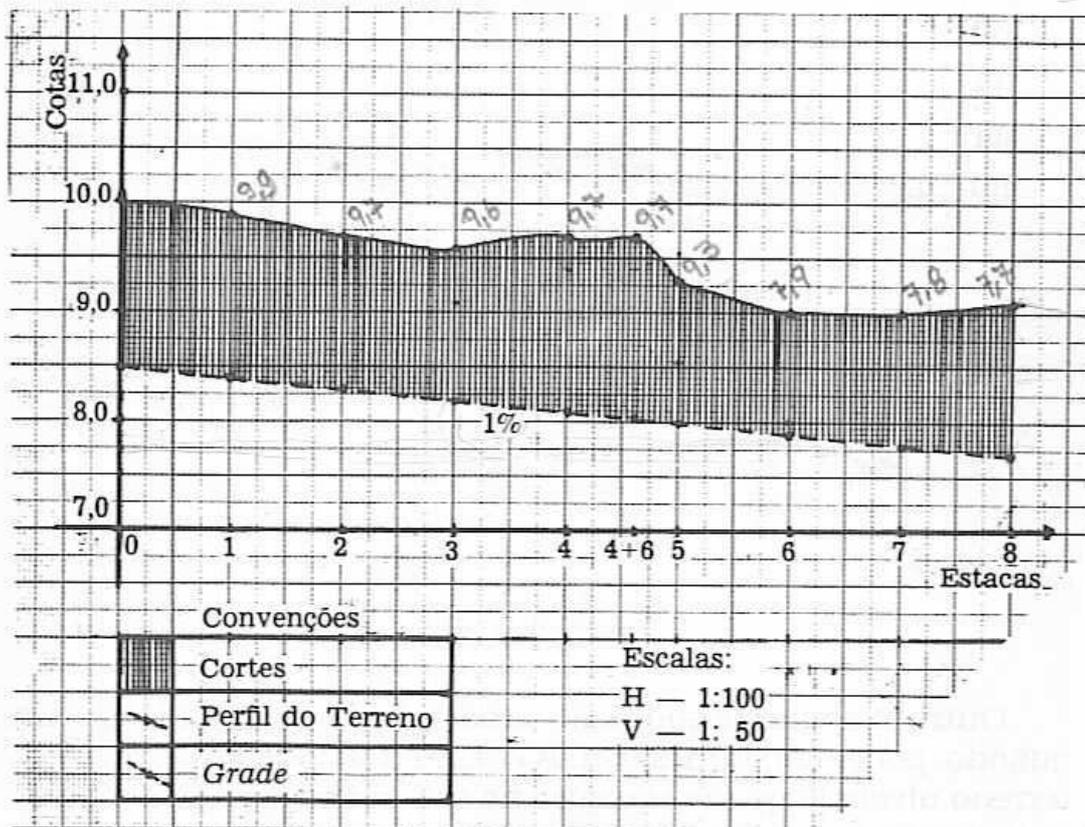


FIGURA 109

**Processo dos pontos cotados**

Consiste apenas em colocar ao lado dos pontos topográficos representados na planta o número indicando a altura relativa (cota) ou absoluta (altitude) de cada ponto, conforme tenham as respectivas alturas sido determinadas, em todo o trabalho topográfico, com

relação a uma superfície de nível arbitrária ou com o nível médio dos mares.

Neste, todos os pontos relativos ao perímetro, bem como os que caracterizam os acidentes internos da propriedade levantada deverão ser devidamente cotados, e daí, o nome do processo. Embora não representando a forma do terreno, constitui este processo o elemento básico para o traçado das curvas de nível por interpolação, principalmente quando se trata de levantamento da área relativamente extensa. Para tal objetivo, considera-se que as distâncias horizontais, que separam os pontos devidamente cotados na planta, representam terrenos com declividades uniformes.

A figura 110 mostra um exemplo de desenho por pontos cotados, com elementos representativos da altimetria do terreno.

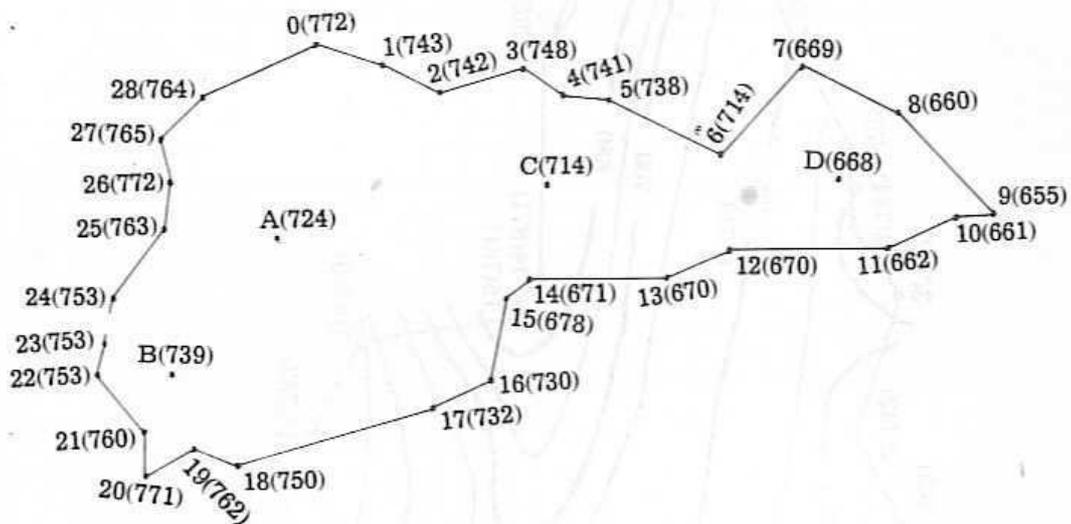


FIGURA 110

### Processo das curvas de nível

Este processo consiste em determinar, na planta, os pontos de passagem das curvas de nível de cotas inteiras.

Os pontos assim determinados são devidamente ligados, de acordo com suas respectivas alturas, a fim de constituir as denominadas curvas de nível que representarão, na planta, as formas do terreno, em seu aspecto geral (figura 111). Assim, entende-se por curvas de nível o lugar geométrico de todos os pontos que tem a mesma cota ou altitude. Estas curvas são determinadas pelas interseções de planos horizontais eqüidistantes com a superfície do terreno, conforme mostra a figura 112.

Dá-se o nome de eqüidistância à distância vertical constante,

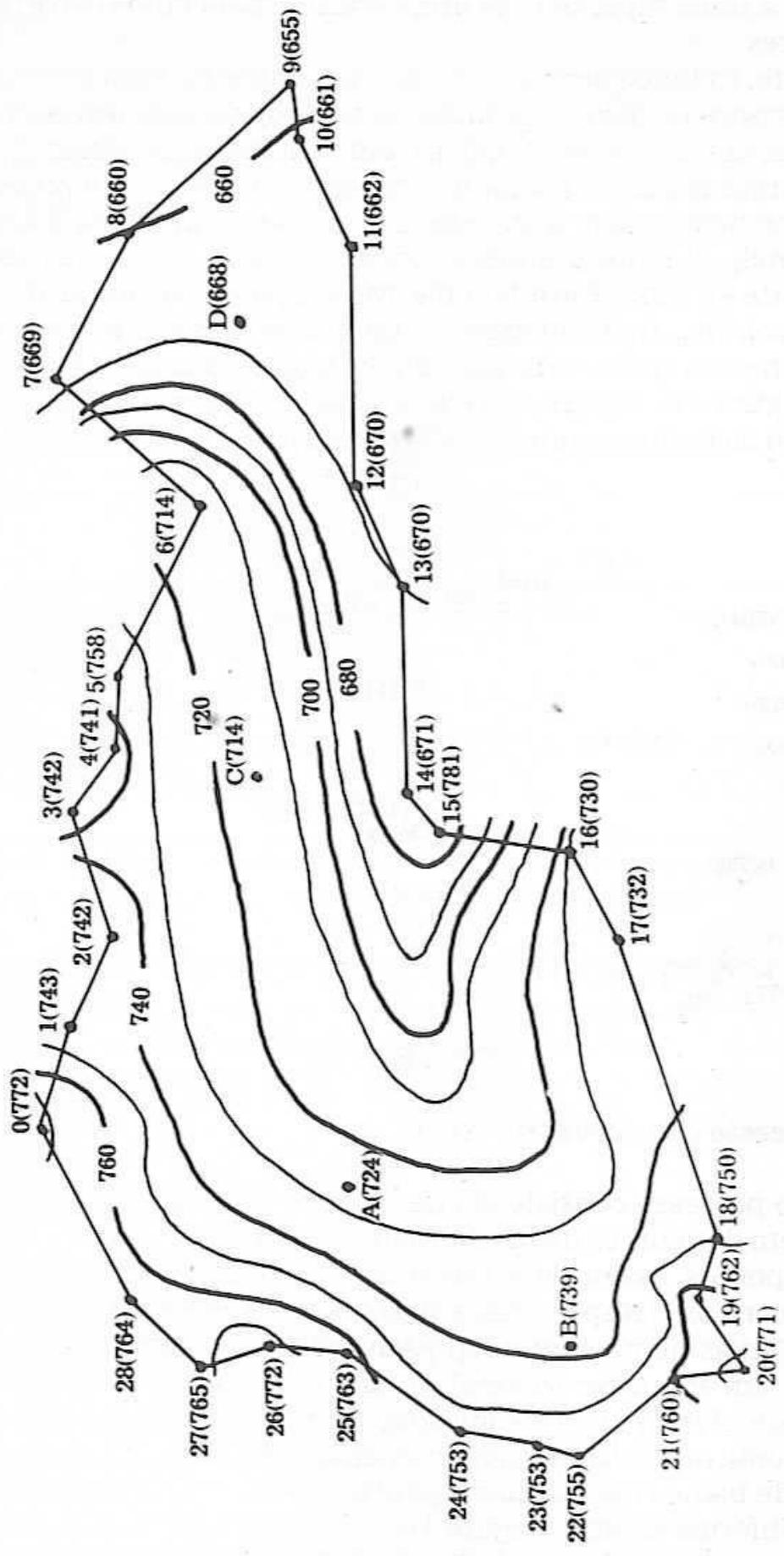


FIGURA 111

entre os planos verticais sucessivos, que determinaram os pontos de passagem das curvas de nível representados na planta. Assim, a equidistância representa as distâncias verticais entre curvas de nível sucessivas.

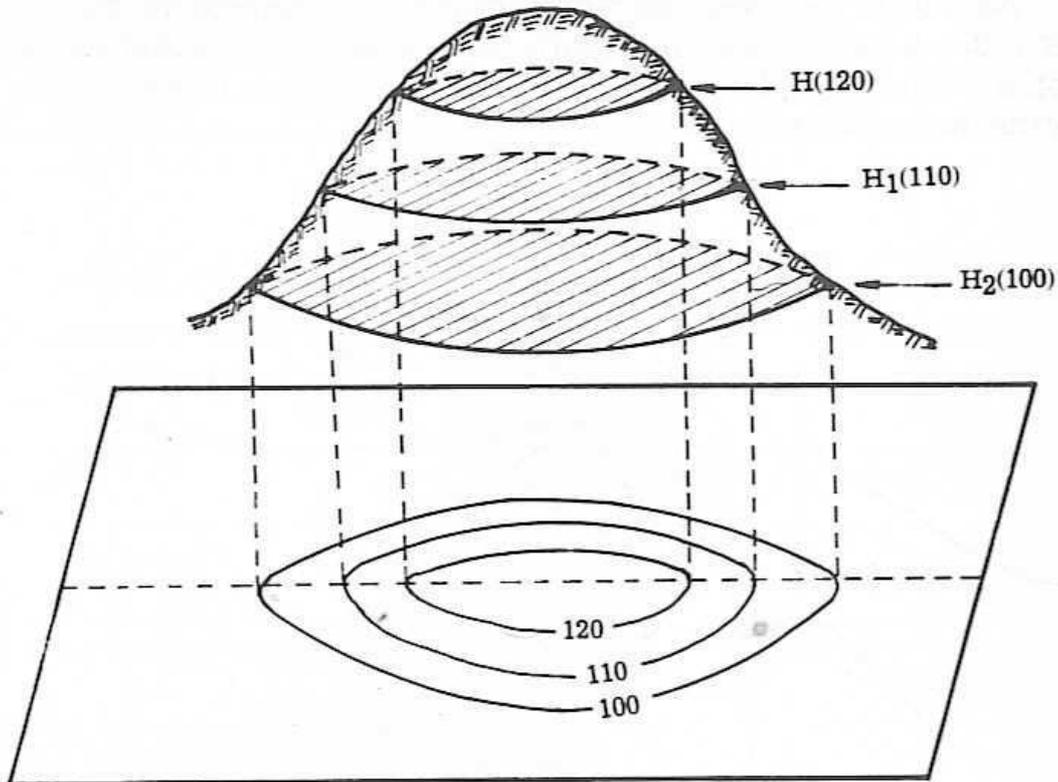


FIGURA 112

A equidistância depende do rigor com que se pretende representar o relevo do terreno e também da escala usada no desenho. Conforme a natureza do trabalho, a equidistância já é pré-fixada, porém, de acordo com a escala do desenho recomendam-se os seguintes valores para equidistância:

Escala	Equidistância
1:500	0,25 a 0,50 m
1:1000	1,00 m
1:2000	2,00 m
1:5000	5,00 m
1:10.000	10,00 m
1:50.000	25,00 m
1:100.000	50,00 m

Em cartas batimétricas, que representam o relevo submarino, a equidistância varia de 1 a 2 metros perto da costa, até atingir

valores de 200 metros.

Para melhor visualizar o entendimento do relevo na planta, deve-se representar com traços mais fortes as curvas mestras que são, geralmente, múltiplas de 5 ou de 10 metros.

As curvas de nível são representadas, de preferência, na cor terra de siena (sépia ou marrom). As escritas correspondentes às cotas altimétricas devem ser assinaladas nas curvas mestras, conforme mostra a figura 113.

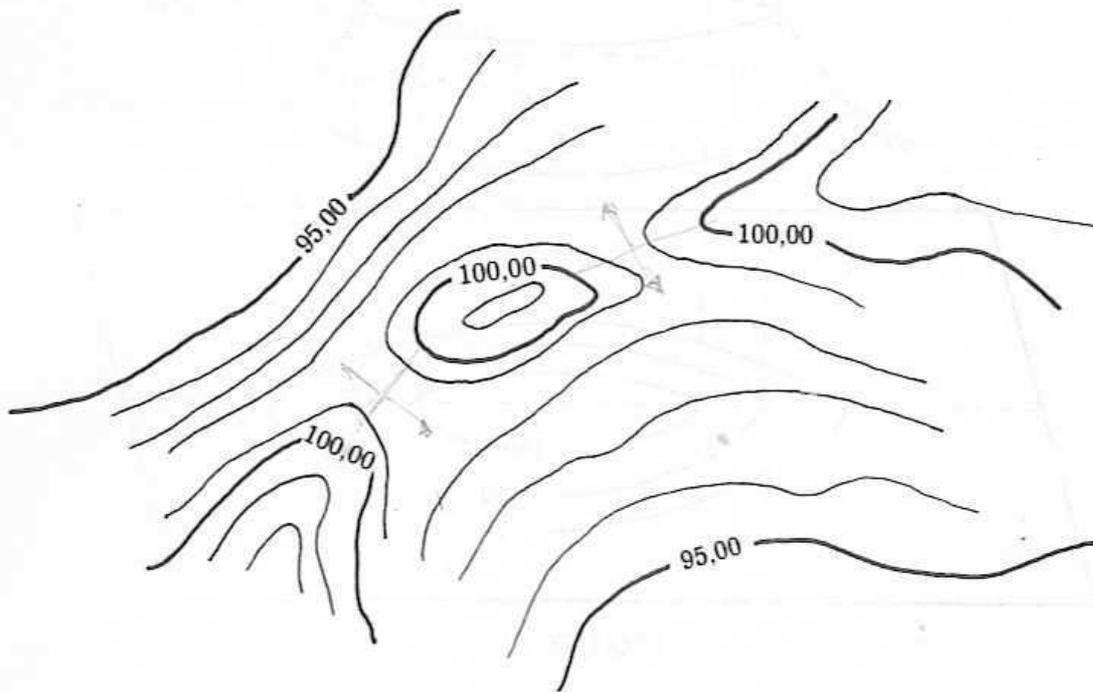


FIGURA 113

Os traçados das curvas de nível nas plantas constitui o processo mais rigoroso e expressivo para representar a forma do modulado de um terreno topograficamente levantado.

A interpretação do relevo assim expresso, na planta, é feita pelas distâncias horizontais que separam as curvas de nível. Assim, se as curvas de nível estão muito afastadas umas das outras, significa que o terreno apresenta topografia suave e, quando muito próximas, trata-se de topografia acidentada, e portanto terreno fortemente inclinado, conforme esclarecem as figuras 114 e 115.

Quando as curvas de nível de cotas maiores envolvem as de cotas menores, configura-se na representação o terreno em forma de uma grota, correspondendo à parte mais unida do terreno, e geralmente, em sua cabeceira, aparece a nascente dos cursos d'água. Porém, quando as curvas de nível de cotas menores são as envolventes, desenha-se na planta a formação de uma linha de espi-

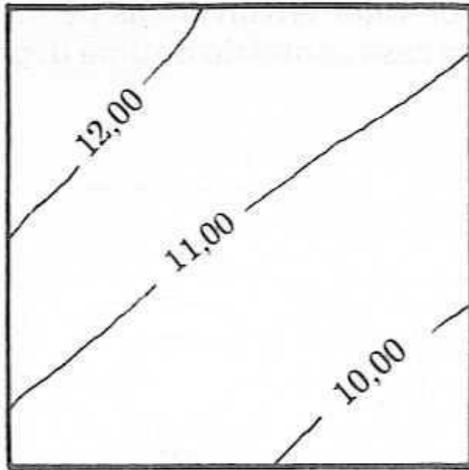


FIGURA 114

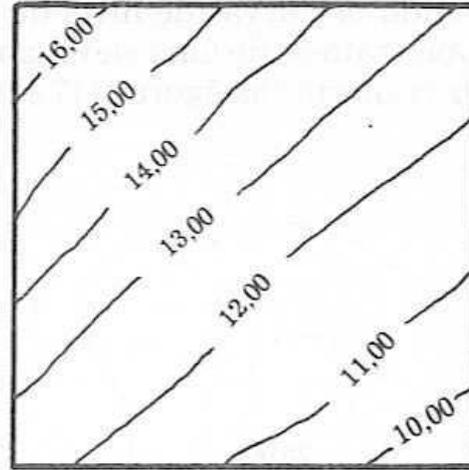


FIGURA 115

gão, também denominada linha de fecho ou divisor de água, conforme a figura 116.

As elevações e depressões isoladas do terreno são distinguidas, graficamente, pelo envolvimento das curvas de nível, isto é,

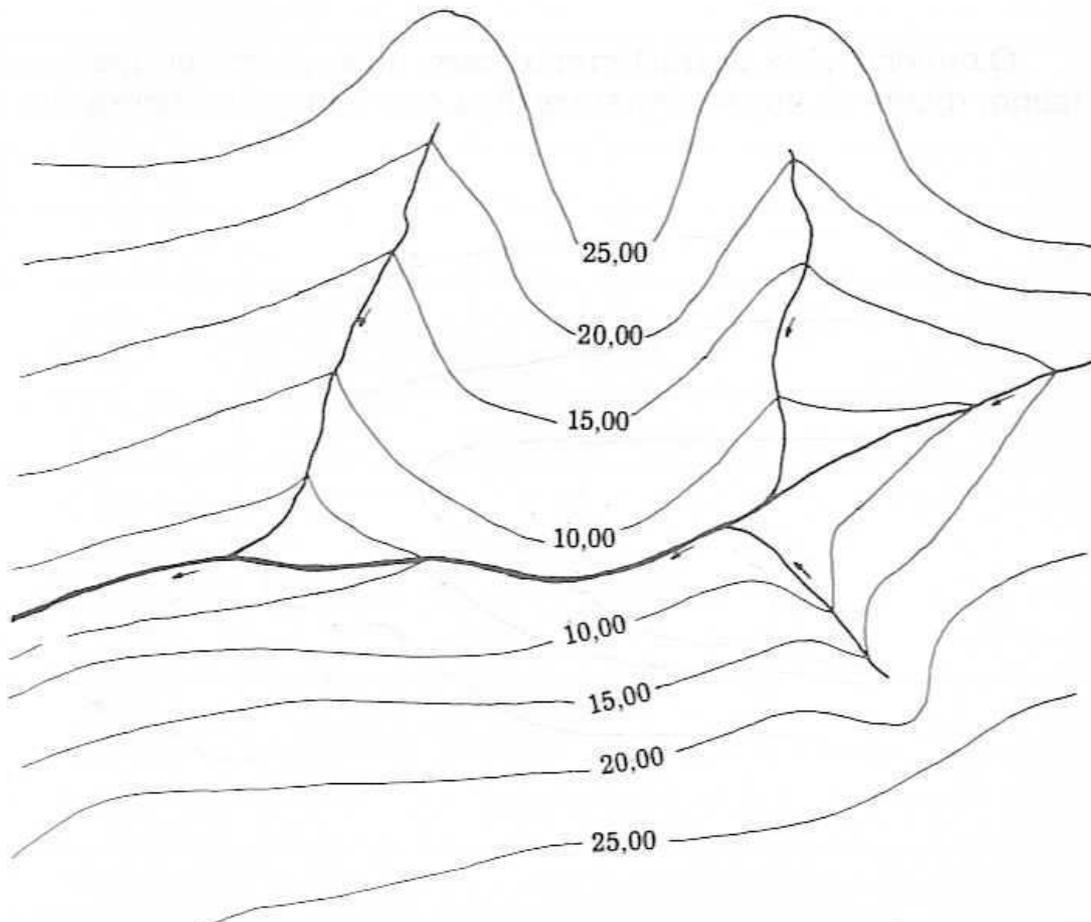


FIGURA 116

quando as curvas de nível de menor valor envolvem as de maior valor, trata-se de uma elevação e, em caso contrário de uma depressão, conforme as figuras 117 e 118.

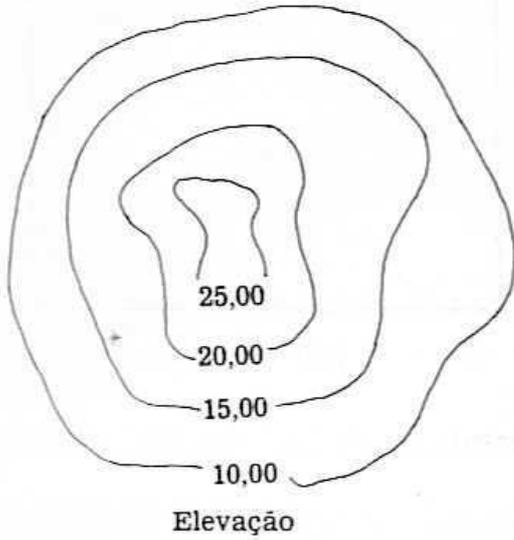


FIGURA 117

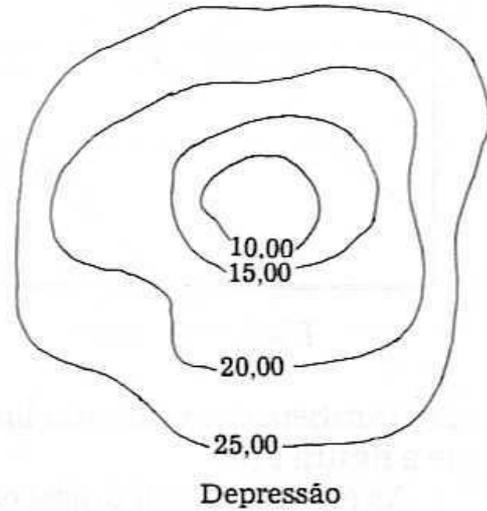


FIGURA 118

O maior declive de um terreno ocorre no local em que aparece a menor distância horizontal, entre duas curvas de nível, figura 119.

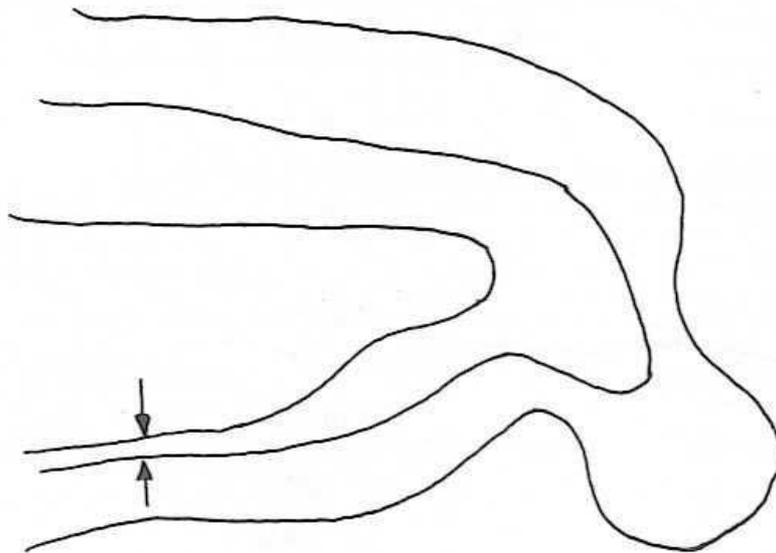


FIGURA 119

## TRAÇADO DAS CURVAS DE NÍVEL

Para obtermos os pontos de passagem das curvas de nível nas plantas, podemos empregar dois métodos a saber:

a) Pela Interpolação:

- pelo cálculo;
- por aproximação;
- gráfica;
- uso de tabela.

b) Partindo-se dos perfis das seções transversais niveladas no terreno, sendo este o processo mais rigoroso e recomendável, em levantamentos de áreas de terrenos relativamente pequenas e com finalidade de atendimento a projetos.

## INTERPOLAÇÃO

Este método é empregado, partindo-se de um desenho cotado. É usado quando se procede a um levantamento planialtimétrico de áreas relativamente extensas.

Do desenho com pontos cotados, partiremos da suposição de que as declividades entre os pontos topográficos sejam constantes. Por meio da figura 120, oriunda de um levantamento planialtimétrico, mostraremos como se procede para traçar curvas de nível através do processo de interpolação pelo cálculo.

### **Interpolação pelo Cálculo**

Seja o desenho com pontos cotados abaixo, que contenha cinco vértices e alguns pontos cotados no interior da área (figura 120).

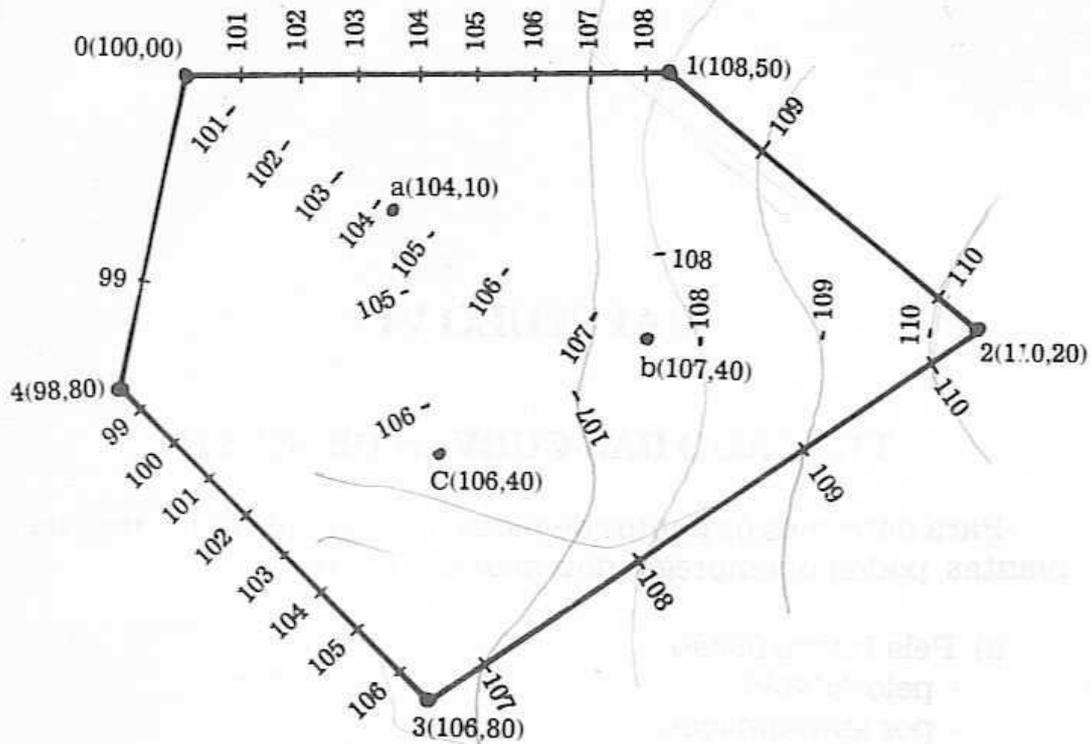


FIGURA 120

Supondo-se que se deseja traçar curvas de nível neste desenho, com equidistância de 1,0m, verificamos que uma das curvas passará exatamente sobre a estaca 0 (zero), uma vez que interessa-nos apenas curvas de cotas denominadas inteiras.

Do vértice 0 (zero) ao vértice 1, existe uma diferença de nível de 8,50m (108,50 – 100,00), e uma distância horizontal de 32,50m. Para subir da cota 100,00 para 108,50, passa-se por uma série de planos intermediários, supondo-se a equidistância de 1m. Estes planos são os de cota 101,00; 102,00; 103,00; 104,00; 105,00; 106,00; 107,00 e 108,00.

Em função dos planos citados, procuraremos determinar, na planta, a distância horizontal entre elas, no intervalo 0-1. Para tal, utiliza-se uma regra de três, como segue:

D	dn
32,50	8,50
x	1,00

$$x = \frac{1,00 \cdot 32,50}{8,50} = 3,82 \text{ m.}$$

Neste caso, para cada metro (eqüidistância) de deslocamento vertical, teremos um deslocamento horizontal de 3,82m. Como a planta foi feita na escala de 1:500, teremos um comprimento gráfico correspondente a  $3,82 \cdot 0,2 = 0,76\text{cm}$ .

Marcando-se, no desenho, a partir do vértice 0 (zero) a distância horizontal de 0,76cm, teremos o ponto de passagem, na planta, da curva de 101,00m. Marcando-se, a partir do ponto de passagem da curva 101,00m mais 0,76cm, teremos o ponto de passagem da curva 102,00 e assim sucessivamente, até a estaca 1. Após a marcação de todos os pontos de passagem das curvas teremos uma série de pontos cotados no intervalo 0-1, todos com cotas inteiras.

De maneira análoga procedemos para determinar os pontos de cotas inteiras, no intervalo 1-2. Verificamos, por exemplo, que a  $dn(1-2)$ , é de 1,70m e a distância horizontal de 27,00m. Dentro do alinhamento 1-2, pode-se notar que se encontrarão as cotas 109,00 e 110,00, uma vez que nos interessam apenas cotas inteiras. O deslocamento horizontal será dado por:  $x = \frac{1,00 \cdot 27,00}{1,70} = 15,882\text{m}$  (no campo) e na planta  $15,882 \cdot 0,2 = 3,17\text{ cm}$ . Voltando-se ao desenho, notamos que a cota do vértice 1 (um) é 108,50m e a próxima cota que nos interessa é de 109,00m, isto é, com uma distância vertical de 0,50m apenas. Se para 1,00m o intervalo horizontal é de 3,17cm, para 0,50m será:  $x = \frac{3,17 \cdot 0,50}{1,00} = 1,58\text{cm}$ , e a próxima curva estará 1,58cm acima do vértice 1 (um). A partir daí, a distância horizontal será de 3,17cm.

De maneira análoga operamos com todos os lados do polígono.

Determinados todos os pontos de passagem das curvas de nível, no perímetro, podemos determinar as posições, em relação a um ponto do perímetro e um ponto cotado, no interior da área, ou mesmo entre dois pontos cotados quaisquer.

No exemplo que segue procuramos determinar as posições de passagem das curvas entre o vértice 0 (zero) e o ponto cotado «a». A  $dn$  entre 0 (zero) e «a» é de 4,10m, e a distância horizontal igual a 16,50m. Eqüidistância, já mostrada, igual a 1,0m. O deslocamento será dado por:  $x = \frac{1,0 \cdot 16,5}{4,10} = 4,024\text{m}$  (no campo) e na planta será  $4,024 \cdot 0,2 = 0,80\text{cm}$ , marcados a partir de zero.

Procedemos de maneira análoga com os outros alinhamentos internos, quantos se desejar. Quanto maior for o número de alinhamentos utilizados, mais bem representado será o relevo, considerando-se, é claro, um terreno com declividades regulares.

Se, por acaso, o terreno é muito irregular, recomenda-se levantar maior número de minúcias, durante as operações topográficas de campo.

Os alinhamentos marcados até agora, em nosso exemplo, indicam sempre diferenças de nível positivas. Se, por acaso, o alinhamento possui dn negativa, o procedimento será o mesmo para determinações dos deslocamentos, não se considerando os sinais das diferenças de nível.

Marcados todos os pontos de passagem das curvas, na planta, o próximo passo será ligar aqueles de mesma cota (altitude) e teremos o desenho com as suas curvas de nível, mostrando-nos todos os acidentes do terreno (elevações e depressões).

Na figura 121 temos a mesma planta da figura 120, já com as curvas de nível traçadas.

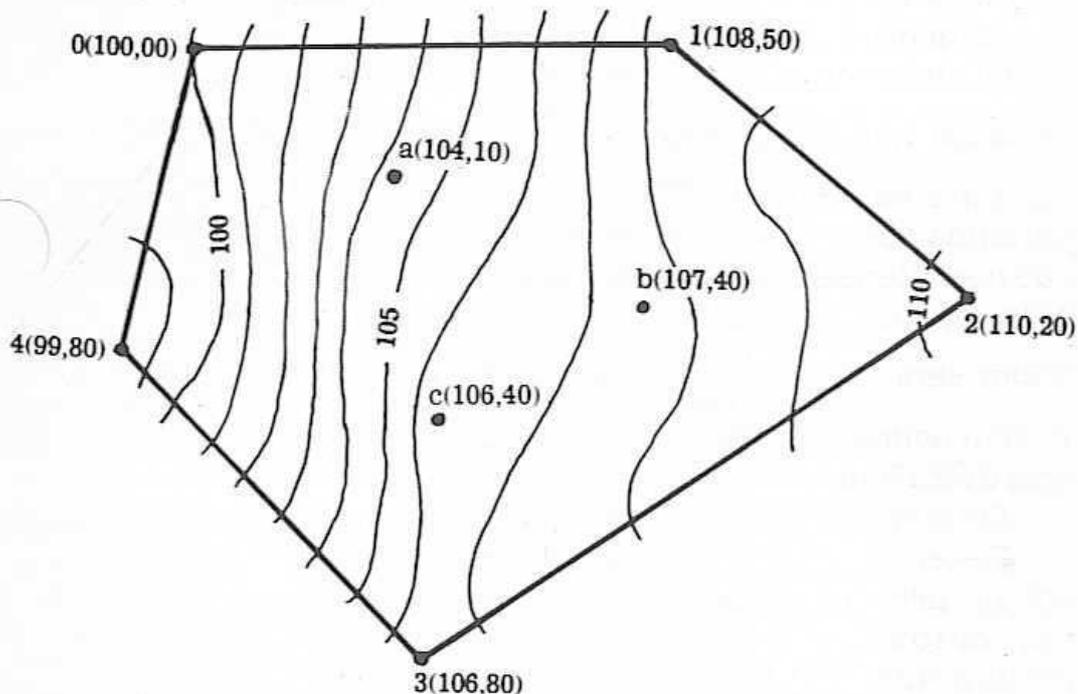


FIGURA 121

### Interpolação por aproximação

Se, ao traçar as curvas de nível, o trabalho não exigir maiores rigores na representação do relevo, a interpolação pode ser feita por aproximação, marcando-se, mais ou menos, os pontos de passagem das curvas de nível, sobre os alinhamentos, na planta. Este processo, quando o operador está bem treinado, aproxima bastante a representação do relevo da área levantada.

### Interpolação gráfica

Do alinhamento 0-1, por exemplo, onde as cotas de 0 (zero) e de 1

são, respectivamente, 100,00m e 108,50m, marcamos na planta, a partir de 0 (zero), um segmento O-A, formando com ele um ângulo qualquer. Sobre o segmento colocamos o valor da diferença de nível entre os pontos 0 (zero) e 1, figura 122.

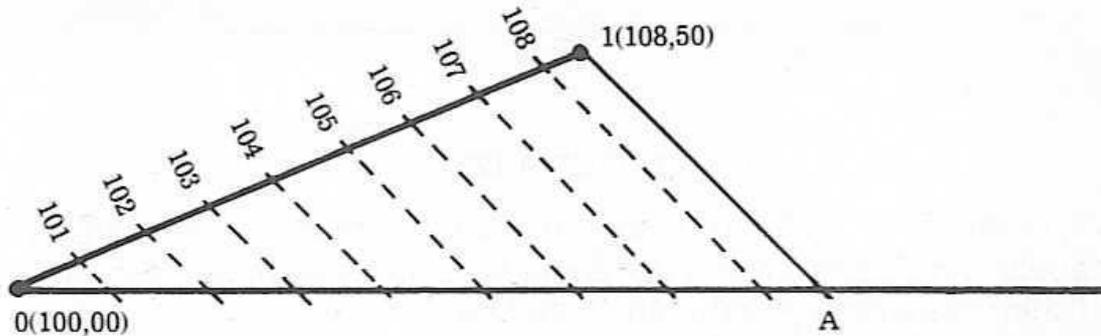


FIGURA 122

Ligando o ponto A ao ponto 1, e dividindo-se o segmento O-A proporcionalmente, em função da eqüidistância (1m), traçamos paralelas à A-1 em que ligamos as divisões proporcionais do segmento ao alinhamento 0-1, tendo-se nele marcadas as posições de passagem das curvas de nível.

Procedemos do mesmo modo com todos os outros lados do polígono e também com os alinhamentos internos.

Outro exemplo será mostrado, partindo-se de uma cota não inteira como no alinhamento 1-2 da figura 120. A cota de 1 é 108,50 e de 2 é 110,20 e  $dn = 1,70m$ .

Traçando-se o segmento 1-B, ligando-se B a 2 e dividindo-se o segmento 1-B proporcionalmente, em função da eqüidistância, teremos, ligando os pontos do segmento 1-B ao alinhamento 1-2, como exemplo anterior, os pontos de passagem das curvas de nível. O primeiro intervalo foi menor, porque corresponde a 0,5 da eqüidistância e o último a 0,20 da eqüidistância (figura 123).

### Uso de tabelas

Quando estamos realizando um levantamento topográfico medimos, no campo, os ângulos de inclinação do terreno de todos os alinhamentos. Obtidos estes ângulos, e utilizando-se tabelas próprias (página 131) podemos determinar a distância horizontal, para cada alinhamento, entre as curvas de nível. Se o ângulo de inclinação (ângulo vertical) for, por exemplo,  $5^{\circ}30'$  a distância horizontal entre as curvas será de 10,39m, para uma eqüidistância de 1,0m.

Na figura 124, temos um alinhamento AB com 6,20m e diferença de nível igual a 5,97m correspondente a um ângulo vertical de  $5^{\circ}30'$  ;

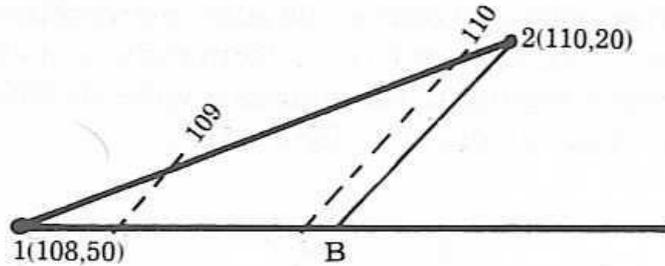


FIGURA 123

as cotas de A e B são, respectivamente, 100,00m e 105,97m. Na tabela, verificamos que a distância horizontal entre as curvas é de 10,39m, para uma eqüidistância de 1,0m.

Supondo-se que o desenho foi feito na escala de 1:500 a distância entre curvas, no desenho, será:

$$dh = 10,39 \cdot 0,2 = 2,078\text{cm.}$$

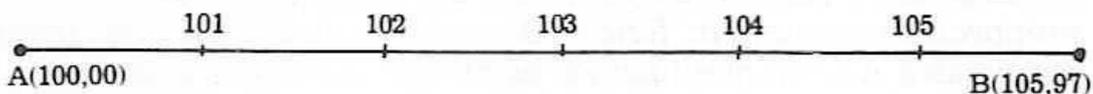


FIGURA 124

Marcando-se 2,078cm sobre o alinhamento AB, partindo-se de A, teremos os pontos de passagem das curvas de nível com eqüidistância de 1,0m.

Outro exemplo pode ser mostrado na figura 125, em que o alinhamento BC, com uma distância entre B e C de 56,0m, ângulo vertical medido no campo com  $10^{\circ}00'$  a dn, entre os pontos, será de 9,52m, a cota de B é de 105,97m e de C com 115,49m.

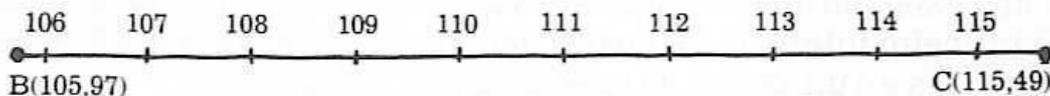


FIGURA 125

Entrando-se na tabela da página 131, verificamos que a distância horizontal entre curvas de nível será de 5,68m, para a eqüidistância 1,0m.

Se a escala do desenho é 1:500, a distância entre curvas, no desenho, será  $dh = 5,68 \cdot 0,2 = 1,172\text{cm}$ .

Verificamos, por outro lado, que a primeira curva, logo acima de B, é a de cota igual a 106,00m, uma vez que nos interessam apenas curvas de cotas redondas e com eqüidistância de 1,0m. Neste caso, a diferença entre 106,00m e 105,97m é igual a 0,03m, o que nos dará a

Tabela para Distâncias Horizontais das Curvas de Nível:

Inc. Terr.	Eqüidistância		Inc. Terr.	Eqüidistância		Inc. Terr.	Eqüidistância	
	1 m	2 m		1 m	2 m		1 m	2 m
0°30'	114,60	229,19	15°00'	3,74	7,47	29°30'	1,78	3,54
1°00'	57,30	114,59	15°30'	3,61	7,22	30°00'	1,74	3,47
1°30'	38,20	76,39	16°00'	3,50	6,98	30°30'	1,71	3,40
2°00'	28,65	57,28	16°30'	3,38	6,76	31°00'	1,67	3,34
2°30'	22,91	45,81	17°00'	3,28	6,55	31°30'	1,64	3,27
3°00'	19,09	38,17	17°30'	3,18	6,35	32°00'	1,61	3,21
3°30'	16,36	32,71	18°00'	3,09	6,16	32°30'	1,58	3,15
4°00'	14,31	28,61	18°30'	3,00	5,99	33°00'	1,55	3,09
4°30'	12,72	25,42	19°00'	2,91	5,82	33°30'	1,52	3,03
5°00'	11,44	22,87	19°30'	2,83	5,66	34°00'	1,49	2,97
5°30'	10,39	20,78	20°00'	2,76	5,50	34°30'	1,46	2,92
6°00'	9,52	19,04	20°30'	2,68	5,36	35°00'	1,44	2,87
6°30'	8,79	17,55	21°00'	2,61	5,22	35°30'	1,41	2,81
7°00'	8,15	16,30	21°30'	2,55	5,08	36°00'	1,39	2,76
7°30'	7,60	15,20	22°00'	2,48	4,96	36°30'	1,36	2,71
8°00'	7,12	14,24	22°30'	2,42	4,84	37°00'	1,34	2,66
8°30'	6,70	13,39	23°00'	2,36	4,72	37°30'	1,31	2,62
9°00'	6,32	12,63	23°30'	2,31	4,61	38°00'	1,29	2,57
9°30'	5,98	11,96	24°00'	2,26	4,50	38°30'	1,28	2,52
10°00'	5,68	11,35	24°30'	2,20	4,40	39°00'	1,24	2,47
10°30'	5,40	10,80	25°00'	2,15	4,30	39°30'	1,22	2,44
11°00'	5,15	10,30	25°30'	2,11	4,20	40°00'	1,20	2,39
11°30'	4,92	9,84	26°00'	2,06	4,11	40°30'	1,18	2,35
12°00'	4,71	9,42	26°30'	2,01	4,02	41°00'	1,16	2,31
12°30'	4,52	9,03	27°00'	1,97	3,93	41°30'	1,14	2,27
13°00'	4,34	8,67	27°30'	1,93	3,84	42°00'	1,12	2,23
13°30'	4,17	8,34	28°00'	1,89	3,75	42°30'	1,10	2,19
14°00'	4,02	8,03	28°30'	1,85	3,69	43°00'	1,08	2,16
14°30'	3,88	7,74	29°00'	1,81	3,62	43°30'	1,06	2,12

eqüidistância entre o ponto B e a curva de 106,00m. A distância horizontal entre B e 106,0m será:

$$dh (B - 106,0) = \frac{0,03 \cdot 1,172}{1} = 0,3516\text{cm.}$$

Marcando-se 0,3516cm, a partir de B, teremos o ponto de passagem da curva de 106,0m, e daí em diante a distância entre curvas, no desenho, será de 1,172cm.

De modo semelhante aos dois exemplos dados, podem ser calculadas as distâncias horizontais para todos os lados do polígono,

e também para alinhamentos internos, procedendo-se de maneira análoga. Após determinados todos os pontos de passagem das curvas, unimos os pontos de mesma cota ou altitude, e teremos o desenho com curvas de nível.

# **SISTEMATIZAÇÃO DE TERRENOS**

## **INTRODUÇÃO**

Sistematizar um terreno é uma operação que consiste em colocar a sua superfície em planos uniformes, com declividades adequadas de acordo com cada tipo de projeto a ser executado.

Uma sistematização pode ser feita, quando se quer construir terreiros para secagens, campos de futebol, praças de esportes, edifícios ou mesmo uma área em que se deseja fazer uma irrigação bem planejada. Para cada um destes casos teremos uma declividade para o plano considerado, de acordo com as especificações técnicas do projeto proposto.

De acordo com o projeto que se tem em mãos e, após realizados os estudos preliminares da área a ser sistematizada, passamos aos trabalhos de campo e escritório, necessários à execução da obra, que estão relacionados abaixo.

## **TRABALHOS NECESSÁRIOS**

### **Topográficos de campo**

- a — estaqueamento;
- b — nivelamento;
- c — contranivelamento.

### **Topográficos de escritório**

- a — cálculo das cotas do terreno;
- b — traçado das curvas de nível;
- c — determinação das declividades;
- d — de terminação das cotas do grade;
- e — determinação das alturas de corte e aterros;
- f — balanceamento dos cortes e aterros;
- g — cálculo dos volumes de cortes.

### **De execução da obra no campo**

- a — transferência das alturas de cortes e aterros para o campo;
- b — execução mecânica da obra, utilizando-se máquinas próprias.

## **Trabalhos topográficos de campo**

### *Estaqueamento*

Todo terreno deve ser estaqueado, em forma de quadrículas. As quadrículas podem ser marcadas com teodolitos ou esquadro do agrimensor, e o encontro dos alinhamentos definirá um ponto topográfico, o qual receberá um piquete (figura 126).

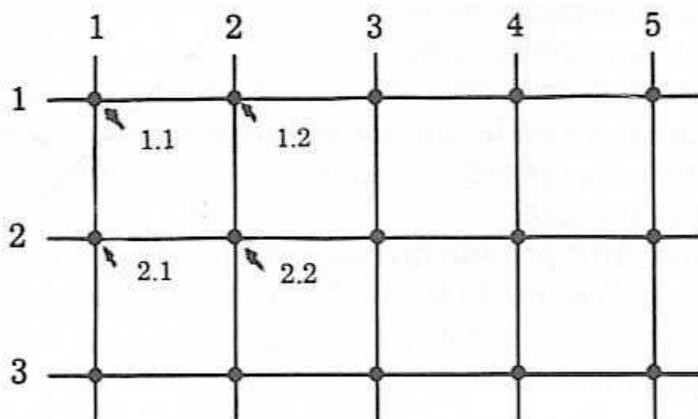


FIGURA 126

Cada piquete receberá um número dado, em função dos alinhamentos horizontais e verticais (figura 126). Desta maneira, podemos dizer que a leitura, cota, valor do corte ou aterro nas estacas 1.1; 1.2; 2.1; 2.2 etc. terão um valor  $x$  qualquer.

As quadrículas, representadas pelos piquetes, possuem sempre as mesmas áreas, uma vez que o estaqueamento deve ser feito com espaçamentos constantes entre estacas. Este espaçamento é recomendado, em função do projeto. Podemos afirmar que quanto menor for o espaçamento melhor será o resultado final na determinação dos volumes de cortes e aterros. De outro lado, verificamos um maior gasto de piquetes, estacas e um excessivo aumento de tempo com operações de campo e escritório, quando diminuirmos o espaçamento entre estacas, além de dificultar muito a execução final da obra, pelas máquinas e implementos de nivelamento mecânico.

### ***Nivelamento***

Após o estaqueamento de toda área passamos ao nivelamento das estacas definidas pelo cruzamento dos alinhamentos horizontais e verticais.

As operações podem ser feitas, utilizando-se qualquer um dos processos de nivelamento existentes, isto é, nivelamento geométrico, simples ou composto, trigonométrico, estadimétrico etc., dependendo apenas da precisão desejada nos trabalhos.

***Nivelamento geométrico simples.*** Determinada área só permite ser nivelada, utilizando-se o nivelamento geométrico simples, quando, de uma única posição de centralização do instrumento, podemos realizar leituras de mira, em todos os pontos estaqueados. Para isto a área deve ser relativamente plana e de tamanho não muito grande. Neste caso este tipo de nivelamento é recomendado apenas para pequenos projetos.

As anotações das leituras de mira podem ser feitas de duas maneiras. Uma delas será utilizando-se cadernetas, como no exemplo da página 136, supondo-se um nivelamento simples realizado na área da figura 126.

Outra maneira de se anotar será quadriculando-se, em determinada escala, uma folha de papel, representativa da área a ser nivelada, e no cruzamento das linhas horizontais com as linhas verticais operar de acordo com a figura 127.

***Nivelamento geométrico composto.*** Se, por acaso, a área é relativamente grande e um pouco mais acidentada, torna-se necessário fazer um nivelamento geométrico composto.

As leituras de mira podem ser anotadas do mesmo modo em que são anotadas no nivelamento geométrico simples, preocupando-se apenas em grifar a primeira leitura feita, quando se instala o instrumento. Esta primeira

leitura é denominada leitura de ré, e toda vez que mudamos o instrumento de posição, fazemos uma primeira leitura, que é a leitura de ré. A leitura de ré definirá o que denominamos altura do instrumento, a qual servirá de base para o cálculo das cotas dos pontos visados, enquanto o instrumento permanecer naquela posição.

O motivo da utilização do nivelamento geométrico composto é justificar as operações em terrenos em que uma centralização apenas do instrumento não permite visadas de todos os pontos estaqueados. Quando a área é muito grande e relativamente acidentada, de uma única posição não é possível visar a mira, pois acidentes do terreno podem impedir esta visada, ou erros de leituras podem ser verificados, por causa das longas distâncias de visadas.

De acordo com as observações feitas acima, este nivelamento é feito, dividindo-se a área em várias subáreas e, com nivelamentos geométricos simples de cada subárea amarradas umas às outras, nivelaremos toda a área. Com o instrumento colocado numa posição, nivela-se uma subárea até onde for possível visar pontos estaqueados, sem cometer erros de leitura. A primeira leitura, como já se falou, será uma leitura de ré. Quando já não se pode mais visar nenhum ponto, mudamos o instrumento de posição para nivelar outra subárea. A primeira leitura, feita com o instrumento nesta posição, será uma leitura de ré e deve ser feita num ponto qualquer em que já exista uma leitura de mira obtida com o instrumento em posição anterior, a qual permitirá amarrar esta subárea à subárea anterior. Operando-se de acordo com o explicado acima, podem-se nivelar todas as subáreas seguintes, tantas quantas forem necessárias.

#### CADERNETA DE ANOTAÇÕES

Estacas	Leituras de Mira	Altura do Instrumento	Cotas do Terreno	Cotas do Grade	Alturas de		Obs.
					Cortes	Aterros	
1.1.							
1.2.							
1.3.							
1.4.							
1.5.							
2.1.							
2.2.							
2.3.							
2.4.							
2.5.							
3.1.							
3.2.							
3.3.							
3.4.							
3.5.							



FIGURA 127

Observamos que se devem tomar devidos cuidados ao anotar as leituras de ré, para evitar erros na amarração, e determinação das cotas da subárea seguinte.

Supondo-se um terreno, em que foram necessárias duas centralizações do instrumento, procederíamos, por exemplo, como na figura 128.

Com o nível na posição «A», visamos a mira nas estacas 1.1; 1.2; 2.1; 2.2; 3.1 e 3.2. A leitura feita em 1.1 será uma leitura de ré.

Supondo-se que da posição «A» não foi possível visar a mira nas outras estacas, mudamos o instrumento para uma posição «B» qualquer, e daí faremos as visadas de 3.2; 1.3; 1.4; 2.3; 2.4; 3.3 e 3.4. A primeira leitura, feita em 3.2, será de ré, e servirá para determinação da altura do instrumento para a segunda subárea, e amarração desta à primeira.

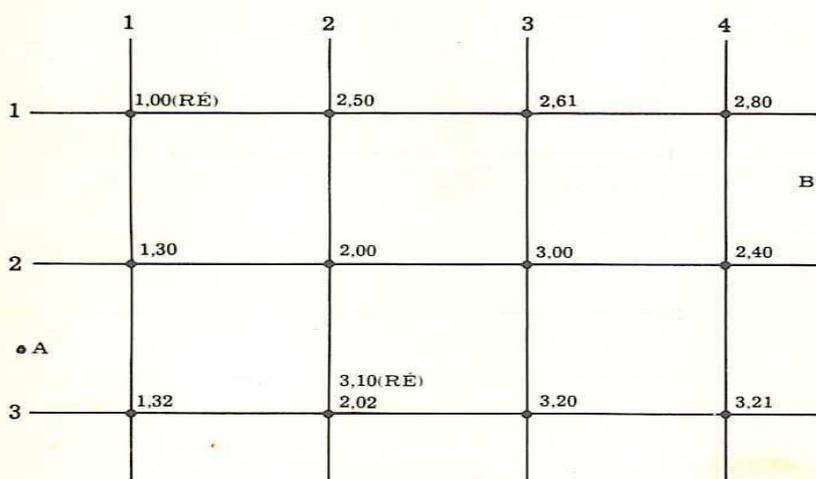


FIGURA 128

### *Contranivelamento*

O Contranivelamento é utilizado para conferência do nivelamento. Para isto utilizamos o mesmo processo do nivelamento. Se, por exemplo, o nivelamento foi feito, usando-se o nivelamento geométrico composto, o Contranivelamento será feito, usando-se o nivelamento geométrico composto.

## **Trabalhos topográficos de escritório**

### *Cálculo das cotas do terreno*

Quando se deseja sistematizar um terreno, pode-se utilizar uma série de métodos de cálculos, em que os principais podem ser citados como sendo o método do plano único, dos quadrados mínimos, o do centróide, o dos perfis etc. Qualquer um destes métodos, além de nos fornecer as cotas calculadas para sistematização (cotas do *grade*), permite-nos determinar as declividades que melhor se adaptem ao terreno, alturas e volumes de cortes e aterros.

Qualquer que seja o método utilizado, necessário se torna obter as cotas reais do terreno. Após o nivelamento e de posse das leituras de mira em cada estaca do terreno, passamos ao cálculo das cotas para cada ponto, utilizando-se as fórmulas:

$$T = M + r$$

$$\text{e } H_{ij} = T - v_{ij}$$

em que:

T = altura do instrumento (m);

M = cota arbitrária dada ao primeiro ponto (m);

r = leitura de ré (m);

$H_{ij}$  = cotas dos pontos topográficos no terreno (m);

$v_{ij}$  = leituras de vante, em cada ponto (m);

i = coeficiente das linhas;

j = coeficiente das colunas.

***Determinação das cotas do terreno no nivelamento geométrico simples.*** Após o nivelamento da área a ser sistematizada, com todas as leituras de mira já registradas, passamos à determinação das cotas do terreno, para cada ponto topográfico. A cota do primeiro ponto deverá ser arbitrária e permitirá calcular a altura do instrumento e as cotas dos outros pontos. No nivelamento geométrico simples, uma única altura do instrumento permite-nos determinar as cotas de todos os pontos visados, utilizando-se as equações anteriores para T e  $H_{ij}$ .

***Determinação das cotas do terreno no nivelamento geométrico composto.*** Na realidade, quando estamos operando com um nivelamento geométrico composto, estamos trabalhando com uma série de nivelamentos geométricos simples, amarrados uns aos outros. Neste caso, a diferença entre a determinação da cota do terreno está localizada apenas quanto à utilização da cota arbitrária, a partir da segunda subárea. Para a primeira subárea, a primeira cota será realmente arbitrária, e para as outras glebas, a cota utilizada na determinação da altura do instrumento T será a cota determinada com a altura T anterior, no ponto em que foi feita a leitura de ré, com o aparelho na segunda posição. Desta maneira, todas as subáreas ficarão amarradas entre si.

### Traçado das curvas de nível

Traçando-se curvas de nível poder-se-ão identificar as elevações e depressões do terreno, assim como ter, mais ou menos, uma visão do movimento de terra necessário para se fazer a sistematização proposta.

Com as cotas já determinadas e de posse do desenho em escala, da área estaqueada, mostrando-nos as linhas «i» e colunas «j», anotaremos cada cota no cruzamento correspondente destas linhas e colunas. Escolhemos determinada equidistância  $e$ , em função dela e das cotas, traçamos as curvas de nível da área em causa.

Na figura 129, temos determinada área com 4 linhas e 5 colunas, as cotas do terreno e uma equidistância de 0,25m. No exemplo, pode-se verificar que existe uma pequena depressão próxima ao ponto 1.3 e uma elevação nas imediações do ponto 4.3.

Quanto ao movimento de terras, falaremos posteriormente.

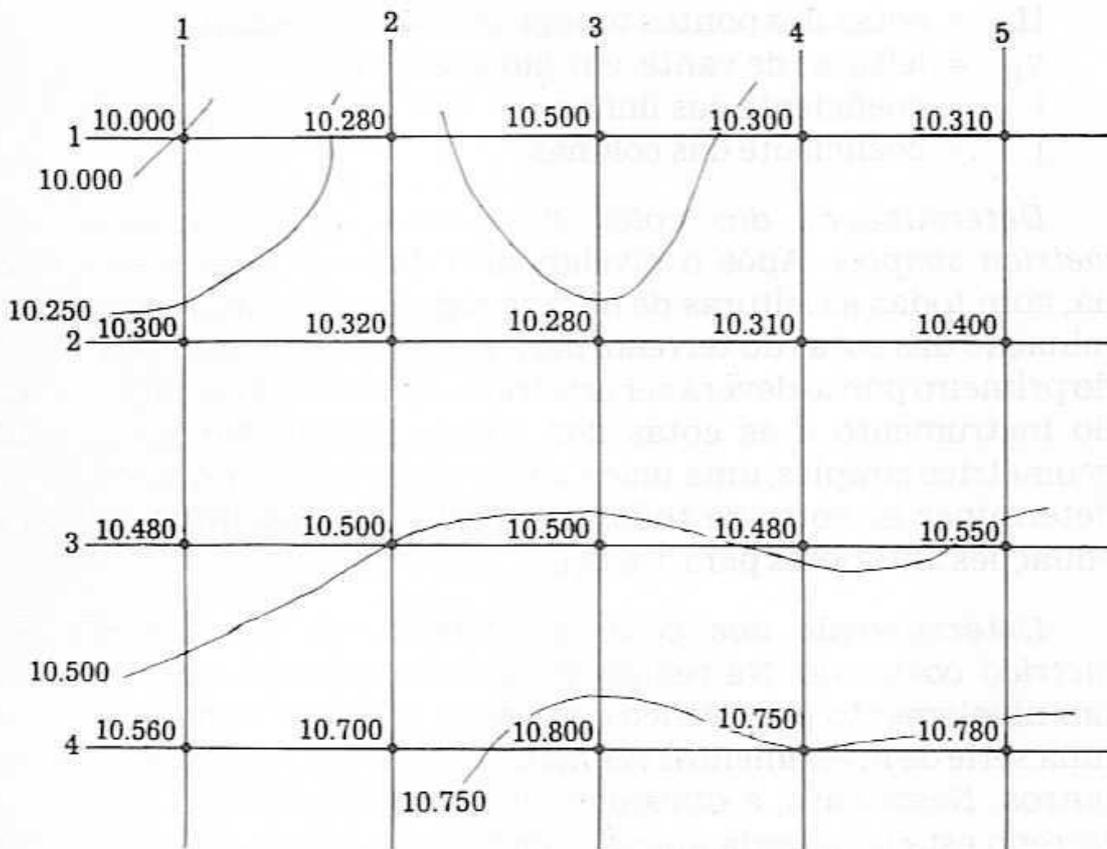


FIGURA 129

### Determinação das declividades

Dependendo do projeto a ser executado, as declividades, na direção das linhas e na direção das colunas, podem ser nulas, preestabelecidas ou as que melhor se adaptem à conformação do terreno.

Se, por exemplo, estamos sistematizando um terreno para construção de um terreiro que será utilizado para secagem de café, este deverá receber certa declividade que permita a sua drenagem natural, após uma chuva, mas, por outro lado, esta declividade não deve ser muito grande porque o café pode rolar para as partes mais baixas do terreiro.

Quando as declividades são pré-fixadas, passamos diretamente ao cálculo das cotas do *grade*. No caso de

se desejar sistematizar com as declividades que melhor se adaptem ao terreno, mostraremos as fórmulas utilizadas no método de cálculo da sistematização denominado «método do plano único», a nosso ver o de maior facilidade no manejo, sendo:

$$IY = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n \cdot (i - \bar{H}_i) - 6 \cdot (n + 1) \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \bar{H}_i}{(n - 1) \cdot n \cdot (n + 1)}$$

$$IX = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^m \cdot (j - \bar{H}_j) - 6 \cdot (m + 1) \cdot \sum_{j=1}^m \cdot \bar{H}_j}{(m - 1) \cdot m \cdot (m + 1)}$$

em que:

IY = declividade do terreno, na direção das colunas (m/m);

IX = declividade do terreno, na direção das linhas (m/m);

i = já definido;

j = já definido;

n = número total de linhas;

m = número total de colunas;

$\bar{H}_i$  = cota média das linhas (m);

$\bar{H}_j$  = cota média das colunas (m).

### *Determinação das cotas do grade*

As cotas do *grade* são de grande importância no projeto, uma vez que indicarão as alturas dos pontos, após a sistematização do terreno. São determinadas em função das declividades, de uma cota denominada «cota da origem», posição e cota do centróide.

A cota do centróide que é uma média de todas as cotas do terreno é dada pela fórmula que se segue:

$$H_c = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^m \cdot H_{ij}}{N}$$

Sendo:

$H_c$  = cota do centróide (m);

$i, j, n$  e  $m$  = já definidos;

$N$  = número total de estacas.

Para a posição do centróide, utilizamos as fórmulas:

· Na direção das colunas:

$$P_Y = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot (i \cdot m)}{N}$$

· Na direção das linhas:

$$P_X = \frac{\sum_{j=1}^m \cdot (j \cdot n)}{N}$$

Sendo:

$P_Y$  = posição do centróide, na direção das colunas;

$i, m$  e  $N$  = já definidos;

$P_X$  = posição do centróide, na direção das linhas;

$j, n$  e  $N$  = já definidos.

Quanto à cota da origem, que pode ser de um ponto qualquer, utilizamos a fórmula:

$$a = H_c - (I_Y \cdot P_Y) - (I_X \cdot P_X)$$

Sendo:

$a$  = cota da origem (m);

$H_c, I_Y, P_Y, I_X$  e  $P_X$  = já definidos.

Em função das fórmulas mostradas, podemos agora determinar as cotas do *grade*, para todos os pontos, dadas por:

$$h_{ij} = a + (I_Y \cdot j) + (I_X \cdot i)$$

Sendo:

$h_{ij}$  = cota do *grade* para cada ponto (m);

$a, I_Y, j, I_X$  e  $i$  = já definidos.

### *Determinação das alturas de cortes e aterros*

De posse das cotas do terreno e cotas do *grade*, todas elas anotadas em cadernetas ou no próprio esquema quadriculado (figura 126), passamos ao cálculo das alturas de cortes e aterros devidos para cada estaca, como se vê abaixo:

$$b_{ij} = H_{ij} - h_{ij}$$

Sendo:

$b$  = se negativo — aterro (m);  
se positivo — corte (m);  
 $H_{ij}$  e  $h_{ij}$  = já definidos.

Determinadas todas as alturas de cortes e aterros, efetuamos, separadamente, a soma das alturas de corte e a soma das alturas de aterros. A finalidade das somas é determinar a relação entre os cortes e aterros, dada por:

$$R = \frac{\sum_{t=1}^k \cdot C_t}{\sum_{z=1}^w \cdot A_z}$$

Sendo:

$R$  = relação entre cortes e aterros;  
 $t$  = número de ordem das estacas de cortes;  
 $k$  = total de estacas de cortes;  
 $C_t$  = altura de corte em cada estaca (m);  
 $z$  = número de ordem das estacas de aterros;  
 $w$  = total de estacas de aterros;  
 $A_z$  = altura de aterros em cada estaca (m).

### *Balanceamento de cortes e aterros*

Em virtude de problemas de compactação do solo, a relação  $R$ , dada acima, recomendada, deve estar sempre entre 1,30 a 1,60. Se a relação estiver acima ou abaixo deste valor, necessário se torna determinar um fator de correção que será aplicado em todas cotas do *grade*. Este fator é determinado pela fórmula que se segue:

$$|\Delta| = \frac{(1,30 \cdot \sum_{z=1}^w \cdot A_z) - \sum_{t=1}^k \cdot C_t}{k + (1,30 \cdot w)}$$

considerando-se o reajuste para a relação de 1,30, e sendo  $|\Delta|$  a correção dada em metros e valor absoluto (representado pelas barras verticais).

Se a relação  $R$  anterior foi maior que 1,30, devemos somar a todas as cotas do *grade* a correção  $|\Delta|$ . Se  $R$  foi menor que 1,30, devemos subtrair de todas as cotas do *grade* a correção  $|\Delta|$ . De acordo com o que vimos acima, podemos dizer que:

$$k_{ij} = h_{ij} \pm |\Delta|,$$

em que:

$k_{ij}$  = cotas do *grade* compensadas (m);  
 $h_{ij}$  e  $|\Delta|$  = já definidos.

Com todas as cotas do *grade* reajustadas, podemos determinar as novas alturas de cortes e aterros. Se houver interesse em verificar a relação entre cortes e aterros, basta somar as alturas de cortes e aterros e determinar esta relação que vai ser igual a 1,30.

Os cálculos das alturas de cortes e aterros reajustados são efetuados, utilizando-se:

$$d_{ij} = H_{ij} - k_{ij},$$

em que:

$d$  = se negativo, altura de aterro (m),  
se positivo, altura de corte (m),  
 $H_{ij}$  e  $K_{ij}$  = já definidos.

#### *Determinação do volume de cortes*

Quase sempre o preço da sistematização é calculado em função do volume total de cortes da área. Neste caso, determina-se apenas o volume de cortes, desprezando-se o volume de aterros. Se, por acaso, for exigido um cálculo do volume de aterros, o princípio de determinação será o mesmo usado para o volume de cortes.

Existem várias maneiras de determinar estes volumes (cortes e aterros). Mostraremos aqui o método do somatório dos cortes (aterros) a nosso ver, de fácil manejo, e atende relativamente bem aos vários interesses.

Para se determinar os volumes, é necessário que se tenha a área

total do terreno, em metros quadrados, e a área de cada quadrícula pelas fórmulas:

$$S_t = s \cdot N$$

e

$$s = L \cdot L$$

De posse da área total e das quadrículas pode-se dizer que:

$$VC = \left( \sum_{t=1}^r C_t \right) \cdot s$$

e

$$VC/ha = \frac{VC}{S_t} \cdot 10.000,$$

Sendo:

- st = área total do terreno (m<sup>2</sup>);
- s = área de cada quadrícula (m<sup>2</sup>);
- L = espaçamento entre estacas (m);
- VC = volume de cortes (m<sup>3</sup>);
- r = total de estacas de cortes reajustados;
- t = já definido;
- VC/ha = volume de cortes, por hectare (m<sup>3</sup>/ha).

Neste ponto terminam os trabalhos de escritório. A próxima etapa da sistematização consiste nos trabalhos de execução da obra no campo.

### **Trabalhos de execução da obra no campo**

#### *Transferência das alturas de cortes e aterros para o campo*

Com a caderneta de anotações à mão, ou mesmo o mapa da sistematização, começamos a marcar, em cada estaca, as alturas de cortes e aterros. Esta marcação deve ser clara e precisa, para que possa servir de orientação ao operador dos equipamentos, durante a execução da obra.

Existem várias maneiras de se fazê-la e uma delas pode ser feita, utilizando-se estacas com as dimensões de 5,0cm · 1,0cm · 120,0cm. As estacas são colocadas próximas ao cruzamento das linhas e colunas, com uma referência 30cm acima do solo. Acima da referência, escreve-se o valor do corte e pinta-se 15cm da extremidade superior da estaca de vermelho (figura 130). Abaixo da referência, escreve-se o valor do aterro, e pinta-se 15cm da extremidade inferior

de azul (figura 130).

Durante as operações mecânicas de nivelamento, o maquinista deve observar, de tempo em tempo, o andamento das alturas de cortes e aterros.

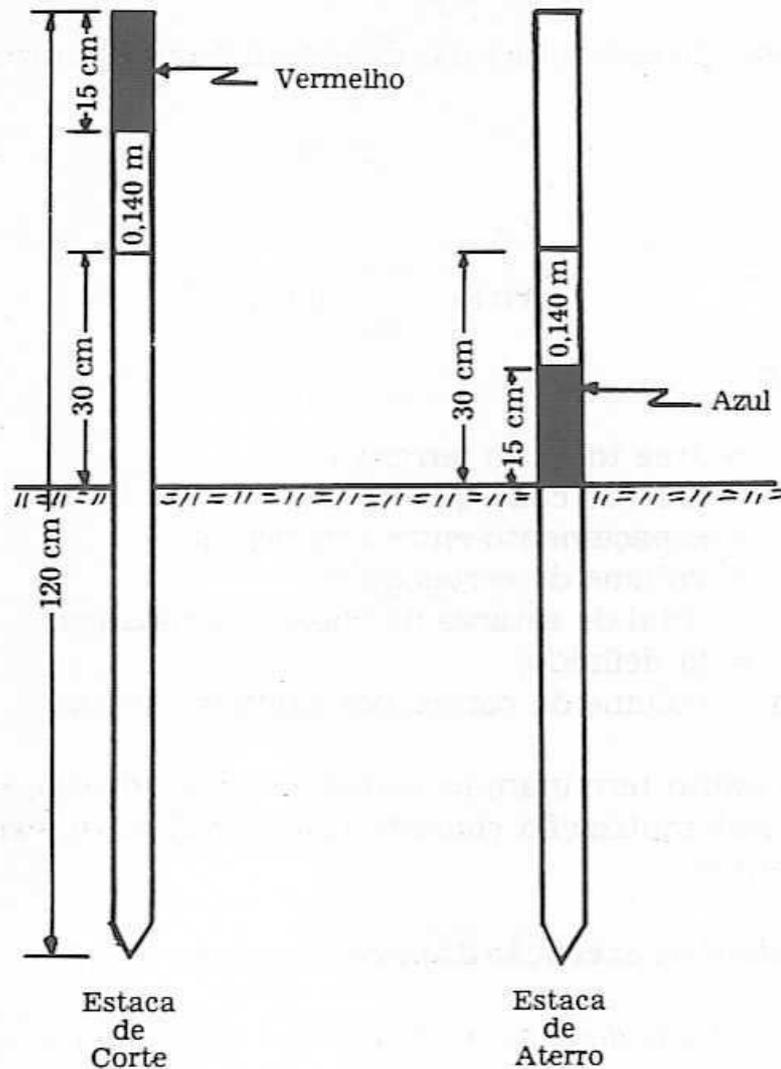


FIGURA 130

### *Execução mecânica da obra utilizando-se máquinas próprias*

Para a execução da obra, devemos contratar firmas próprias que já estejam acostumadas a realizar estes tipos de projetos. Não entraremos em pormenores, na execução mecânica das obras, uma vez que foge da área da Topografia.

Lembramos apenas que, após nivelado mecanicamente todo o terreno, devemos voltar ao campo, com um nível, e verificar se as cotas dos pontos correspondem realmente às cotas do *grade*, calculadas no escritório.

## EXEMPLO NUMÉRICO DE CÁLCULO DA SISTEMATIZAÇÃO

### ESTAQUEAMENTO E NIVELAMENTO

Supondo-se uma área retangular de 30m x 50m, estaqueada de 10m x 10m, quadricularemos uma folha de papel na escala de 1:250, e faremos todas as anotações na própria folha quadriculada (figura 131).

O estaqueamento da área deve ser feito partindo-se de um afastamento da margem igual à metade do espaçamento. No caso do exemplo, as extremidades das linhas e colunas estão com 5m de afastamento.

A área em estudo apresentou, após o estaqueamento, um número de 5 linhas de 3 colunas, isto é,  $n = 5$  e  $m = 3$ . O total de estacas será de 15, ou  $N = 15$ .

As leituras de mira feitas durante o nivelamento estão anotadas no esquema da figura 131. Observando-se estas leituras, podemos verificar que a área exigiu uma mudança do instrumento na estaca 3.2, indicando, portanto, que foi utilizado um nivelamento geométrico composto, nas operações topográficas de campo.

Com o instrumento na posição inicial, visamos a mira nas estacas 1.1; 1.2; 1.3; 2.1; 2.2; 2.3; 3.1 e 3.2. A primeira leitura é denominada leitura de ré, feita em 1.1 e as outras leituras, de vante. Quando foi feita a mudança do instrumento, nova leitura de ré foi realizada, agora na última estaca visada da posição inicial, isto é, na estaca 3.2. As visadas, feitas da segunda posição, em 3.3; 4.1; 4.2; 4.3; 5.1; 5.2; e 5.3; fornecerão leituras de vante.

### CÁLCULO DAS COTAS DO TERRENO

Utilizando-se as expressões mostradas no capítulo anterior,

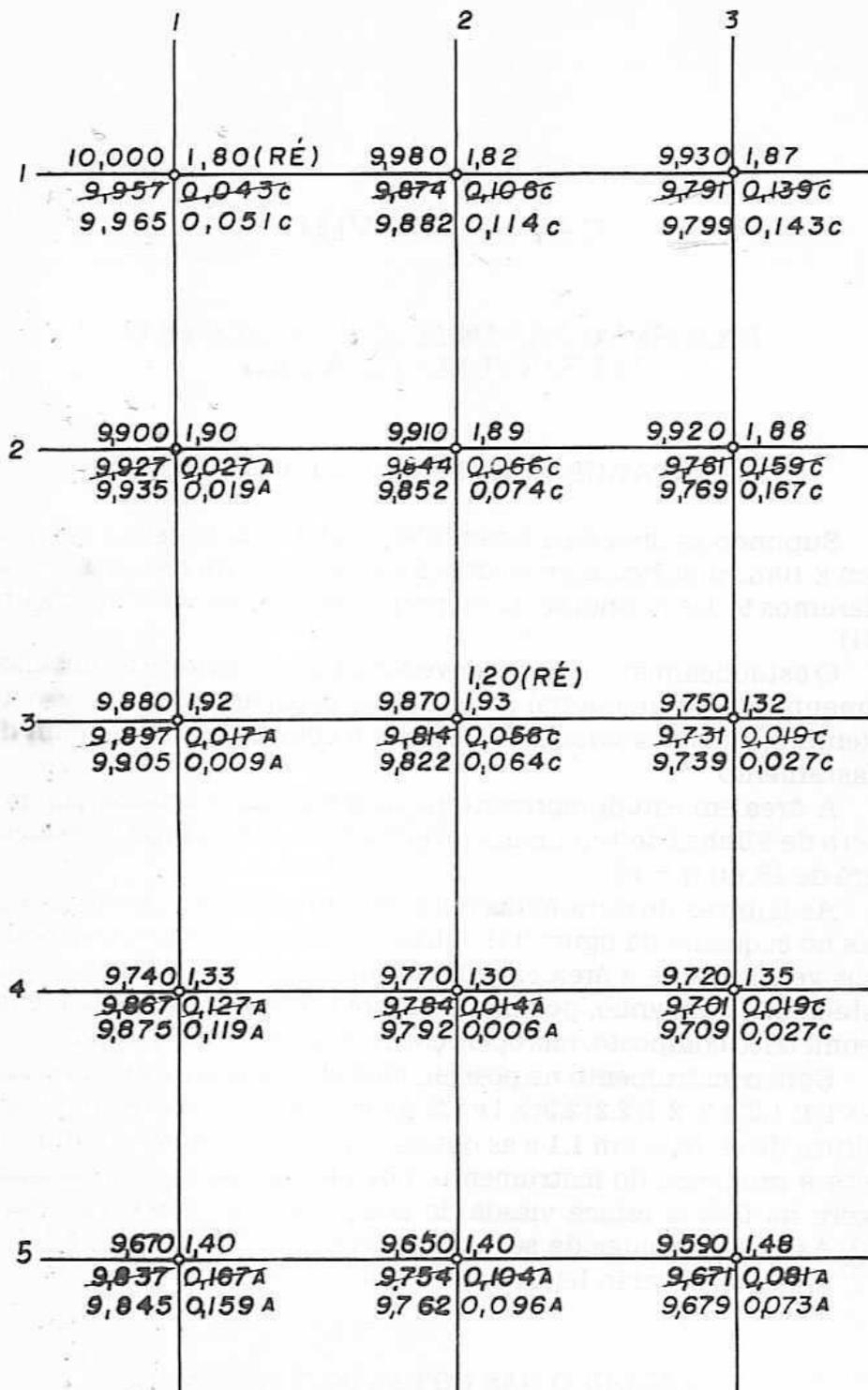


FIGURA 131

pode-se verificar que:

a) *A altura do instrumento na primeira posição será:*

$T = 10,000 + 1,80 = 11,80\text{m}$ ; para uma cota arbitrária dada ao primeiro ponto igual a 10.000m.

b) *As cotas dos pontos topográficos do terreno, com o instrumento na primeira posição:*

$$H_{12} = 11,80 - 1,82 = 9,98\text{m}$$

$$H_{13} = 11,80 - 1,87 = 9,93\text{m}$$

$$H_{21} = 11,80 - 1,90 = 9,90\text{m}$$

$$H_{22} = 11,80 - 1,89 = 9,91\text{m}$$

$$H_{23} = 11,80 - 1,88 = 9,92\text{m}$$

$$H_{31} = 11,80 - 1,92 = 9,88\text{m}$$

$$H_{32} = 11,80 - 1,93 = 9,87\text{m}$$

c) *A altura do instrumento, na segunda posição:*

$T = 9,87 + 1,20 = 11,07\text{m}$ ; sendo 9,87m a cota calculada para a estaca 3.2, com o instrumento na primeira posição, e 1,20m a leitura de ré, feita com o aparelho na segunda posição.

d) *As cotas dos pontos topográficos do terreno, com o instrumento na segunda posição:*

$$H_{33} = 11,07 - 1,32 = 9,75\text{m}$$

$$H_{41} = 11,07 - 1,33 = 9,74\text{m}$$

$$H_{42} = 11,07 - 1,30 = 9,77\text{m}$$

$$H_{43} = 11,07 - 1,35 = 9,72\text{m}$$

$$H_{51} = 11,07 - 1,42 = 9,65\text{m}$$

$$H_{52} = 11,07 - 1,42 = 9,65\text{m}$$

$$H_{53} = 11,07 - 1,48 = 9,59\text{m}$$

Determinadas as cotas do terreno, deve-se transferi-las para suas respectivas posições no esquema quadriculado da figura 131, como no exemplo do capítulo anterior.

### **TRAÇADO DAS CURVAS DE NÍVEL**

No esquema feito na escala de 1:250, traçaremos curvas com equidistância de 0,10m, as quais darão uma idéia do relevo do

terreno em causa (figura 132).

De acordo com o esquema em curvas de nível, pode-se verificar que o terreno é relativamente plano, com uma diferença de nível máxima entre as estacas 1.1 e 5.3 de 0,41 metros (10.000 - 9,59).

Por meio das curvas, pode-se notar, à primeira vista, que não será muito grande o movimento de terra para se sistematizar este terreno.

## DETERMINAÇÃO DAS DECLIVIDADES

Exemplificando, vamos supor que desejamos sistematizar a área com declividades que melhor se adaptam ao terreno.

a) Na direção de X a declividade será:

$$IX = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^m (j \cdot \bar{H}_j) - 6 \cdot (m + 1) \cdot \sum_{j=1}^m \bar{H}_j}{(m - 1) \cdot m \cdot (m + 1)}$$

$$\bar{H}_1 = \frac{10,00 + 9,90 + 9,88 + 9,74 + 9,76}{5} = 9,84 \text{ m}$$

$$\bar{H}_2 = \frac{9,98 + 9,91 + 9,87 + 9,77 + 9,65}{5} = 9,84 \text{ m}$$

$$\bar{H}_3 = \frac{9,93 + 9,94 + 9,75 + 9,72 + 9,59}{5} = 9,78 \text{ m}$$

$$\sum_{j=1}^m (j \cdot \bar{H}_j) = 1,9,84 + 2,9,84 + 3,9,78 = 58,86 \text{ m}$$

$$m = 3$$

$$\sum_{j=1}^m \bar{H}_j = 9,84 + 9,84 + 9,78 = 29,46 \text{ m}$$

$$IX = \frac{12,58,86 - 6(3 + 1) \cdot 29,46}{(3 - 1) \cdot 3 \cdot (3 + 1)} = -0,030 \text{ m/m}$$

b) Na direção Y, teremos:

$$IY = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n (i \cdot \bar{H}_i) - 6 \cdot (n + 1) \cdot \sum_{i=1}^n \bar{H}_i}{(n - 1) \cdot n \cdot (n + 1)}$$

onde:

$$\bar{H}_1 = \frac{10,000 + 9,98 + 9,93}{3} = 9,97 \text{ m.}$$

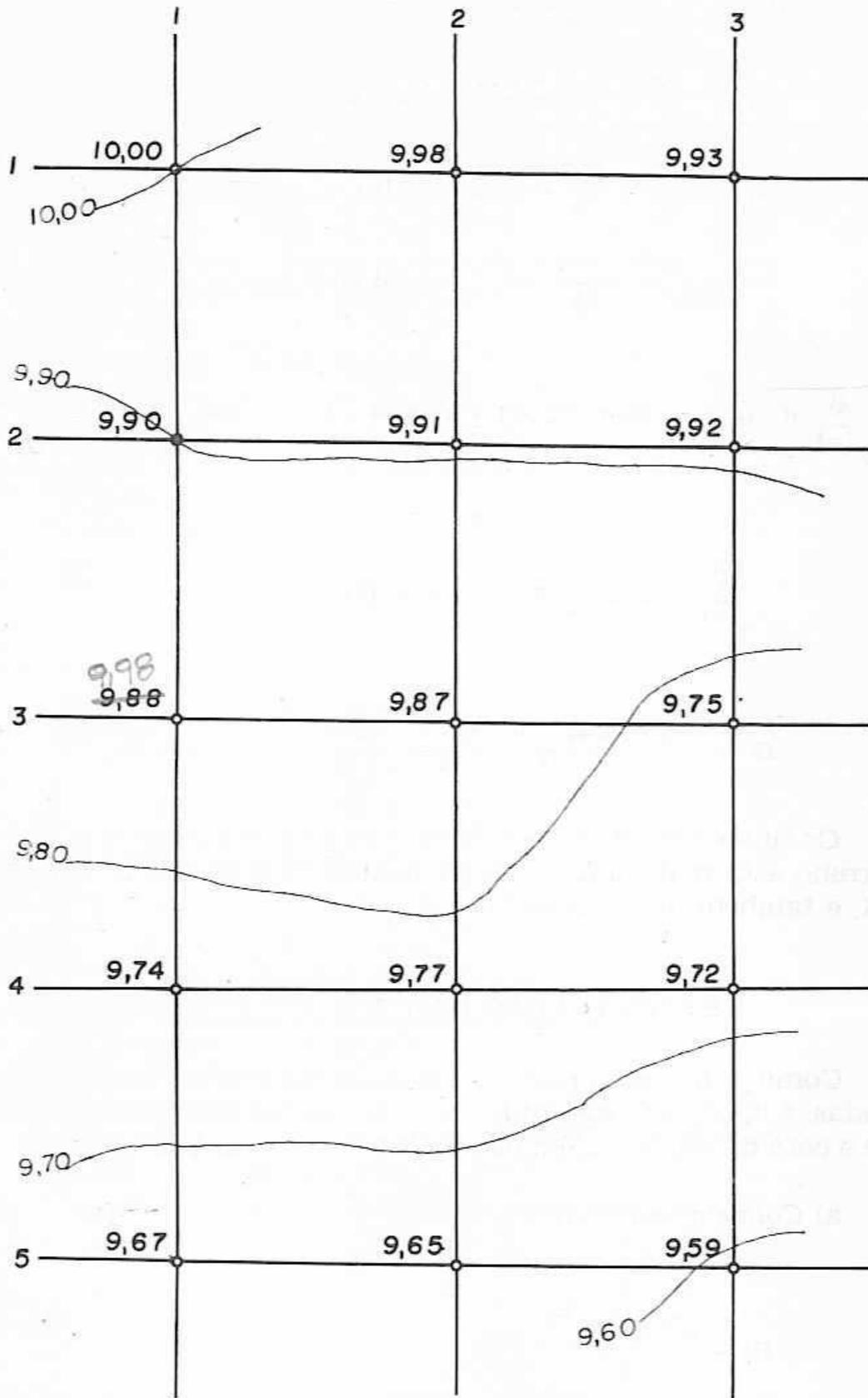


FIGURA 132

$$\bar{H}_2 = \frac{9,90 + 9,91 + 9,92}{3} = 9,91 \text{ m.}$$

$$\bar{H}_3 = \frac{9,88 + 9,87 + 9,75}{3} = 9,83 \text{ m.}$$

$$\bar{H}_4 = \frac{9,74 + 9,77 + 9,72}{3} = 9,74 \text{ m.}$$

$$\bar{H}_5 = \frac{9,67 + 9,65 + 9,59}{3} = 9,64 \text{ m.}$$

$$\sum_{i=1}^n (i \cdot \bar{H}_i) = 1,9,97 + 2,9,91 + 3,9,83 + 4,9,74 + 5,9,64 = 146,44 \text{ m.}$$

$$n = 5$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{H}_i = 9,97 + 9,91 + 9,83 + 9,74 + 9,64 = 49,09 \text{ m.}$$

$$IY = \frac{12 \cdot 146,44 - 6 \cdot (5 + 1) \cdot 49,09}{(5 - 1) \cdot 5 \cdot (5 + 1)} = - 0,083 \text{ m/m.}$$

Os sinais negativos, tanto para  $X$  como para  $Y$ , significam que o terreno está mais alto no ponto 1.1, isto é, descendo de 1.1 para 5.1, e também de 1.1 para 1.3.

### DETERMINAÇÃO DAS COTAS DO GRADE

Como já foi visto, para que as cotas do *grade* sejam determinadas, é necessário determinar antes a cota e posição do centróide e cota da origem, além das declividades já determinadas.

a) *Cota do centróide:*

$$H_c = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^m \cdot H_{ij}}{N}$$

$$N = 15$$

$$\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^m \cdot H_{ij} = 10,00 + 9,98 + 9,93 + 9,90 + 9,91 + 9,92 + 9,98 + 9,87 + 9,75 + \\ + 9,74 + 9,77 + 9,72 + 9,67 + 9,65 + 9,59 = 147,28m$$

$$H_c = \frac{147,28}{15} = 9,82m$$

b) *Posição do centróide:*

b<sub>1</sub>) *Na direção das linhas:*

$$P_X = \frac{\sum_{j=1}^m \cdot (j \cdot n)}{N}$$

$$N = 15$$

$$\sum_{j=1}^m \cdot (j \cdot n) = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 3 = 45$$

$$P_X = \frac{45}{15} = 3.$$

b<sub>2</sub>) *Na direção das colunas:*

$$P_Y = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot (i \cdot m)}{N}$$

$$N = 15$$

$$\sum_{i=1}^n \cdot (i \cdot m) = 1 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 30$$

$$P_Y = \frac{30}{15} = 2.$$

c) *Cota da origem:*

$$a = 9,82 - (-0,083 \cdot 2) - (-0,030 \cdot 3) = 10,07m.$$

Já com as declividades calculadas, cota e posição do centróide e cota da origem, estamos preparados para determinar todas as cotas do *grade* para os pontos estaqueados.

Por exemplo:

$$h_{ij} = a + (IY \cdot j) + (IX \cdot i), \text{ em que,}$$

substituindo os respectivos valores, teremos:

$$h_{11} = 10,07 + (-0,083 \cdot 1) + (-0,030 \cdot 1) = 9,957\text{m}$$

$$h_{12} = 10,07 + (-0,083 \cdot 2) + (-0,030 \cdot 1) = 9,874\text{m}$$

$$h_{13} = 10,07 + (-0,083 \cdot 3) + (-0,030 \cdot 1) = 9,791\text{m}$$

$$h_{21} = 10,07 + (-0,083 \cdot 1) + (-0,030 \cdot 2) = 9,927\text{m}$$

$$h_{22} = 10,07 + (-0,083 \cdot 2) + (-0,030 \cdot 2) = 9,844\text{m}$$

$$h_{23} = 10,07 + (-0,083 \cdot 3) + (-0,030 \cdot 2) = 9,761\text{m}$$

$$h_{31} = 10,07 + (-0,083 \cdot 1) + (-0,030 \cdot 3) = 9,897\text{m}$$

$$h_{32} = 10,07 + (-0,083 \cdot 2) + (-0,030 \cdot 3) = 9,814\text{m}$$

$$h_{33} = 10,07 + (-0,083 \cdot 3) + (-0,030 \cdot 3) = 9,731\text{m}$$

$$h_{14} = 10,07 + (-0,083 \cdot 1) + (-0,030 \cdot 4) = 9,867\text{m}$$

$$h_{42} = 10,07 + (-0,083 \cdot 2) + (-0,030 \cdot 4) = 9,784\text{m}$$

$$h_{43} = 10,07 + (-0,083 \cdot 3) + (-0,030 \cdot 4) = 9,701\text{m}$$

$$h_{51} = 10,07 + (-0,083 \cdot 1) + (-0,030 \cdot 5) = 9,837\text{m}$$

$$h_{52} = 10,07 + (-0,083 \cdot 2) + (-0,030 \cdot 5) = 9,754\text{m}$$

$$h_{53} = 10,07 + (-0,083 \cdot 3) + (-0,030 \cdot 5) = 9,671\text{m}$$

Estas cotas determinadas para o *grade* são agora transferidas para o mapa da área estaqueada, e colocadas numa posição já mostrada anteriormente.

## DETERMINAÇÃO DAS ALTURAS DE CORTES E ATERROS

Em função das cotas do terreno e cotas do *grade*, podemos determinar as alturas de cortes e aterros, dadas por:

$$b_{ij} = H_{ij} - h_{ij},$$

sendo:

$$b_{11} = 10,000 - 9,957 = +0,043\text{m (C)}$$

$$b_{12} = 9,980 - 9,874 = +0,106\text{m (C)}$$

$$\begin{aligned}
b_{13} &= 9,930 - 9,791 = + 0,139\text{m (C)} \\
b_{21} &= 9,900 - 9,927 = - 0,027\text{m (A)} \\
b_{22} &= 9,910 - 9,844 = + 0,066\text{m (C)} \\
b_{23} &= 9,920 - 9,761 = + 0,159\text{m (C)} \\
b_{31} &= 9,880 - 9,897 = - 0,017\text{m (A)} \\
b_{32} &= 9,870 - 9,814 = - 0,056\text{m (C)} \\
b_{33} &= 9,750 - 9,731 = + 0,019\text{m (C)} \\
b_{41} &= 9,740 - 9,867 = - 0,127\text{m (A)} \\
b_{42} &= 9,770 - 9,784 = - 0,014\text{m (A)} \\
b_{43} &= 9,720 - 9,701 = + 0,019\text{m (C)} \\
b_{51} &= 9,670 - 9,837 = - 0,167\text{m (A)} \\
b_{52} &= 9,650 - 9,754 = - 0,104\text{ m (A)} \\
b_{53} &= 9,590 - 9,671 = - 0,081\text{m (A)}
\end{aligned}$$

Passaremos os resultados para o mapa na posição convencionalmente anteriormente.

Somando-se as alturas de cortes e alturas de aterros, estamos preparados para a verificação da relação entre cortes e aterros.

$$\begin{aligned}
\sum_{t=1}^k C_t &= 0,043 + 0,106 + 0,139 + 0,066 + 0,159 + 0,056 + 0,019 + 0,019 = \\
&= 0,607 \text{ m.}
\end{aligned}$$

$$\sum_{z=1}^w A_z = 0,027 + 0,017 + 0,127 + 0,014 + 0,167 + 0,104 + 0,081 = 0,537 \text{ m.}$$

E a relação será dada por:

$$R = \frac{0,607}{0,537} = 1,130$$

## BALANCEAMENTO DOS CORTES E ATERROS

Como a relação entre cortes e aterros foi menor que 1,30 - 1,60, (veja capítulo VII), determinaremos a correção necessária, para se obter uma relação de 1,400, satisfatória aos efeitos de compactação do solo.

Este fator de correção é obtido conforme a seguinte fórmula:

$$|\Delta| = \left| \frac{(1,400 \cdot \sum_{z=1}^w A_z) - \sum_{t=1}^k C_t}{k + (1,400 \cdot w)} \right|$$

e substituindo os valores de  $\sum_{z=1}^w A_z$ ;  $\sum_{t=1}^k C_t$   $k = 8$  e  $w = 7$ , teremos:

$$|\Delta| = \left| \frac{(1,400 \cdot 0,537) - 0,607}{8 + (1,400 \cdot 7)} \right| = 0,008$$

Como a relação  $R$  anterior foi menor que 1,400 (relação desejável), vamos subtrair de todas as cotas do *grade* a correção:

$\Delta = 0,008$ , utilizando-se:  $k_{ij} = h_{ij} - \Delta$  ou,

$$k_{11} = 9,957 - 0,008 = 9,949\text{m}$$

$$k_{12} = 9,874 - 0,008 = 9,866\text{m}$$

$$k_{13} = 9,791 - 0,008 = 9,783\text{m}$$

$$k_{21} = 9,927 - 0,008 = 9,919\text{m}$$

$$k_{22} = 9,844 - 0,008 = 9,836\text{m}$$

$$k_{23} = 9,761 - 0,008 = 9,753\text{m}$$

$$k_{31} = 9,847 - 0,008 = 9,839\text{m}$$

$$k_{32} = 9,814 - 0,008 = 9,806\text{m}$$

$$k_{33} = 9,731 - 0,008 = 9,723\text{m}$$

$$k_{41} = 9,867 - 0,008 = 9,859\text{m}$$

$$k_{42} = 9,784 - 0,008 = 9,776\text{m}$$

$$k_{43} = 9,701 - 0,008 = 9,693\text{m}$$

$$k_{51} = 9,837 - 0,008 = 9,829\text{m}$$

$$k_{52} = 9,754 - 0,008 = 9,746\text{m}$$

$$k_{53} = 9,671 - 0,008 = 9,663\text{m}$$

Reajustando-se os cortes e aterros, e lançando-os no mapa, passaremos aos cálculos das novas alturas de cortes e aterros, corrigidos, dados por:

$$d_{ij} = H_{ij} - k_{ij}, \text{ ou}$$

$$d_{11} = 10,000 - 9,949 = + 0,051\text{m (C)}$$

$$d_{12} = 9,980 - 9,866 = + 0,114\text{m (C)}$$

$$d_{13} = 9,930 - 9,783 = + 0,143\text{m (C)}$$

$$\begin{aligned}
d_{21} &= 9,900 - 9,919 = -0,019\text{m (A)} \\
d_{22} &= 9,910 - 9,836 = +0,074\text{m (C)} \\
d_{23} &= 9,920 - 9,753 = +0,167\text{m (C)} \\
d_{31} &= 9,880 - 9,889 = -0,009\text{m (A)} \\
d_{32} &= 9,870 - 9,806 = +0,064\text{m (C)} \\
d_{33} &= 9,750 - 9,723 = -0,027\text{m (C)} \\
d_{41} &= 9,740 - 9,859 = -0,119\text{m (A)} \\
d_{42} &= 9,770 - 9,776 = -0,006\text{m (A)} \\
d_{43} &= 9,720 - 9,693 = +0,027\text{m (C)} \\
d_{51} &= 9,670 - 9,829 = -0,159\text{m (A)} \\
d_{52} &= 9,650 - 9,746 = -0,096\text{m (A)} \\
d_{53} &= 9,590 - 9,663 = -0,073\text{m (A)}
\end{aligned}$$

Determinando-se novamente a relação entre cortes e aterros, verificamos que esta se aproxima de 1,400. Não encontramos uma relação exata de 1,400, porque trabalhamos com somente três casas de aproximação para a correção.

Verificando-se, teremos:

$$\sum_{t=1}^k C_t = 0,667 \text{ m.}$$

$$\sum_{z=1}^w A_z = 0,481 \text{ m.}$$

$$R = \frac{0,667}{0,481} = 1,387$$

### DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DE CORTES E ATERROS

#### a) *Volume de cortes*

Para se determinar o volume de cortes, necessário se torna saber a área total do terreno, dada por:

$$St = s \cdot N \text{ e } s = L \cdot L.$$

$$L = 10,00\text{m (mostrada no início deste exemplo)}$$

$$s = 10,00 \cdot 10,00 = 100,00\text{m}^2$$

$$N = 15$$

$$St = 100,00 \cdot 15 = 1500\text{m}^2$$

tendo-se a área total o volume de cortes será:

$$V_c = \left( \sum_{t=1}^k \cdot C_t \right) \cdot s$$

e

$$V_c = 0,667 \text{ m} \cdot 100,00 \text{ m}^2 = 66,7 \text{ m}^3$$

o volume de cortes, por hectare, será:

$$V_c/\text{ha} = \frac{V_c}{st} \cdot 10.000 \text{ ou}$$

$$V_c/\text{ha} = \frac{66,7}{1500} \cdot 10.000 = 444,666 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

b) *Volume de aterros:*

$$s = 100,00 \text{ m}^2$$

$$St = 1500 \text{ m}^2$$

$$V_a = 0,481 \cdot 100,00 = 48,1 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$V_a/\text{ha} = \frac{48,1}{1500} \cdot 10000 = 320,666 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Em função do volume de cortes total da área a ser sistematizada, muitas vezes, é calculado o preço da obra. Neste caso, o volume de cortes é o mais importante.

### **TRABALHOS DE EXECUÇÃO DA OBRA NO CAMPO**

Estes trabalhos são os mesmos já mostrados no capítulo anterior.