

capítulo 6

Curvas de nível — formas — métodos de obtenção

a) GENERALIDADES

São linhas que ligam pontos, na superfície do terreno, que têm a mesma cota (mesma altitude). É uma forma de representação gráfica de extrema importância. Fácil é explicar por quê. A planimetria possui uma forma de representação gráfica perfeita, que é a planta (projeção horizontal). Nela, os ângulos, aparecem com sua verdadeira abertura e as distâncias exatas, naturalmente reduzidas pela escala do desenho. Enquanto isso, a altimetria só conta com a representação gráfica em perfil (também chamado de vista lateral, vista em elevação, corte etc.). Mas o perfil só representa a altimetria de uma linha (seja reta, curva ou quebrada) mas não de uma área. Então a visão geral fica altamente prejudicada, pois precisaríamos de um número imenso de perfis do mesmo terreno em posições e direções diferentes, para termos uma visão panorâmica e nunca poderíamos visualizá-los todos ao mesmo tempo.

Ora, as curvas de nível serão representadas na planta abrangendo uma área, o que permite ao usuário experimentado uma visão imaginativa geral da sinuosidade do terreno. Qualquer técnico experiente, observando uma planta com curvas de nível, é capaz de visualizar os vales, grotas, espigões, divisores de água pluviais, terrenos mais íngremes ou menos inclinados, terrenos mais sinuosos (acidentados) e menos irregulares, elevações etc. por um simples e cuidadoso exame. Vejam as armas que ele passa a possuir então para imaginar projetos conscientes e adaptados ao terreno em que serão implantados.

Bem, vamos a alguns exemplos de terrenos representados por curva de nível. As vezes, apelamos ao exagero para explicar melhor. É o que acontece

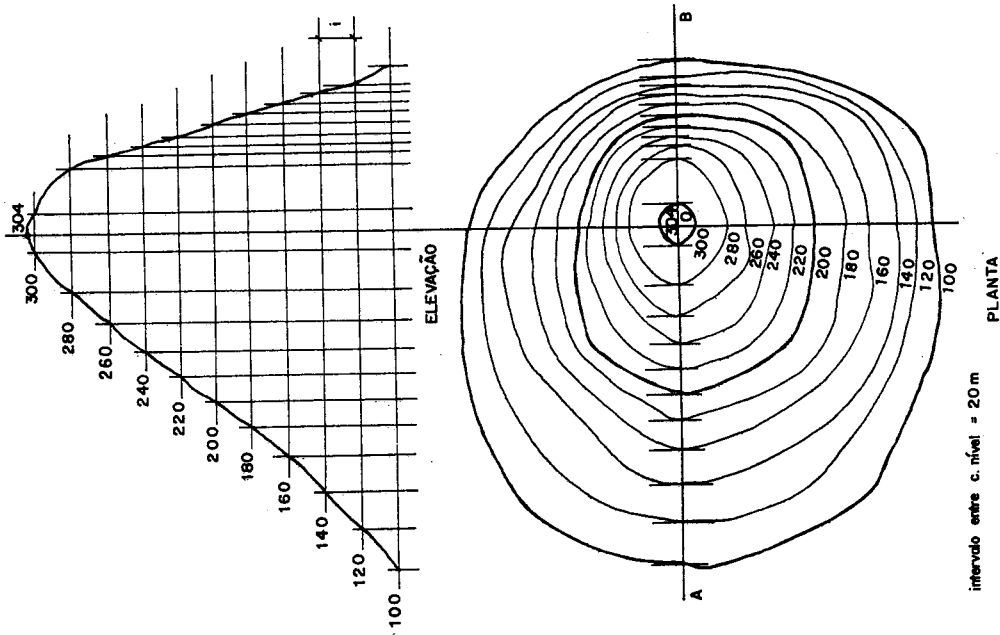


Figura 6.1

na Fig 6.1. Supondo um terreno com o exagero que aparece na vista em elevação, cortado por planos horizontais equidistantes; o valor i é chamado de intervalo entre curvas de nível, no caso 20m. Na planta aparecem desenhados os traços de corte de cada plano com a superfície do terreno: são exatamente as curvas de nível com intervalo de 20 metros que representam o terreno. Naturalmente, os pontos realmente definidos são as interseções com o eixo A B da planta, pois os traçados das curvas são por pura imaginação, já que não temos informações sobre eles. Mas, note-se que apenas observando a

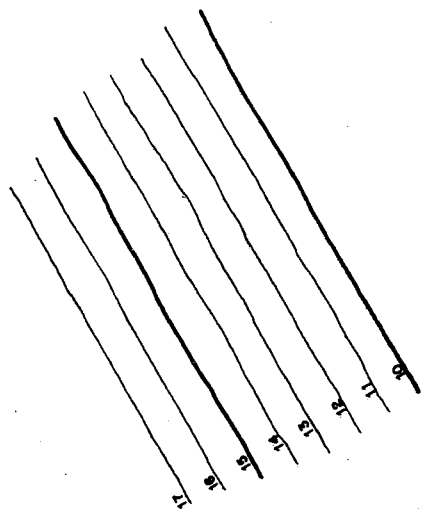


Figura 6.2 - Representa um terreno em plano uniformemente inclinado; intervalo entre c. nível = 1m

planta sabemos que a encosta O B à direita é mais íngreme do que a encosta O A à esquerda, porque suas curvas de nível estão mais próximas umas das outras. Este é o primeiro indício de que plantas com curvas de nível permitem visualizar o terreno altimetricamente. Outras tentativas de representação gráfica que procuraram substituir as curvas de nível não puderam sequer ser comparadas à sua eficiência, tais como: hachuras, variações de cores conforme a altitude etc..

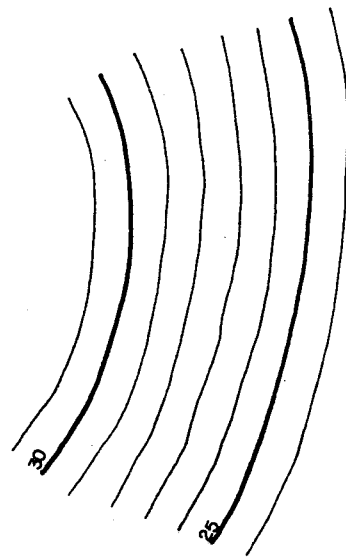


Figura 6.3 - Representa um terreno em curva, porém ainda com inclinação uniforme; intervalo ente c. nível = 1m

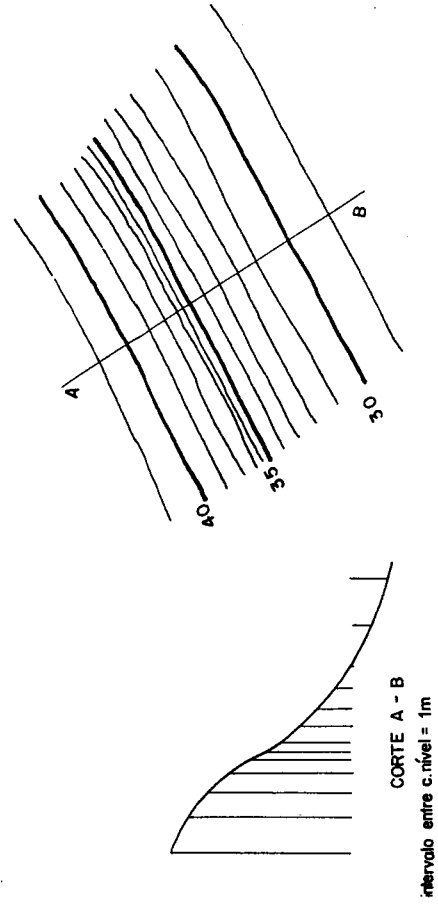


Figura 6.4 - Um terreno que, paulatinamente, tem seu declive aumentado de A para B e depois diminuído, como aparece no corte A - B

Vejam outras formas de terreno com a correspondente representação em curvas de nível. A Fig. 6.2 mostra um plano inclinado uniformemente. A Fig. 6.3 mostra um terreno com superfície e em curva, porém ainda com inclinação uniforme. A Fig. 6.4 mostra um terreno com inclinação desuniforme; começa com pouca inclinação, aumenta e depois diminui. A Fig. 6.5 mostra 2 tipos de terrenos diferentes, ou seja, caso levemente em cotas assinaladas à esquerda (110, 100, 90, 80), teremos um espigão; é um terreno de curva convexa e um divisor de águas de chuva; caso as cotas sejam da direita (170, 180, 190, 200), teremos uma grota com forma côncava e é um recolhedor de águas de chuva. É importante lembrar que a gravidade faz com que as águas de chuva caminhem na linha de maior declive, que é logicamente a linha perpendicular às curvas de nível (menor distância horizontal para descer à mesma altura).

Agora tentaremos mostrar na planta da Fig. 6.6 uma região mais vasta, onde aparecem muitas curvas de nível, mesmo considerando o maior intervalo de 10m. Mostra o nascimento, à direita, de um vale. Vejam que as inúmeras convergências da águas de chuva, através de grotas de ambos os lados, acabarão forçosamente originando um curso d'água nem que pequeno, seja através da descida de águas superficiais, seja por águas de lençóis freáticos que acabarão aflorando em nascentes das diversas grotas. A grosso modo,

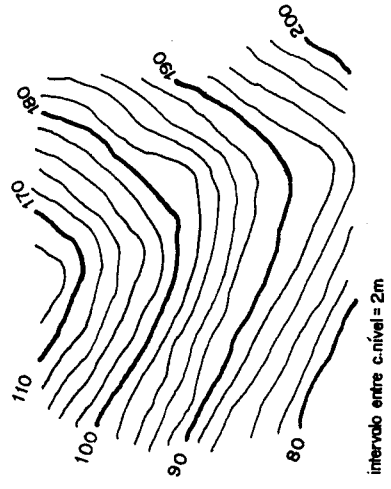


Figura 6.5 - Representa dois tipos de detalhes topográficos; caso as cotas válidas sejam da esquerda (110, 100, 90, 80), teremos um espigão; caso sejam da direita (200, 190, 180, 170), teremos uma grota. O espigão é uma figura convexa e um divisor de águas. A grota é uma figura côncava e um recolhedor de águas de chuva.

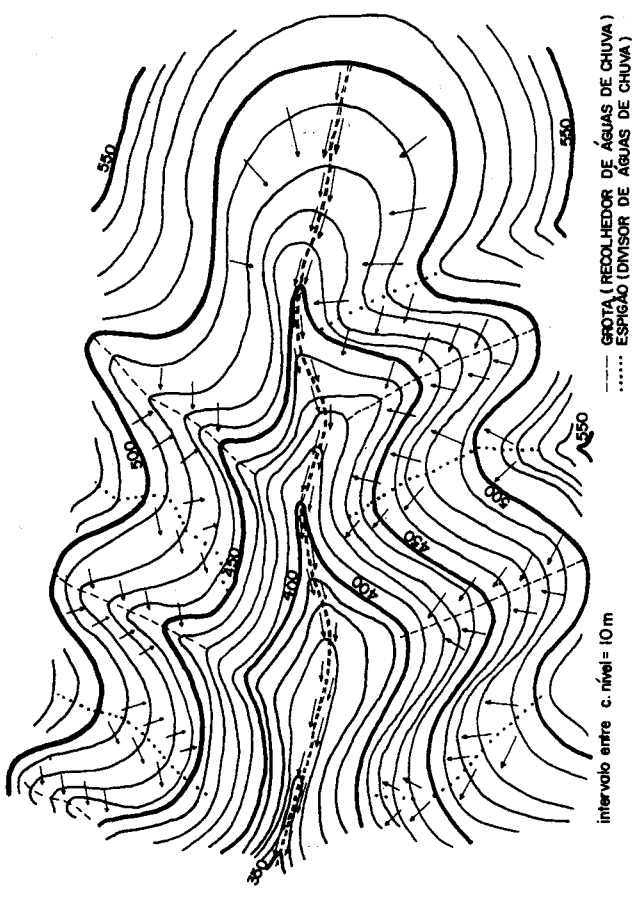


Figura 6.6

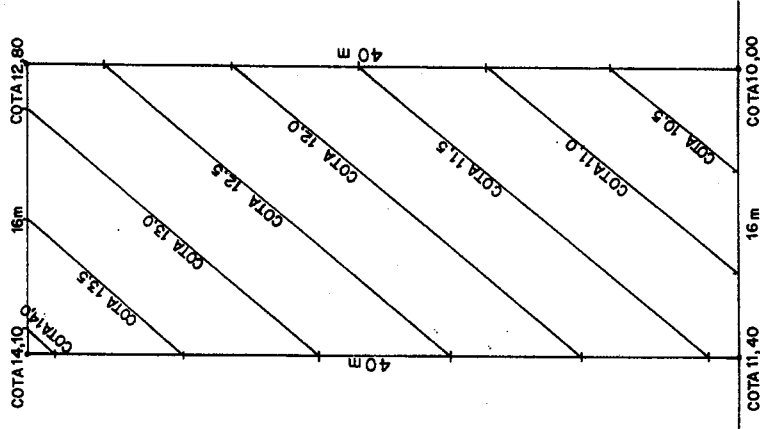


Figura 6.7 - Curvas de nível de 0,5m em 0,5m em planta com escala 1:200. As cotas obtidas no terreno foram apenas as dos 4 cantos

Vejamos o caso de um lote urbano, de 16m de frente por 40m da frente aos fundos, cujas cotas aparecem na Fig. 6.7 em escala 1:200. As curvas de nível, com intervalo de 0,5m, foram obtidas por interpolação, operação que será explicada mais adiante.

c) ERROS DE INTERPRETAÇÃO GRÁFICA NAS CURVAS DE NÍVEL

Por falta de atenção ou por desconhecimento, algumas vezes surgem erros técnicos imperdoáveis. Vejamos alguns:

- 1 - Nenhuma curva de nível pode desaparecer ou aparecer repentinamente. Ver a Fig. 6.8. Veja que o terreno na seção A B terá de passar da cota 33 para a cota 35 sem atravessar a cota 34: absurdo!

podemos afirmar que todo terreno tem esta forma, mesmo ou mais acentuada, conforme a região menos ou mais acidentada.

Bem, até o momento podemos consolidar o que aprendemos:

- 1) curvas de nível são linhas que ligam pontos de mesma altitude na superfície do terreno.
- 2) intervalo entre curvas de nível é a diferença de altitude entre duas curvas consecutivas.
- 3) o intervalo entre curvas de nível deve ser constante na mesma representação gráfica.
- 4) as águas de chuva correm perpendicularmente às curvas de nível, por que esta direção é a de maior declividade.
- 5) espigão é um divisor de águas de chuva.
- 6) grotta é um recolhedor de águas de chuva.

b) INTERVALO ENTRE CURVAS DE NÍVEL

Os intervalos mais usados entre curvas guarda a seqüência 1, 2 e 5. Ou seja, intervalos de 1m, 2m, 5m, 10m, 20m, 50m, 100m, 200m, 500m. Fora estes intervalos surgem esporadicamente os intervalos de 2,5m, 2,5m e 250m. O intervalo escolhido em cada trabalho depende basicamente de 2 fatores: a escala da planta e a declividade ou sinuosidade do terreno, mais o da escala. Em geral, porém, com pequenas variações, podemos dizer que, até escalas 1:1.000, o intervalo usado é de 1m até 1:2.000, o intervalo é de 2m, e assim por diante. Vou novamente exagerar para esclarecer; caso se queira fazer uma planta de um trecho da *Serra do Mar* em escala 1:10.000, com curva de nível de metro em metro, bastará pintar o papel de preto, porque as curvas de nível estarão encostadas umas às outras. Senão vejamos: se o terreno tiver um caimento de 30%, ele desce 1m em cada 3,30m de distância horizontal,

que em escala 1:10.000 aparece como $\frac{3,30}{10.000} = 0,000330\text{m}$

ou seja 3 décimos de milímetro. Ficou claro?

Para plantas em escala maiores do que 1:1.000, que é o caso de lotes urbanos, podemos usar intervalos menores do que 1m, ou seja, 0,5m ou 0,2m.

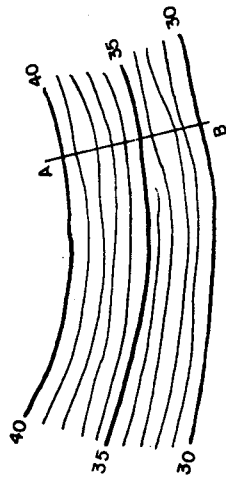


Figura 6.8 - A curva de nível de cota 34 desapareceu repentinamente; erro técnico, fruto de desatenção

Na Fig. 6.9, duas curvas estão se cruzando. Por desconhecimento das regras básicas, a seção C D do terreno tem uma forma absurda.

Mais um erro técnico aparece na Fig. 6.10, este menos fácil de ser percebido. Veja que as curvas de nível, que aparecem com cotas iguais de cada lado da cota 78, mostram que o terreno desce para esta cota, portanto forma um vale. O que é impossível é o fato do fundo do vale coincidir na cota 78 em toda sua extensão, ou seja, tratar-se de vale cujo fundo ("talveg") é horizontal para a esquerda e para a direita. Não existe terreno com esta forma, mesmo porque as águas de chuva ficariam retidas, formando-se um lago. Baseado na afirmação de que uma curva de nível não pode desaparecer, conclui-se que toda curva de nível é uma linha fechada. Se ela não fecha no desenho, é porque este representa apenas uma parcela do terreno. Caso am-

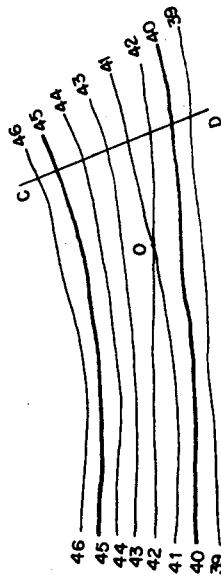


Figura 6.9 - As curvas 41 e 42 cruzam-se no ponto O, o que torna absurdo o terreno no corte CD, pois o terreno passa da cota 40 para 42 sem passar pela cota 41; o mesmo acontece entre as cotas 41 e 43, sem passar pela cota 42.

pliássemos a representação, fatalmente veríamos o seu fechamento. Então todas as curvas da Fig. 6.10 devem se fechar (unir-se) à direita da figura e a curva 78 não teria por onde continuar.

Existe um acidente topográfico de extrema importância para a engenharia. Trata-se da "garganta". É um ponto de mínima altitude ao longo de uma seqüência de pontos elevados. Esta cadeia de montanhas separa normalmente 2 vales de grande importância. Então, quando queremos atravessar de um vale para o outro com qualquer via de transporte, seja uma rodovia, uma ferrovia, uma linha de transmissão de energia elétrica, um oleoduto etc, este ponto de mínima altitude (garganta) é o local ideal para a travessia, pois subiremos menos de um lado e descereamos menos do outro. Costuma-se chamar de ponto obrigatório de passagem. A Fig. 6.11 mostra a forma das curvas de nível de uma garganta. Vejam que o ponto A é o ideal para atravessar do lado B para o lado C, porque é o de mínima altitude. Para quem conhece a rodovia Piassaguera-Guarujá, podemos apontar uma típica garganta. Após passar pela Cosipa, sobe-se a serra do Quilombo até a garganta e, após atravessá-la, desce-se já do lado do Guarujá. Um profissional experi-

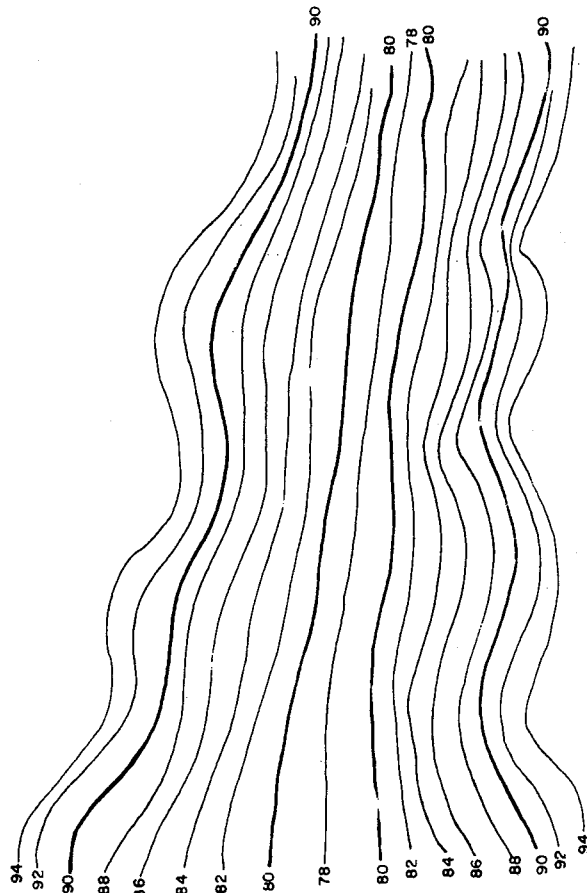


Figura 6.10 - As curvas de nível andam aos pares, no entanto a curva 78 aparece isoladamente. Erro técnico.

mentado, quando elabora um anteprojeto de estrada, começa marcando todas as gargantas que encontra na planta do trecho, pois elas serão passagens bem prováveis do percurso.

MÉTODO DE OBTENÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL

Até chegarmos ao ponto de conseguir traçar numa planta as curvas de nível, devemos proceder a uma série de medidas no terreno caso se aplique qualquer dos processos topográficos. Outra forma será o emprego de aerofotogrametria. Iremos nos restringir aos métodos topográficos. São três:

- 1) quadrículação
- 2) irradiação taqueométrica
- 3) seções transversais.

Vamos descreve-los inicialmente, para depois compará-los.

1.º — MÉTODO DA QUADRICULAÇÃO

É o processo de maior precisão, quase perfeito se executado corretamente, porém o mais demorado e dispendioso. Facilmente aplicável para peque-

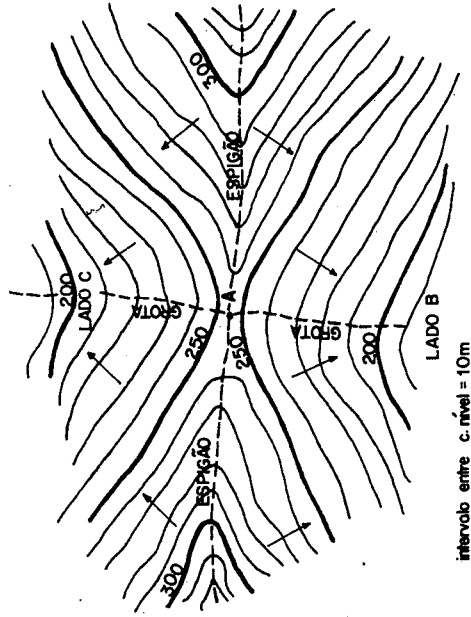


Figura 6.11 - Representação das curvas de nível de uma "garganta". O ponto A é um ponto de mínima altitude no divisor de águas, representado pela linha tracejada. --- intervalo entre c. de nível de 10m → direção e sentido das águas de chuva.

nas áreas e impossível para grandes glebas.

Atividades no campo:

- a) fazer a quadrículação do terreno, colocando estacas em cada vértice dos quadrados.
- b) proceder ao nivelamento geométrico de todas as estacas.

A quadrículação será feita com o emprego do teodolito, para dar as direções, e a trena, para a marcação das distâncias. De início escolhe-se uma direção básica e vamos colocando estacas de d em d metros. Em seguida serão tiradas perpendiculares nos pontos mais favoráveis, que também receberão estacas cada d metros. E, de acordo com as condições locais, será completada a quadrícula, como mostra a Fig 6.12. A direção básica escolhida foi a linha C; após estaqueá-la de d em d metros, foram tiradas perpendiculares nos pontos C-3 e C-10; estas perpendiculares também foram estaqueadas de d em d metros, em seguida foram completadas todas as demais linhas A, B, D, E, F, G, H e I. Foram utilizadas letras para definir as linhas, numa direção e algarismos nas outras, pois 9 letras e 13 números identificaram 117 pontos. Lembrem-se do jogo de "batalha naval", tão do agrado das crianças?

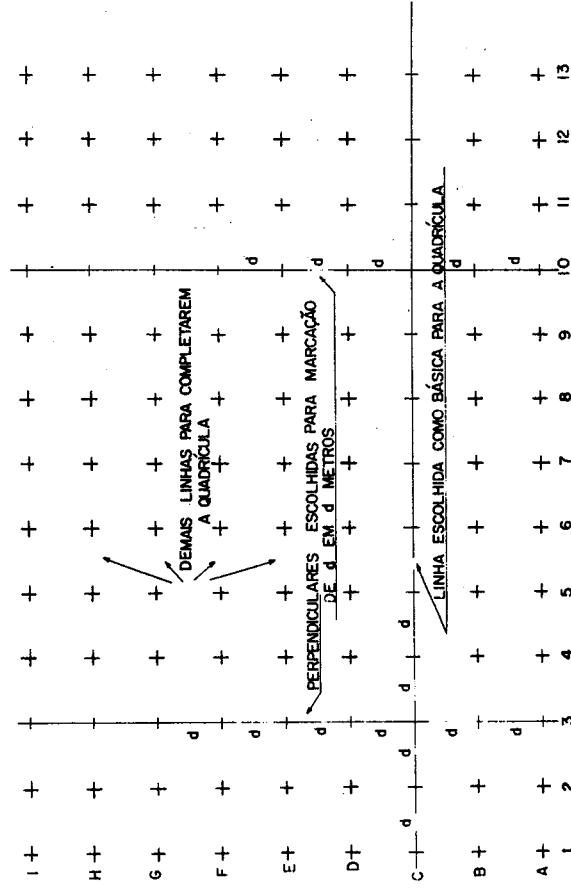


Figura 6.12 - Exemplo de quadrículação

A operação seguinte no campo será o nivelamento geométrico de todas as estacas.

A quadriculação é muito trabalhosa e demorada, enquanto que o nivelamento geométrico é extremamente rápido.

ESCOLHA DO VALOR d

Nota-se facilmente que quanto menor for d mais trabalho e tempo gastaremos na quadriculação, porém a precisão do trabalho será maior, pois acompanharemos melhor a sinuosidade do terreno. Por isso, caberá ao profissional escolher o valor mais indicado para d , em função da sinuosidade da superfície do pólo, das dimensões do terreno e da maior ou menor necessidade de precisão. Depende também do comprimento da trena que usaremos. Por exemplo: se usarmos uma trena de 20m, não é inteligente usar $d = 30m$, pois o trabalho será maior. Em geral, os valores mais usados para d são 20m ou 10m.

No escritório, iniciamos pelo desenho da quadricula na escala escolhida. Em seguida procedemos à interpolação para marcar no desenho os pontos de cota inteira. Finalmente, ligando os pontos de mesma cota, são traçadas as curvas de nível.

INTERPOLAÇÃO

Trata-se de uma atividade simples, pois considera-se o terreno como uma linha reta entre os 2 pontos de cota conhecida, determinando assim os pontos de cota inteira existentes entre eles. A interpolação pode ser feita pelo método do gráfico ou pelo método analítico, ambos simples.

Alguns exemplos de interpolação gráfica.

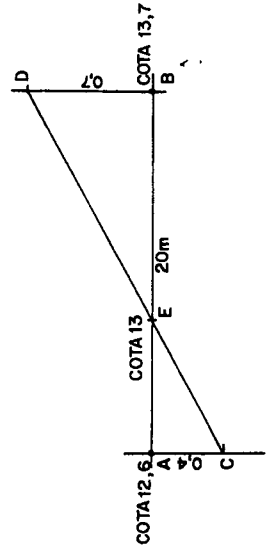


Figura 6.13 - Interpolação gráfica

Na Fig. 6.13 os pontos de cotas conhecidos são A e B, distantes entre si de 20m, em escala 1:200. Pelos pontos A e B foram traçadas 2 retas paralelas, não necessariamente perpendiculares a AB. Nelas foram marcadas as distâncias 0,4 e 0,7 em qualquer escala, contanto que iguais. São os valores para chegar de 12,6 a 13 (0,4) e de 13,7 a 13 (0,7). Obtemos os pontos C e D. Traçando a reta CD, ela cruza AB em E, que é justamente o ponto de cota 13 na reta AB. A interpolação analítica é baseada na semelhança dos triângulos ACE e BDE

$$\frac{AE}{AB} = \frac{AC}{AC+BD} \quad \text{no caso } AE = 20 \frac{0,4}{1,1} = 7,27m$$

Conhecendo-se AE (7,27), o ponto E será marcado na reta AB usando-se a mesma escala 1:200.

Outro exemplo

Foram traçadas as retas AC e BD paralelas entre si (Fig. 6.14). Na reta BD foram marcados os pontos 18, 19, 20 e 21 em distâncias de 0,4 e depois de 1,0 em 1,0 em qualquer escala escolhida. Na reta AC, a partir de A, foram marcadas os pontos 21, 20, 19 e 18 em distâncias de 0,8 e depois de 1,0 a 1,0 nas mesma escala usada em BD. Liga-se o ponto 18 de BD com o ponto 18 em AC; esta reta cruzou com AB em E, que é o ponto de cota 18. Em seguida foram tiradas as retas paralelas 19-F, 20-G e 21-H.

Interpolação analítica: a reta AB mede 22,4m. Então:

$$BE = 22,4 \frac{0,4}{21,8 - 17,6} = 2,13m \quad 0,4 = 18,0 - 17,6$$

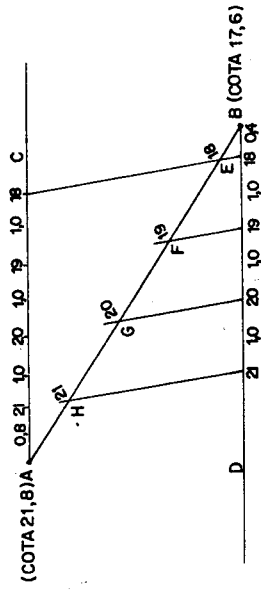


Figura 6.14 - Interpolação gráfica

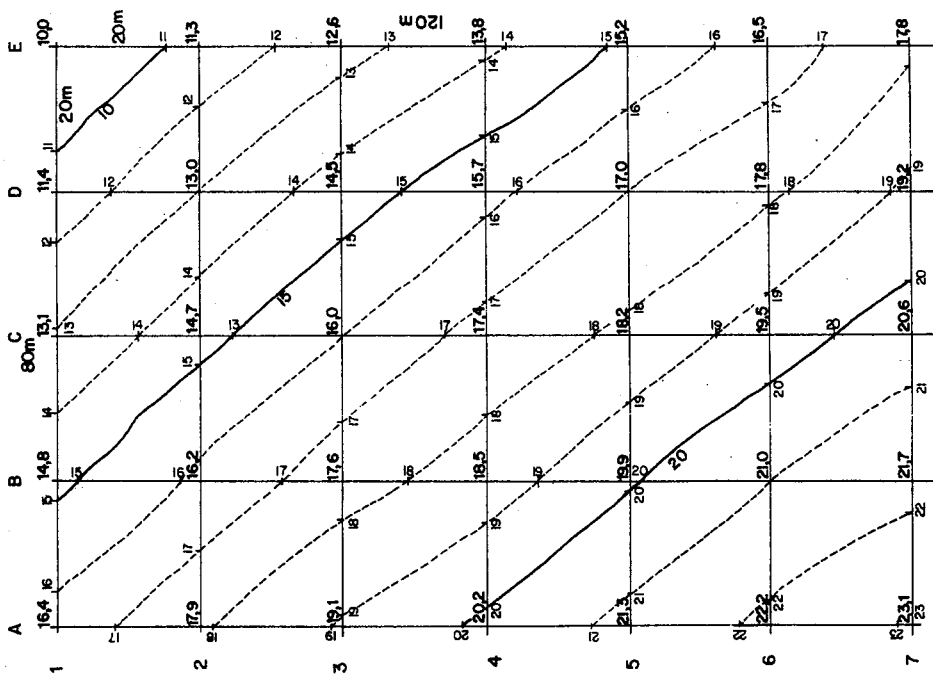


Figura 6.15

$$BF = 22,4 \frac{1,4}{21,8 - 17,6} = 7,47m$$

$$BG = 22,4 \frac{2,4}{21,8 - 17,6} = 12,80m$$

$$BH = 2,24 \frac{3,4}{21,8 - 17,6} = 18,13m$$

21,8 - 17,6 = 4,2 é a diferença total de cota entre A e B.

A Fig. 6.15 apresenta o resultado final da aplicação do método da quadrícula num retângulo de 80m x 120m. A quadrícula foi feita de 20 em 20

metros. Para facilitar os cálculos as cotas foram arredondadas para uma decimal (dm) e a interpolação foi analítica. Deve-se ressaltar de que, na prática, o arredondamento não deve ser feito, mantendo-se no cálculo as cotas até a casa dos centímetros obtidos no nivelamento geométrico do campo. Por outro lado, o uso do milímetro é um exagero, pois não modifica em nada o resultado obtido e aumenta substancialmente os trabalhos no campo e no escritório.

2.º — MÉTODO DA IRRADIAÇÃO TAQUEOMÉTRICA
Atividades no campo

- a) - estabelecimento e levantamento planimétrico das poligonais principais e secundárias
- b) - nivelamento geométrico das poligonais principais e secundárias
- c) - irradiação taqueométrica
- a) Estabelecimento e levantamento planimétrico das poligonais

Este é um processo aplicável em terrenos de maior porte, onde o método

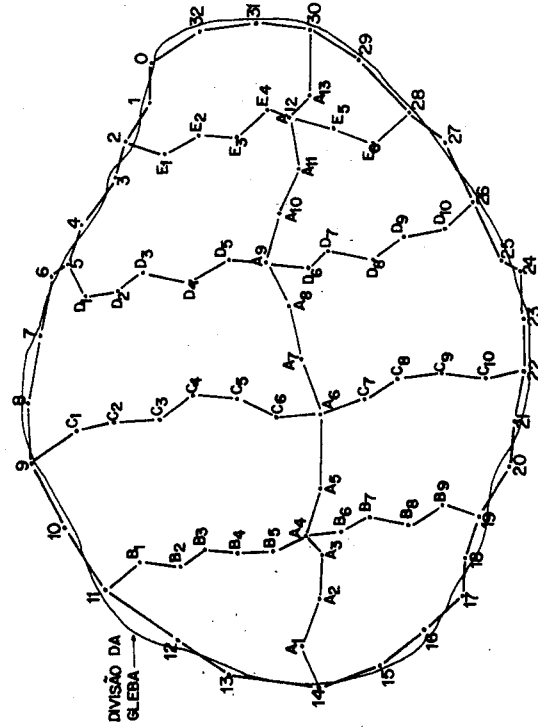


Figura 6.16 - Poligonal principal e 5 poligonais secundárias estabelecidas para aplicação do método de irradiação taqueométrica

da quadriculação se torna impróprio pelo tempo e custo inaceitáveis. Procurando dar um exemplo: caso a Fig. 6.16 esteja em escala 1:5.000, o terreno nela representado teria aproximadamente 450.000m^2 , cerca de 45 hectares ou ainda 18 alqueires.

Pode-se imaginar facilmente a total impossibilidade econômica de quadricular um terreno deste porte, se compararmos com o retângulo da Fig. 6.15, cuja área é de 9.600m^2 , menos de 1 hectare. A poligonal principal foi estabelecida com 33 estacas (de 0 a 32) acompanhando os limites do terreno. Em seguida foram estabelecidas 5 poligonais secundárias. A poligonal A saindo da estaca 14 da principal e chegando na estaca 30, com 14 lados; a poligonal B, de 11 a 19 com 11 lados; a poligonal C, de 9 a 22, com 12 lados; a poligonal D, de 5 a 26 com 12 lados; e a poligonal E, de 2 a 28 com 8 lados.

A escolha destas poligonais é livre, porém o profissional deve fazê-lo de modo racional, para que de suas estacas possam ser atingidas taqueometricamente todas as regiões do terreno, para isso devemos lembrar que o alcance taqueométrico é de , no máximo, aproximadamente 80m, para ser possível a estima do milímetro na mira.

O levantamento planimétrico das poligonais deve ser feito por caminhar com teodolito e trena. Os ângulos horizontais devem ser medidos e verificados e as distâncias com medidas à trena por ida e volta, para verificação. A tolerância no erro de fechamento angular deve ser de \sqrt{n} em minutos, sendo n o número de estacas na poligonal principal. Para as poligonais secundárias pode-se aceitar $2\sqrt{n}$, sendo n , o número de estacas na poligonal secundária. O erro de fechamento linear na poligonal principal deverá ser, no máximo, de 1:2.000 e nas poligonais secundárias de 1:1.000.

b) Nivelamento geométrico das estacas das poligonais

As estacas das poligonais devem ter suas cotas determinadas com precisão centimétrica, porque servirão de base para a irradiação taqueométrica. Por isso, somente o caminhar por nivelamento geométrico pode ser empregado na determinação destas cotas. A poligonal principal, por ser fechada, não exigirá contranivelamento, caso o fechamento altimétrico esteja enquadrado dentro do limite de 1cm por quilômetro percorrido. O mesmo ocorrerá com os posteriores nivelamentos das poligonais secundárias. Como

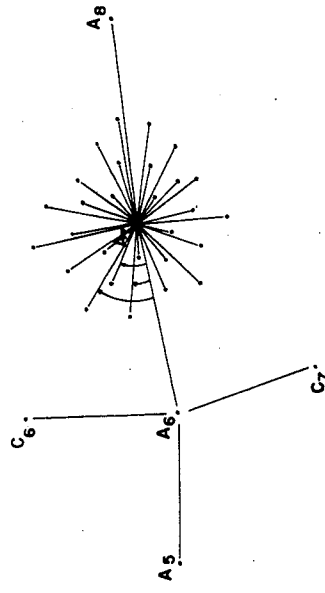


Figura 6.17 - A partir da estaca A7 foram visados inúmeros pontos dispersos pelo terreno até o alcance da taqueometria. Para obtenção dos ângulos horizontais foi usada a visada para A6 com referência.

sempre, é necessário que se escolha um equipamento apropriado, e o nível para esta atividade deverá ser de boa precisão, de preferência com parafuso de elevação para ajuste de bolha para cada visada. Ressalte-se que o nível deve ser verificado, tendo a linha de vista paralela ao eixo da bolha.

c) Irradiação taqueométrica

Esta atividade é aquela que dá nome ao método. A Fig. 6.17 procura exemplificá-la. O taqueômetro foi estacionado na estaca A7. A visada inicial foi para A6, como origem dos ângulos horizontais. A mira foi colocada apoiada diretamente no terreno em pontos aleatórios, porém escolhidos com bom senso. O taqueômetro visa para mira onde são feitas as 3 leituras (superior, central e inferior); é lido o ângulo vertical no círculo vertical e o ângulo horizontal no círculo horizontal. É uma operação rápida, onde um topógrafo experiente consome de 2 a 3 minutos e em seguida visa outro ponto. É mesmo aconselhável que hajam 2 auxiliares, cada um com uma mira para acelerar o trabalho. Desta forma, em 8 horas de trabalho diário, torna-se

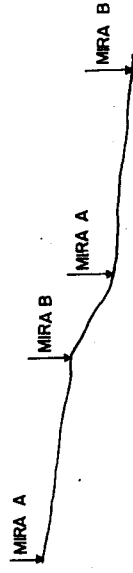


Figura 6.18 - Mostra que as distâncias entre as miras devem variar em função da sinuosidade do terreno.

possível a visada para cerca de 200 pontos. Os 2 auxiliares que segurarão as miras A e B devem ser previamente instruídos para colocarem-se em pontos tanto distantes quanto possível de uma mira a outra, tendo em vista que o terreno não muda sensivelmente de declividade, para maior rendimento. Veremos um exemplo na Fig. 6.18.

Outro aspecto importante: tendo em vista que os pontos irradiados serão localizados no desenho por transferidor e escala, a leitura dos ângulos horizontais pode variar de 20 em 20', pois considera-se que 20' seja a menor parcela possível de ser distinguida no transferidor. Isso trará grande aceleração no trabalho de campo.

O emprego de taqueômetros auto-redutores na irradiação taqueométrica irá acelerar tanto os trabalhos de campo como, principalmente, os de escritório. Destaque-se o modelo KIRA, da fábrica KERN, como o mais rápido e eficaz nesta operação. O ideal será o emprego de distanciômetros eletrônicos, somente proibitivos pelo seu alto preço.

ATIVIDADES DE ESCRITÓRIO

- a - cálculo e desenho das poligonais
- b - locação dos pontos irradiados
- c - interpolação
- d - traçado das curvas de nível

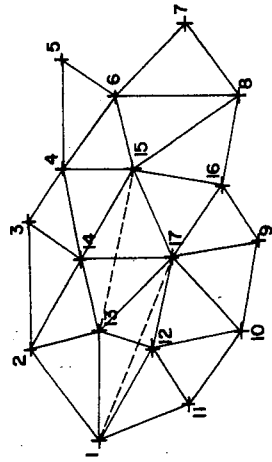


Figura 6.19 - As linhas contínuas representam as interpolações corretas. A linha tracejada 13 - 15 desrespeita a 2.^a regra. A linha tracejada 1 - 17 desrespeita a 3.^a regra, porque passa muito perto da estaca 12. Uma eventual interpolação entre as estações 2 e 15 desrespeitaria a 1.^a regra, pois desconhecera a existência da estaca 14 de cota conhecida.

a) cálculo e desenho das poligonais

As poligonais serão calculadas, com toda a seqüência exposta no nosso volume 1, isto é:

- determinação do erro de fechamento angular
- distribuição deste erro
- cálculo das coordenadas parciais
- determinação dos erros de fechamento linear: e_x (erro nas abscissas) e e_y (erro nas ordenadas) e e_f (erro de fechamento linear absoluto) e 1:M (erro de fechamento linear relativo).
- desde que aceite o erro de fechamento linear relativo, devemos proceder ao reajuste das coordenadas por um dos dois métodos expostos:
 - procura do ponto mais a oeste
 - cálculo das coordenadas totais com origem no ponto mais a oeste.
- cálculo da área da poligonal principal por um dos dois métodos expostos: método das duplas distâncias meridianas ou método das coordenadas totais, também conhecido como método das coordenadas dos vértices.

O desenho das poligonais será feito com as coordenadas totais, após a quadrículação do papel.

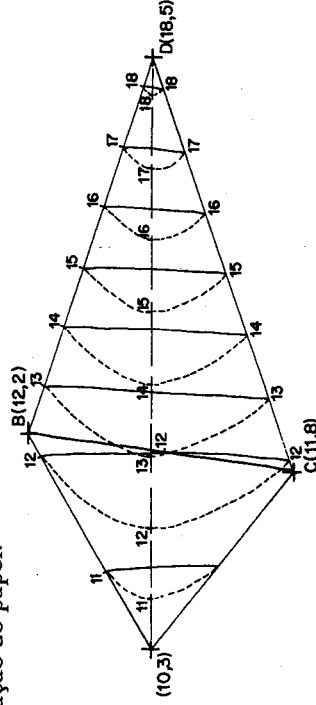


Figura 6.20 - Caso fossem feitas apenas as interpolações corretas AB, BC, AC, CD e BD, as curvas de nível seriam as linhas contínuas. Acentuada a interpolação incorreta AD passariam a ser as tracejadas que, como se vê, foram repuxadas para o lado de A, inclusive obrigando a curva 13 a atravessar a reta BC, onde não pode haver pontos com esta cota.

b) - *localização dos pontos irradiados.*

Desde que não se possua um instrumento de desenho sofisticado chamado de coordenatógrafo, os pontos irradiados serão localizados com a direção dada por transferidor e a distância por escala. O coordenatógrafo é um instrumento onde pode-se entrar com ângulo horizontal e distância e ele localizará o ponto, ou pode-se ainda entrar com as coordenadas ortogonais x e y (cartesianas).

c) - *interpolação entre os pontos irradiados*

Tendo em vista as explicações sobre interpolações já fornecidas anteriormente, vamos apenas ressaltar alguns aspectos:

Os pontos a serem interpolados estarão dispostos de maneira desordenada e não em forma de quadrícula, como no 1.º processo. Então é importante saber quais as interpolações que devem ser feitas e quais as que não devem ser feitas. Para isso, vamos citar 3 regras:

- 1.ª - Somente interpolar entre pontos imediatamente próximos
- 2.ª - Não cruzar direções de interpolação
- 3.ª - Não passar uma direção de interpolação muito perto de pontos de cota conhecida.

A Fig 6.19 tentará explicar. Procuramos mostrar o desrespeito a cada uma das 3 regras. Quando ocorrerem o desrespeito a estas regras, as curvas de nível resultarão deslocadas, deformadas e, certas vezes, até com indeterminações. Para mostrar estes erros, vamos usar o exemplo da Fig. 6.20. Pode-se notar neste exemplo que uma inadequada interpolação entre A e D faria supor que o terreno fosse uniformemente inclinado entre estes 2 pontos, quando na realidade apresenta menor aclive entre A e a reta B-C e um maior aclive entre B-C e D.

d) *traçado das curvas de nível*

Após obtermos diversos pontos de mesma cota, obtidos por interpolação, devemos ligá-los por uma linha contínua formando a curva de nível. Porém também aqui devemos obedecer a certas regras. A ligação não deve ser feita enquanto não forem obtidos muitos pontos da mesma cota e mesmo outros de outras cotas. Isso porque poderão ser ligados erradamente. Veja que havendo

apenas três pontos de mesma cota (1, 2, 3), existem 4 possibilidades de ligação; vê-se na Fig. 6.21 a, b, c, d.

Só saberemos qual a ligação correta quando tivermos outros pontos da mesma cota e de outras cotas também.

A ligação dos diversos pontos de mesma cota deverá ser através de uma linha contínua e intuitiva, sem mudanças bruscas de direção. A Fig. 6.22 tenta mostrar o traçado da curva.

3.º — MÉTODO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Este método é especificamente usado para a obtenção de curvas de nível em faixas, isto é, terrenos com pequena largura e longos comprimentos. É fácil relacioná-lo imediatamente com o projeto de linhas de transporte: estradas, linhas de transmissão, adutoras, oleodutos, etc. Em levantamentos de linhas de ensaio (linhas básicas), por exemplo, são obtidas curvas de nível em faixas com cerca de 300m de largura com o comprimento previsto pela estrada, dezenas ou até centenas de quilômetros. Trata-se de método onde a precisão é de média qualidade, porém suficientemente boa para a elaboração do projeto planimétrico e altimétrico da estrada.

Atividades no campo

- a) estabelecimento e levantamento planimétrico da poligonal
- b) nivelamento geométrico da poligonal
- c) levantamento plano-altimétrico das seções transversais.

a) *estabelecimento e levantamento planimétrico da poligonal*

Inicialmente são colocadas as estacas 0, I, II, III, IV etc. que estabelecem uma poligonal cujo percurso foi previamente escolhido por um anteprojeito. Em seguida fará o levantamento planimétrico desta poligonal, com medidas dos ângulos horizontais com teodolitos de alta precisão (mínimo de 10" de leitura), devidamente verificados por repetição. Como orientação, geralmente

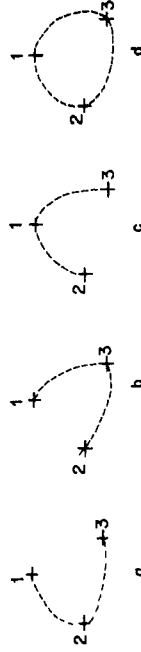


Figura 6.21



Figura 6.22

prefere-se os azimutes verdadeiros, partindo-se da determinação do meridiano (norte verdadeiro) na 1.^a estaca, com visadas ao sol ou estrelas. Convém proceder verificação a cada 5 km, com novas visadas aos astros. Não se pode esquecer de levar em conta a convergência dos meridianos, mormente em altas latitudes. A razão destes cuidados está no fato de se tratar de levantamento de uma poligonal aberta, portanto sem possibilidade de verificação do erro de fechamento angular. Desvios angulares, mesmo pequenos iniciais, podem deslocar grandes distâncias nos pontos mais afastados. Na medição do comprimento dos lados aproveita-se para a colocação de estacas de d em d metros (o valor de d é de livre escolha do profissional, porém em estradas usa-se 20m como padrão). Toma-se ainda cuidado de se manter o valor d nas estações de mudança de direção. Ou seja, para $d = 20m$, caso a distância medida entre 19 em 1 (Fig. 6.23) seja 7,28m, a estaca 20 será colocada de modo a que 1 - 20 seja 12,72m, totalizando portando o valor $d = 20m$. Este procedimento facilita a identificação do local onde nos encontramos, pois o número da estaca multiplicado por 20m indica a distância em que estamos da estaca zero; por exemplo: na estaca 2123 estamos a 42.460m da origem.

b) nivelamento e contranivelamento geométrico das estacas

Para isso dividimos a extensão total em trechos de 3, 4, 5 quilômetros e fazemos o nivelamento geométrico seguido do contranivelamento de todas as

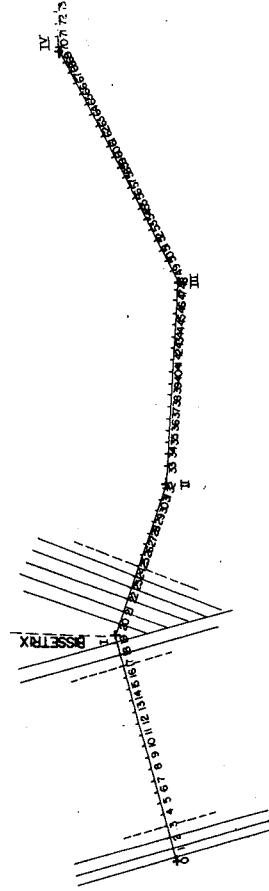


Figura 6.23

estacas, as dos vértices (algarismos romanos no nosso exemplo) e as de d em d metros (algarismos arábicos). É bom lembrar que, que para aceleração dos trabalhos, pode-se fazer o nivelamento dos trechos simultaneamente, posteriormente acertando todos eles à mesma referência de nível. Nestes nivelamentos geralmente aceitamos erros de até 1cm por quilômetro, reajustando em seguida. Deve-se empregar níveis de boa precisão, sejam automáticos ou tipo inglês com parafuso de elevação, testados diariamente antes do início do trabalho do dia, na sua principal condição de paralelismo entre eixo da bolha e linha de vista. Apesar de ter sido mostrado no volume 1 o procedimento para este teste, vamos repeti-lo aqui.

Próximo do local de guarda dos níveis e, portanto, de onde eles sairão pela manhã, mantemos 2 estacas A e B distantes cerca de 60m (Fig. 6.24), cuja diferença de cota (a) deve ser previamente conhecida. Nas estacas A e B podem ser mantidas permanentemente 2 miras, quem sabe já em desuso, escoradas por madeiras. Cada topógrafo estacionará seu nível atrás de A e mais próximo possível, contanto que possa focalizar a mira. Com a bolha rigorosamente centrada fará a leitura l_1 , na mira A. E, imediatamente, calculará qual deverá ser a leitura l_2 em B para que a linha de vista seja horizontal: $l_2 = l_1 + a$. Em seguida, verifica se obtém este valor l_2 ; caso contrário ajustará para esta leitura. Esta operação poderá dispendir no máximo 5 minutos e evitará o uso do nível desretificado. Simples, não é verdade? Caso B tenha cota superior a A: $l_2 = l_1 - a$. Para os níveis automáticos procede-se da mesma forma, podendo-se ajustar o dispositivo do automatismo caso desregulado.

c) levantamento planométrico das seções transversais

Esta é fase do trabalho de campo que dá nome ao processo que vai

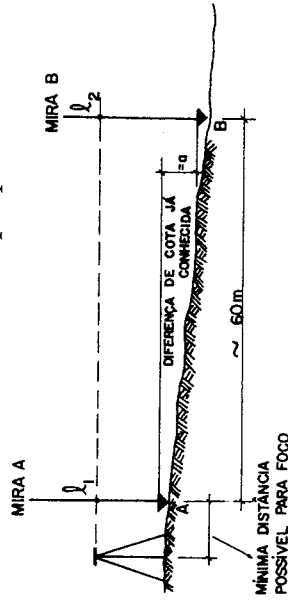


Figura 6.24

obter cotas de pontos diversos dentro da faixa a ser levantada. Originalmente, este levantamento era feito com aparelhos expeditos (rápidos) e de baixa precisão como pantômetro, níveis de mão ou clinômetros (clisímetros). Atualmente, dá-se preferência ao emprego de taqueômetros, especialmente os auto-redutores.

- emprego de taqueômetros

O taqueômetro será estacionado em cada uma das estaca de d em d metros (arábicas) e girando 90° a partir da visada inicial, feita ao longo da poligonal, estará visando para a perpendicular. Ao longo da perpendicular fará leituras de mira e ângulos verticais para, por taqueometria, obter distâncias horizontais e cotas de diversos pontos para um e outro lado, até seu alcance. Em seguida, o taqueômetro será estacionado no último ponto alcançado de cada lado, continuando até o limite da cada lado previsto para o levantamento da faixa. O emprego do taqueômetros auto-redutores acelera o trabalho de campo e principalmente o de escritório nos cálculos. Vê-se na Fig. 6.23 que nas estações de mudança de direção, para o lado externo, ficará uma região não levantada; pode-se então tirar uma bissetriz como seção na estaca I, por exemplo.

— emprego de equipamentos rápidos e de baixa precisão

Pantômetros. São aparelhos elementares que possuem 2 linhas de vista perpendiculares entre si, geralmente através de pínulas; podem ser chamados também de esquadros. Um deles é o pantômetro de cilindro; trata-se de uma peça cilíndrica com 2 conjuntos de pínulas formando 2 linhas de vista perpendiculares (Fig. 6.25) onde o cilindro é mostrado em vista lateral e em corte; as duas visadas A e B são perpendiculares entre si. Foi acoplado sobre um tripé, com possibilidade de ser verticalizado. Dirigimos uma linha

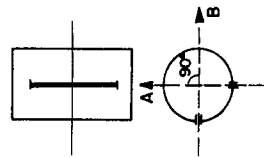


Figura 6.25 - Pantômetro de cilindro

de vista na direção da reta da poligonal e a outra linha de vista mostrará o alinhamento da seção transversal. Naturalmente a precisão é pequena, mas a operação será muito mais rápida do que a de um teodolito. Existem outros tipos de esquadros, como o de prisma, por exemplo; trata-se de um acessório de pequeno porte munido de um prisma de 45° . Vemos pelas Fig. 6.26a e 6.26b que a linha de vista que sai (B) é sempre perpendicular a que entra (A). Segura-se o prisma com as mãos estando-se sobre a estaca da poligonal, de forma que a linha de vista B vise ao longo da reta da poligonal. A linha de vista A estará na perpendicular, onde procuramos alinhar outra baliza, de

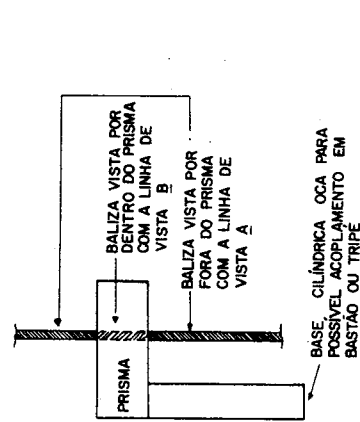


Figura 6.26a - Vista lateral

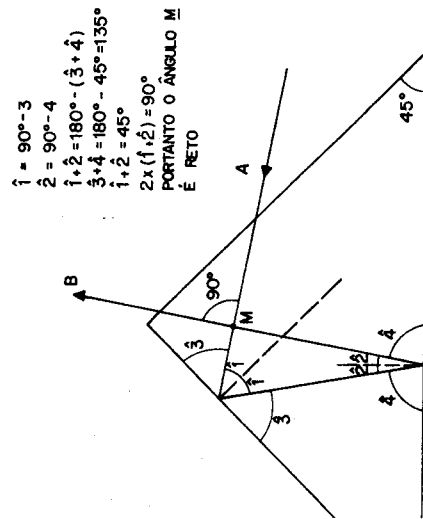


Figura 6.26b - Esquadro de prisma

forma que as duas se completam conforme mostra a Fig. 6.26a. Note-se que a baliza da seção transversal é vista por fora do prisma, enquanto que a outra é vista por dupla reflexão no prisma. O problema da refração é anulado, pois a linha vista inicialmente passa do ar para o cristal e posteriormente do cristal para o ar, portanto anulando o desvio.

Nível de mão. É também um acessório de baixa precisão, que procura os pontos de cota inteira diretamente no campo.

A Fig. 6.27 mostra o nível de mão em corte longitudinal e depois em corte transversal. O tubo poderá ser de seção quadrada ou circular. Segura-se o nível com a mão (sem tripé) procurando ver a bolha centrada no retículo e faz-se a leitura de mira. Como o tubo não possui lentes, o alcance do aparelho é muito limitado (cerca de 10 metros) e assim mesmo para leitura apenas até centímetros. Mas o nivelamento e leitura são tão rápidos que podemos afastar ou aproximar a mira de forma a obter uma leitura predeterminada, para que esteja sobre um ponto de cota inteira. Vamos exemplificar na Fig. 6.28.

O nível de mão está colocado sobre a estaca n , cuja cota conhecida é 15,26 a 1,50m acima, seguro junto a uma baliza; sabemos então que a mira só estará sobre um ponto de cota 15 quando a leitura for 1,76, isto é, 0,26 maior que 1,50. Em seguida, baliza e nível irão para cota 15 e a mira descerá até que a leitura seja 2,50m, isto é, 1m maior que a altura do nível (1,50m) na baliza. As distâncias horizontais m_1 , m_2 etc. serão medidas com trena. A rapidez do manejo e o fato de determinar pontos de cota inteira diretamente no terreno, até certo ponto compensam sua baixa precisão.

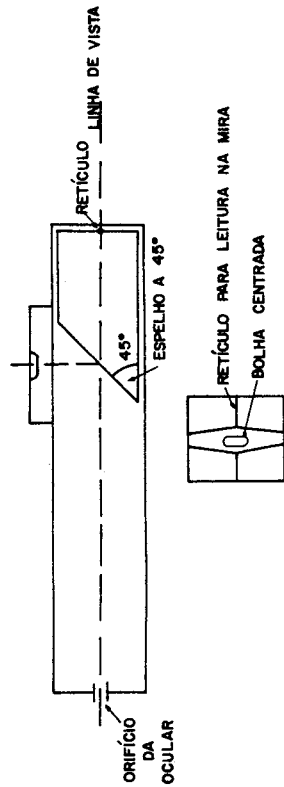


Figura 6.27 - Nível de mão

Crê-se que numa seção de 100m poderá errar até cerca de 0,50m na cota. Este erro não deslocará exageradamente as curvas de nível. Mas para isso deverá ser verificado que quando a bolha estiver centrada a linha de vista seja horizontal. Esta verificação é muito simples e rápida. Vamos mostrá-la na Fig 6.29. Usamos 2 pontos no terreno, distante 8 a 10m (A e B). Com o nível de mão em A a 1,50 de altura faremos a leitura l_1 em B. Depois com o nível em B faremos a leitura l_2 em A.

Somando temos $l_1 + l_2 = 3,00$. Esta será a condição para o nível estar retificado. Vamos dar um exemplo do nível desretificado

$$\begin{array}{l} l_1 = 2,12\text{m} \\ l_2 = 1,18\text{m} \\ l_1 + l_2 = 3,30\text{m} \\ 2 \times \text{erro} = 0,30 \\ \text{erro} = 0,15 \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{leituras corretas } l_1 = 1,97 \\ l_2 = 1,03 \\ l_1 + l_2 = 3,00 \\ \text{erro} = 0,15 \end{array}$$

Geralmente os níveis de mão têm o espelho deslocável; então, visando de B para A, colocamos a leitura em 1,03 e deslocamos o espelho até que a bolha apareça centrada.

A anotação de caderneta para levantamentos com níveis de mão aparece a seguir onde n é o número da seção, nos numeradores aparecem as cotas encontradas e nos denominadores as respectivas distâncias horizontais, medidas à trena.

$$\text{etc. } \frac{18}{m_3} \frac{17}{m_2} \frac{16}{m_1} \triangle n \frac{15}{15,26 \text{ m}} \frac{14}{m_2} \frac{13}{m_3} \text{ etc.}$$

Clinômetros. Um dos modelos de clinômetro mais usado é o chamado nível de Abney. É um pequeno aparelho semelhante ao nível de mão, porém com um detalhe a mais: tira linhas de vista inclinada, medindo esta inclinação em graus, gradus ou porcentagens de rampa (tangente do ângulo vertical). A Fig. 6.30 mostra o nível de Abney na posição horizontal, portanto a linha de vista está horizontal e encontrando o espelho E a 45° reflete-se verticalmente, vendo a bolha centrada, e a haste que está presa à bolha indica a leitura de 0° no semicírculo. Quando o aparelho se inclina no ângulo α (Fig. 6.31) para centrarmos a bolha devemos deslocar a haste, produzirá no

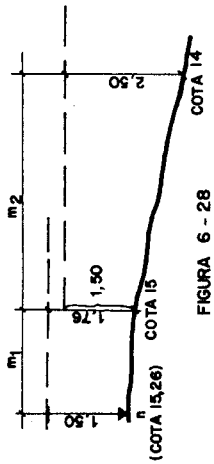


Figura 6.28

semicírculo vertical a leitura α . Para utilizarmos o aparelho no campo, seguimos junto a uma baliza na altura de 1,50m e visamos para outra baliza na mesma altura. Assim a linha de vista estará sensivelmente paralela ao terreno e o ângulo α representará a sua inclinação (Fig. 6.32). As distâncias a_1, a_2, a_3, a_4 , etc são medidas a trena e podem ser variáveis em terrenos irregulares ou constantes (10m, por exemplo) em terrenos uniformemente inclinados.

$\alpha = \text{DIFERENÇA DE COTA ENTRE A e B}$
 $Q_1 = 1,50 + \alpha$
 $Q_2 = 1,50 - \alpha$

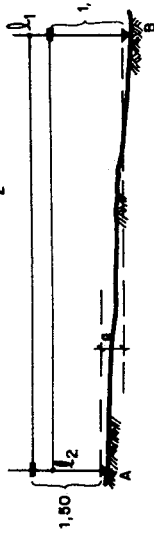


Figura 6.29

ATIVIDADES NO ESCRITÓRIO

- a — cálculo e desenho da poligonal
 - b — desenho das seções transversais
 - c — interpolação
 - d — traçado das curvas de nível
- a) *cálculo e desenho da poligonal*

Com o conhecimento dos azimutes verdadeiros das linhas e seus comprimentos

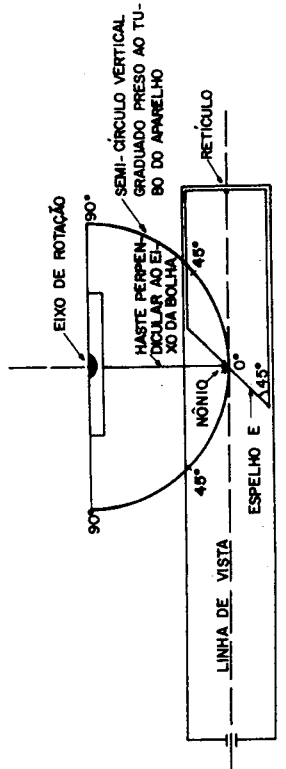


Figura 6.30 - Nível de Abney em posição horizontal. O semi-círculo está preso ao corpo do aparelho e inclina-se com ele.

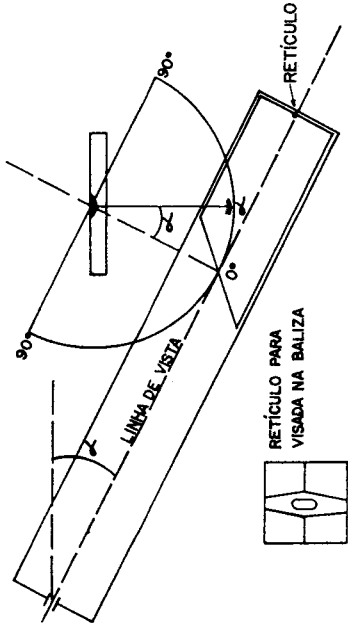


Figura 6.31 - Nível de Abney em posição inclinada

mentos serão calculadas as coordenadas (x e y) dos lados. Não haverá constatação de erro de fechamento linear, pois a poligonal é aberta. No entanto, caso sejam conhecidas com absoluta segurança as coordenadas totais dos pontos inicial e final, então o erro de fechamento poderá ser determinado e, caso aceito, será distribuído. As coordenadas totais dos pontos inicial e final geralmente serão em coordenadas U.T.M. (Universal Transversa de Mercator) que é o sistema de projeção cartográfica mais usado em nosso país. O desenho da poligonal será com as coordenadas totais de cada vértice, tomando como origem o ponto inicial com as coordenadas que tiver.

b) *desenho das seções transversais*

Tiradas as perpendiculares às linhas em cada estaca, estarão traçadas as seções transversais. Nelas serão representadas os pontos obtidos com a taqueometria com as respectivas cotas.

c) *interpolação*

Serão executadas pelos métodos gráficos ou analíticos já conhecidos. Interpola-se entre pontos da mesma seção e excepcionalmente entre pontos

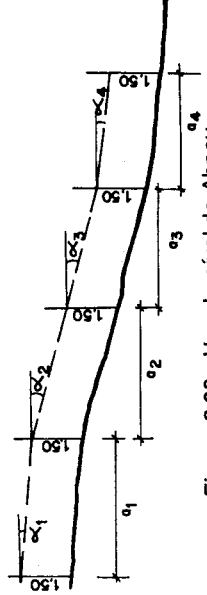


Figura 6.32 - Uso do nível de Abney

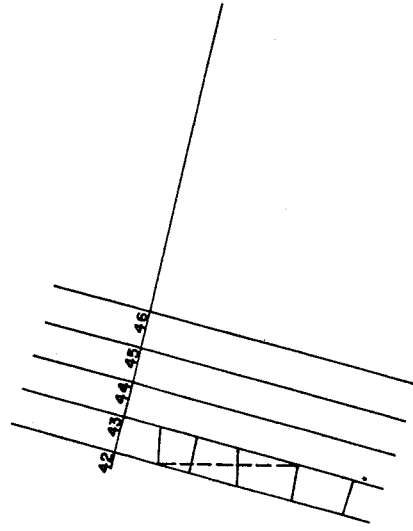


Figura 6.33

de duas seções consecutivas, tendo porém o cuidado de fazê-lo em alinhamento quase perpendicular às seções, como mostra a Fig. 6.33. As linhas cheias ligando pontos entre as seções 42 e 43 são normais, enquanto a linha pontilhada é uma interpolação absurda.

d) traçado das curvas de nível

A ligação entre pontos da mesma cota formará a curva de nível. Não há nenhuma recomendação além daquelas já mencionadas nos métodos anteriores.

APLICABILIDADE DOS TRÊS MÉTODOS

Agora que já conhecemos os três processos, podemos fazer um comentário comparativo. O *primeiro método*, da quadriculação, é o de maior precisão, quase perfeito quando aplicado com cuidado. A localização dos pontos do quadriculado no terreno poderá ter um erro desprezível, caso se tirem as perpendiculares com teodolitos e as distâncias sejam medidas cuidadosamente com trena. O nivelamento geométrico das estacas, por sua vez, também apresenta erro desprezível. A escolha do valor d (lado do quadrado) deve estar de acordo com a sinuosidade do terreno. Portanto as curvas de nível obtidas na planta não deverão ter qualquer deslocamento sensível. Porém é um método extremamente demorado e conseqüentemente oneroso. Isso faz com que seja um método praticamente obrigatório para pequenas áreas e proibitivo para áreas maiores. O limite só a prática determinará, mas uma área, por exemplo de cerca de 10.000m², poderá ser levantada em 2 ou 3 dias de trabalho, portanto sem problemas. Já uma área de 100 hectares (1.000.000m²) tornará o

trabalho sem previsão de tempo, alguns meses talvez. Vamos lembrar que o tempo será gasto primordialmente com a quadriculação, pois o nivelamento geométrico é rápido. Exemplificando, quando o levantamento é feito para o projeto de um trabalho de terraplenagem, é o método mais indicado custe o que custar, pois a terraplenagem será ainda muito mais dispendiosa, justificando portanto um levantamento quase perfeito.

O *segundo método*, de irradiação taqueométrica, destina-se a grandes áreas, naturalmente limitadas pelo valor que justifique um trabalho topográfico, pois acima deste valor a aerofotogrametria seria mais indicado. É um método onde as curvas de nível podem parecer um pouco deslocadas da realidade, porém não deformadas, sempre considerando que o método tenha sido bem aplicado, naturalmente. Sua falha está na obtenção das cotas das cotas dos pontos irradiados por taqueometria. Um exemplo bem característico de sua aplicação na engenharia civil é o levantamento de glebas para projetos de arruamento e loteamento.

O *terceiro método*, de seções transversais, é sempre aplicado para a obtenção de curvas de nível em faixas, ou seja, terrenos com pouca largura e muito comprimento. É o caso específico de linhas de transporte em geral; estradas, adutoras, oleodutos, linhas de transmissão, etc. Sua precisão é baixa, porém suficientemente boa para a fase do projeto.

Aerofotogrametria

Para áreas muito grandes o método apropriado será o de aerofotogrametria, que por sua vez, é inaplicável para pequenas áreas. Não há portanto atrito entre as duas atividades: topografia e aerofotogrametria, já que as duas se completam.