

# **T O P O G R A F I A**

Apostila de Topografia para  
Engenharia Civil e Arquitetura

Elaborado pela Profa Maria  
Cecília B. Brandalize  
PUC - PR

1. Topografia-----	1
2. Modelos Terrestres-----	2
3. Erros em Topografia-----	7
4. Grandezas Medidas num Levantamento Topográfico-----	9
5. Unidades de Medida-----	12
6. Desenho Topográfico e Escala-----	14
7. Critérios para a Escolha da Escala de uma Planta-----	15
8. Medida de Distâncias-----	19
8.1. Medida Direta de Distâncias-----	19
8.2. Precisão e Cuidados na Medida Direta de Distâncias-----	25
8.3. Métodos de Medida com Diastímetros-----	25
8.3.1. Lance Único - Pontos Visíveis-----	25
8.3.2. Vários Lances - Pontos Visíveis-----	26
8.3.3. Traçado de Perpendiculares-----	27
8.3.4. Transposição de Obstáculos-----	30
8.3.5. Erros na Medida Direta de Distâncias-----	31
8.3.6. Exercícios-----	34
8.4. Medida Indireta de Distâncias-----	35
8.5. Métodos de Medida Indireta-----	37
8.5.1. Distância Horizontal - Visada Horizontal-----	37
8.5.2. Distância Horizontal - Visada Inclinada-----	39
8.5.3. Distância Vertical - Visada Ascendente-----	40
8.5.4. Distância Vertical - Visada Descendente-----	42
8.5.5. Erros nas Medidas Indiretas de Distâncias-----	42
8.5.6. Exercícios-----	44
8.6. Medida Eletrônica-----	45
8.7. Erros na Medida Eletrônica-----	57
9. Posicionamento por Satélites-----	58
10. Dispositivos de Segurança-----	61
11. Medidas Angulares-----	62
11.1. Ângulos Horizontais-----	62
11.2. Ângulos Verticais-----	68
11.3. Ângulos de Orientação-----	69
11.4. Exercícios-----	72
11.5. Exercícios Propostos-----	73
12. Métodos de Levantamentos Planimétricos-----	74
12.1. Levantamento por Irradiação-----	74
12.2. Levantamento por Interseção-----	75
12.3. Levantamento por Caminhamento-----	76
12.4. Processamento dos Dados-----	80
12.5. Exercícios-----	82
13. Levantamentos Altimétricos-----	84
13.1. Nivelamento Barométrico-----	85
13.2. Nivelamento Trigonométrico-----	86
13.3. Nivelamento Geométrico-----	87
13.3.1. Simples-----	89

13.3.2. Composto-----	90
13.4. Precisão do Nivelamento-----	91
13.5. Exercícios-----	91
14. Utilização das Medidas de um Levantamento Altimétrico-----	93
14.1. Construção de Perfis-----	93
14.2. Determinação da Declividade entre Pontos-----	95
14.3. Exercícios-----	95
14.4. Geração de Curvas de Nível-----	96
14.4.1. Características das Curvas de Nível-----	97
14.4.2. Normas para o Desenho das Curvas de Nível-----	98
14.4.3. O Modelado Terrestre-----	99
14.4.4. As Curvas de Nível e os Principais Acidentes Geográficos Naturais-----	100
14.4.5. Leis do Modelado Terrestre-----	103
14.4.6. Obtenção das Curvas de Nível-----	104
14.4.7. Interpolação-----	105
14.4.8. Classificação do Relevo-----	106
14.4.9. Tipos de Cartas-----	106
14.5. Exercícios-----	106
15. Planialtimetria-----	107
16. Avaliação de Áreas de Figuras Planas-----	109
16.1. Método de Equivalências Gráficas-----	110
16.1.2. Método dos Trapézios-----	110
16.1.3. Método do Gabarito-----	111
16.2. Método Mecânico ou Eletrônico-----	113
16.2.1. Planímetro Polar-----	113
16.2.2. Balança de Precisão-----	115
16.3. Método Analítico-----	116
16.4. Exercícios-----	117
18. Fotogrametria-----	118
19. Classificação-----	120
20. Problemas da Fotogrametria-----	120
21. Câmaras Fotogramétricas-----	121
22. Câmaras Aéreas-----	123
23. Principais Elementos da Câmara Métrica Aérea-----	128
24. Câmara Terrestre-----	137
25. Fotografias Aéreas-----	139
26. Conceitos Básicos para o Trabalho com Fotografias-----	143
27. Elementos Geométricos da Visão Binocular-----	143
28. Princípio da Terceira Dimensão-----	144
29. Geometria Básica da Fotografia Aérea-----	147
30. Planejamento de Vôo-----	162
31. Restituição Fotogramétrica-----	164
32. Produtos Aerofotogramétricos mais comuns-----	165

## 1. Topografia

### 1.1. Conceitos

**Definição:** a palavra "Topografia" deriva das palavras gregas "topos" (lugar) e "graphen" (descrever), o que significa, *a descrição exata e minuciosa de um lugar*. (DOMINGUES, 1979).

**Finalidade:** determinar o *contorno, dimensão e posição relativa* de uma *porção limitada* da superfície terrestre, do fundo dos mares ou do interior de minas, *desconsiderando* a curvatura resultante da esfericidade da Terra. Compete ainda à Topografia, a *locação*, no terreno, de projetos elaborados de Engenharia. (DOMINGUES, 1979).

**Importância:** ela é a *base* de qualquer projeto e de qualquer obra realizada por engenheiros ou arquitetos. Por exemplo, os trabalhos de *obras viárias, núcleos habitacionais, edifícios, aeroportos, hidrografia, usinas hidrelétricas, telecomunicações, sistemas de água e esgoto, planejamento, urbanismo, paisagismo, irrigação, drenagem, cultura, reflorestamento* etc., se desenvolvem em função do terreno sobre o qual se assentam. (DOMINGUES, 1979). Portanto, é fundamental o conhecimento pormenorizado deste terreno, tanto na etapa do projeto, quanto da sua construção ou execução; e, a Topografia, fornece os métodos e os instrumentos que permitem este conhecimento do terreno e asseguram uma correta implantação da obra ou serviço.

**Diferença entre Geodésia e Topografia:** a Topografia é muitas vezes confundida com a Geodésia pois se utilizam dos mesmos equipamentos e praticamente dos mesmos métodos para o mapeamento da superfície terrestre. Porém, enquanto a **Topografia** tem por finalidade mapear uma *pequena porção* daquela superfície (área de raio até 30km), a **Geodésia**, tem por finalidade, mapear *grandes porções* desta mesma superfície, levando em consideração as *deformações* devido à sua esfericidade. Portanto, pode-se afirmar que a Topografia, menos complexa e restrita, é apenas um *capítulo* da Geodésia, ciência muito mais abrangente.

### 1.2. Representação

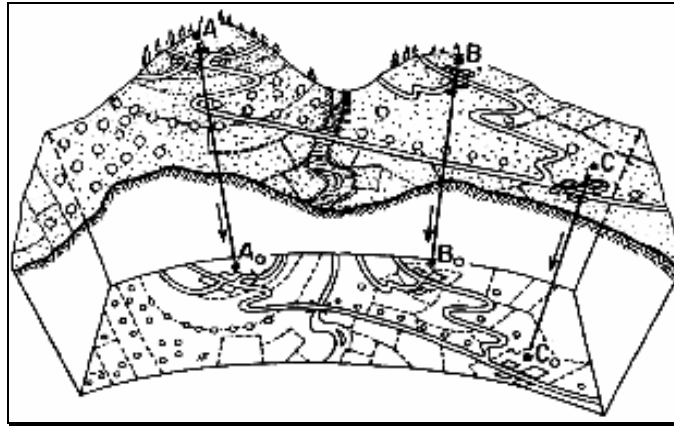
A porção da superfície terrestre, levantada topograficamente, é representada através de uma *Projeção Ortogonal Cotada* e denomina-se *Superfície Topográfica*.

Isto equiivale dizer que, não só os limites desta superfície, bem como todas as suas particularidades naturais ou artificiais, serão projetadas sobre um plano considerado horizontal.

A esta projeção ou imagem figurada do terreno dá-se o nome de *Planta ou Plano Topográfico*. (ESPARTEL, 1987).

A figura abaixo (ESPARTEL, 1987) representa exatamente a relação da superfície terrestre e de sua projeção sobre o papel.

### SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA - PLANTA TOPOGRÁFICA



#### 1.3. Divisão

O levantamento topográfico pode ser dividido em :

- Levantamento topográfico **PLANIMÉTRICO**, compreendendo o conjunto de operações necessárias para a determinação de pontos e feições do terreno que serão projetados sobre um plano horizontal de referência através de suas coordenadas X e Y (representação bidimensional), e,

- Levantamento topográfico **ALTIMÉTRICO**, compreendendo o conjunto de operações necessárias para a determinação de pontos e feições do terreno que, além de serem projetados sobre um plano horizontal de referência, terão sua representação em relação a um plano de referência vertical ou de nível através de suas coordenadas X, Y e Z (representação tridimensional).

Ao conjunto de métodos abrangidos pela *planimetria* e pela *altimetria* dá-se o nome de **TOPOMETRIA** (mais conhecida como Planialtimetria).

A **TOPOLOGIA**, por sua vez, utilizando-se dos dados obtidos através da *topometria*, tem por objetivo o estudo das formas da superfície terrestre e das leis que regem o seu modelado.

É conveniente ressaltar que os levantamentos planimétricos e/ou altimétricos são definidos e executados em função das especificações dos projetos. Assim, um projeto poderá exigir somente levantamentos planimétricos, ou, somente levantamentos altimétricos, ou ainda, ambos os levantamentos.

## 2. Modelos Terrestres

No estudo da forma e dimensão da Terra, podemos considerar quatro tipos de *superfície ou modelo* para a sua representação. São eles:

#### a) **Modelo Real**

Este modelo permitiria a representação da Terra tal qual ela se apresenta na realidade, ou seja, sem as deformações que os outros modelos apresentam.

No entanto, devido à irregularidade da superfície terrestre, o *modelo real* não dispõe, até o momento, de *definições matemáticas* adequadas à sua representação. Em função disso, outros *modelos* menos complexos foram desenvolvidos.

#### b) **Modelo Geoidal**

Permite que a superfície terrestre seja representada por uma *superfície fictícia* definida pelo prolongamento do nível médio dos mares (NMM) por sobre os continentes. Este modelo, evidentemente, irá apresentar a superfície do terreno deformada em relação à sua forma e posição reais.

O modelo geoidal é determinado, matematicamente, através de medidas gravimétricas (força da gravidade) realizadas sobre a superfície terrestre. Os levantamentos gravimétricos, por sua vez, são específicos da Geodésia e, portanto, não serão abordados por esta disciplina.

#### c) **Modelo Elipsoidal**

É o mais usual de todos os modelos que serão apresentados. Nele, a Terra é representada por uma superfície gerada a partir de um elipsóide de revolução, com deformações relativamente maiores que o modelo geoidal.

Entre os elipsóides mais utilizados para a representação da superfície terrestre estão os de Bessel (1841), Clarke (1858), Helmet (1907), Hayford (1909) e o Internacional 67 (1967).

No Brasil, as cartas produzidas no período de 1924 até meados da década de 80 utilizaram como referência os parâmetros de *Hayford*. A partir desta época, as cartas produzidas passaram a adotar como referência os *parâmetros* definidos pelo *Geodetic Reference System - GRS 67*, mais conhecido como *Internacional 67*. São eles:

$$\text{DATUM} = \text{SAD 69 (CHUÁ)}; a = 6.378.160 \text{ m}; f = 1 - b/a = 1 / 298,25$$

Onde:

**DATUM:** é um sistema de referência utilizado para o cômputo ou correlação dos resultados de um levantamento. Existem dois tipos de *datums*: o vertical e o horizontal. O *datum vertical* é uma superfície de nível utilizada no referenciamento das *altitudes* tomadas sobre a superfície terrestre. O *datum horizontal*, por sua vez, é utilizado no referenciamento

das *posições* tomadas sobre a superfície terrestre. Este último é definido: pelas coordenadas geográficas de um ponto inicial, pela direção da linha entre este ponto inicial e um segundo ponto especificado, e pelas duas dimensões (**a** e **b**) que definem o elipsóide utilizado para representação da superfície terrestre.

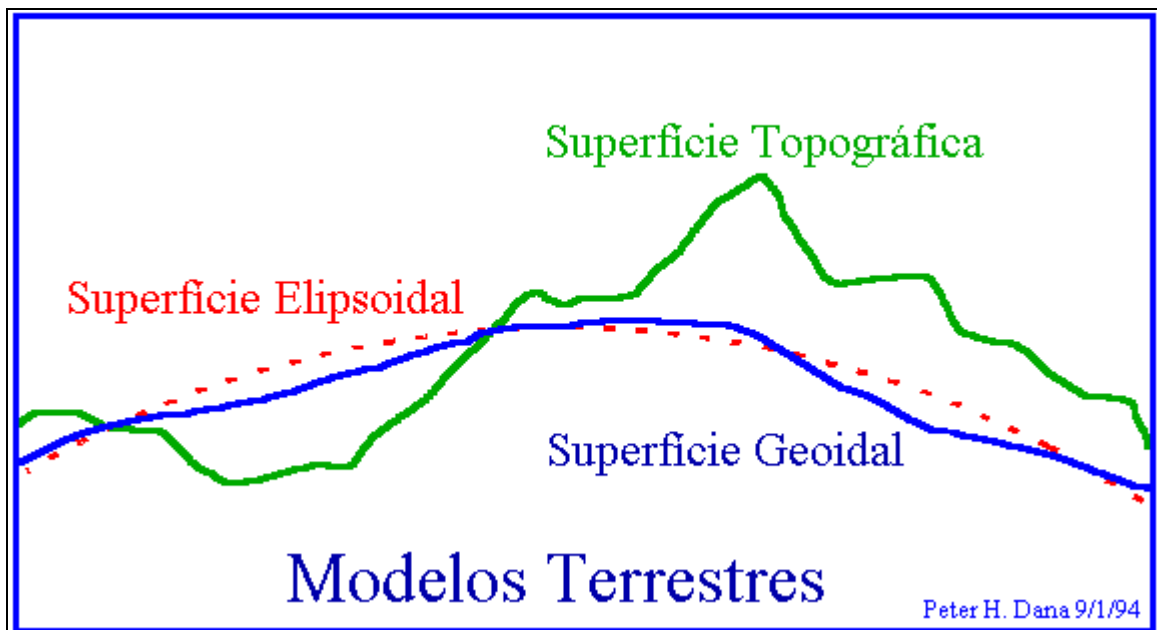
**SAD: South American Datum**, oficializado para uso no Brasil em 1969, é representado pelo vértice Chuá, situado próximo à cidade de Uberaba-MG.

**a:** é a dimensão que representa o semi-eixo maior do elipsóide (em metros).

**b:** é a dimensão que representa o semi-eixo menor do elipsóide (em metros).

**f:** é a relação entre o semi-eixo menor e o semi-eixo maior do elipsóide, ou seja, o seu achatamento.

A figura abaixo mostra a relação existente entre a superfície topográfica ou real, o elipsóide e o geóide para uma mesma porção da superfície terrestre.



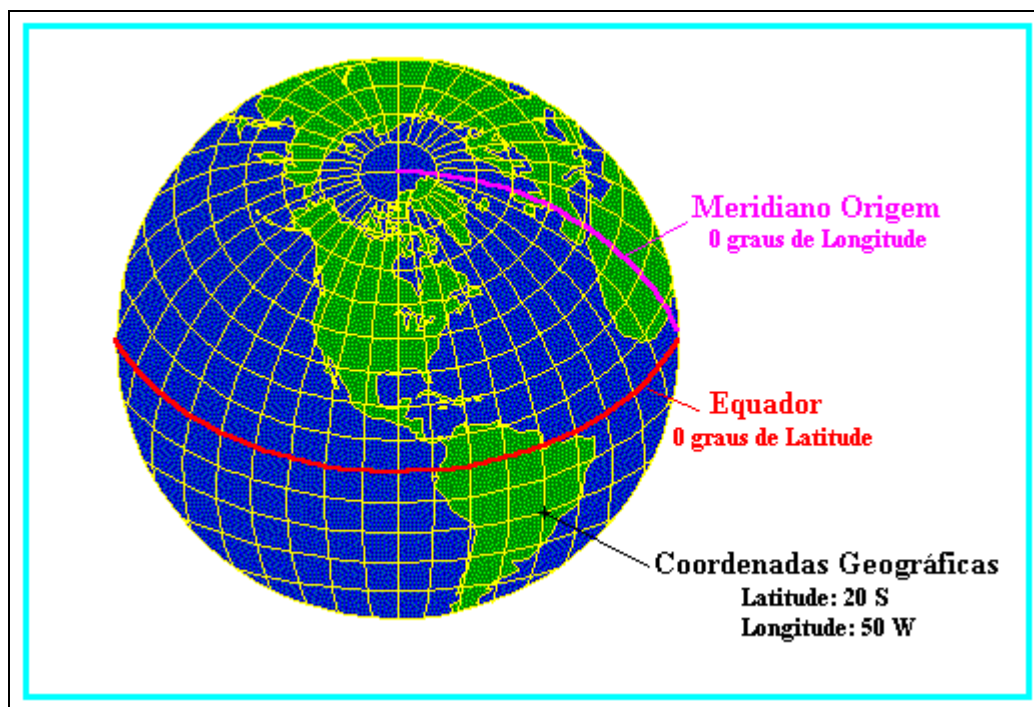
#### d) Modelo Esférico

Este é um modelo bastante simples, onde a Terra é representada como se fosse uma esfera. O produto desta representação, no entanto, é o mais distante da realidade, ou seja, o terreno representado segundo este modelo apresenta-se bastante deformado no que diz respeito à forma das suas feições e à posição relativa das mesmas. Um exemplo deste tipo de representação são os globos encontrados em livrarias e papelarias.



Uma vez analisados os modelos utilizados para representação da superfície terrestre e tendo como princípio que o *Elipsóide de Revolução* é o modelo que mais se assemelha à figura da Terra, é importante conhecer os seus elementos básicos.

A figura abaixo permite reconhecer os seguintes elementos:



**Linha dos Pólos ou Eixo da Terra:** é a reta que une o pólo Norte ao pólo Sul e em torno do qual a Terra gira. (Movimento de Rotação)



**Equador:** é o *círculo máximo* da Terra, cujo plano é normal à linha dos pólos.

**Paralelos:** são os *círculos* cujos planos são paralelos ao plano do equador. Os Paralelos mais importantes são: Trópico de Capricórnio ( $\phi = 23^{\circ}23'S$ ) e Trópico de Câncer ( $\phi = 23^{\circ}23'N$ ).

**Meridianos:** são as *seções elípticas* cujos planos contêm a linha dos pólos e que são normais aos paralelos.

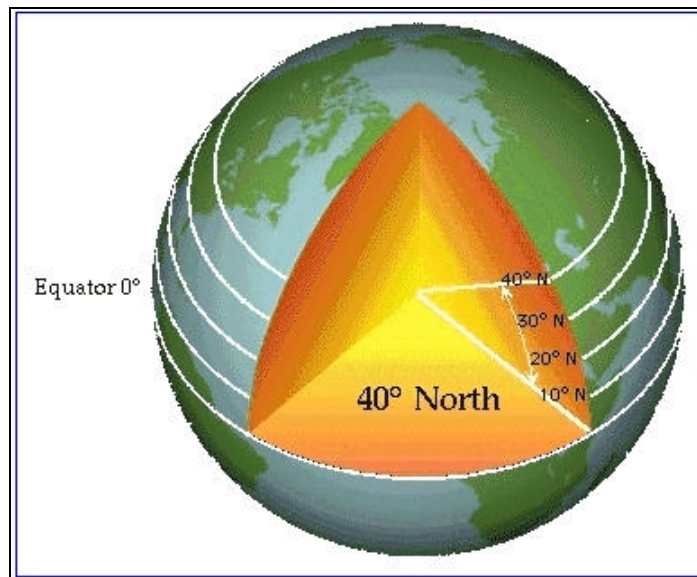
**Vertical do Lugar:** é a linha que passa por um ponto da superfície terrestre (em direção ao centro do planeta) e que é normal à superfície representada pelo Geóide naquele ponto. Esta linha é materializada pelo “*fio de prumo*” dos equipamentos de medição (teodolito, estação, nível, etc.), ou seja, é a direção na qual atua a força da gravidade.

**Normal ao Elipsóide:** é toda linha reta perpendicular à superfície do elipsóide de referência. Esta linha possui um *desvio* em relação à *vertical do lugar*.

**Pontos da Vertical do Lugar:** o ponto ( $Z = \text{ZÊNITE}$ ) se encontra no infinito superior, e o ponto ( $Z' = \text{NADIR}$ ) no infinito inferior da vertical do lugar. Estes pontos são importantes na definição de alguns equipamentos topográficos (teodolitos) que têm a medida dos ângulos verticais com origem em  $Z$  ou em  $Z'$ .

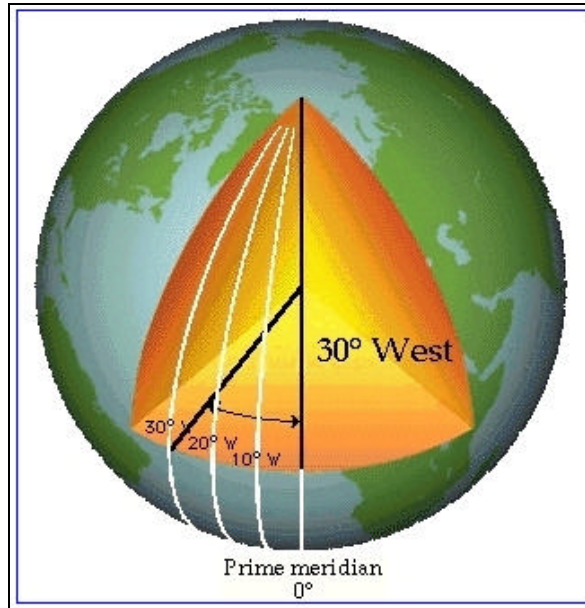
**Plano Horizontal do Observador:** é o plano tangente à superfície terrestre ou topográfica num ponto qualquer desta superfície.

**Latitude( $f$ ):** de um ponto da superfície terrestre é o ângulo formado entre o paralelo deste ponto e o plano do equador. Sua contagem é feita com origem no equador e varia de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ , positivamente para o norte (N) e negativamente para o sul (S).



**Longitude( $l$ ):** de um ponto da superfície terrestre é o ângulo formado entre o meridiano de origem, conhecido por Meridiano de Greenwich (na Inglaterra), e o meridiano

do lugar (aquele que passa pelo ponto em questão). Sua contagem é feita de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , positivamente para oeste (W ou O) e negativamente para leste (E ou L).



**Coordenadas Geográficas (f,l):** é o nome dado aos valores de latitude e longitude que definem a posição de um ponto na superfície terrestre. Estes valores dependem do elipsóide de referência utilizado para a projeção do ponto em questão.

As cartas normalmente utilizadas por engenheiros em diversos projetos ou obras apresentam, além do sistema que expressa as *coordenadas geográficas* referidas anteriormente, um outro sistema de projeção conhecido por **UTM – Universal Transversa de Mercator**.

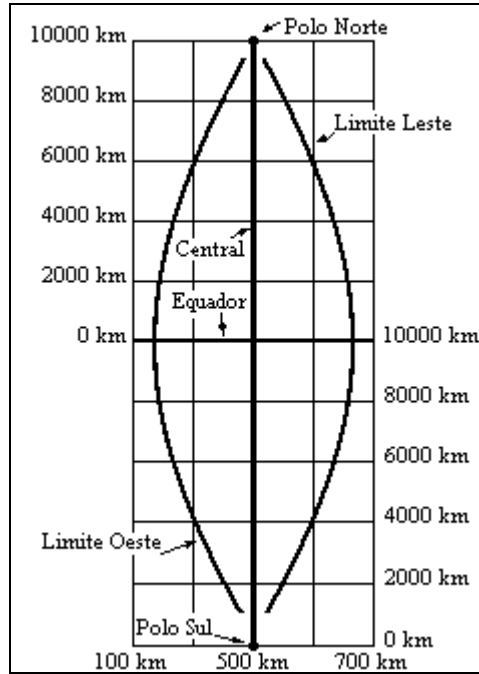
**Coordenadas UTM (E,N):** é o nome dado aos valores de abscissa (E) e ordenada (N) de um ponto sobre a superfície da Terra, quando este é projetado sobre um cilindro tangente ao elipsóide de referência. O cilindro tangencia o Equador, assim dividido em 60 arcos de  $6^\circ$  ( $60 \times 6^\circ = 360^\circ$ ). Cada arco representa um fuso UTM e um sistema de coordenadas com origem no meridiano central ao fuso, que para o hemisfério sul, constitui-se dos valores de 500.000m para (E) e 10.000.000m para (N).

A figura a seguir mostra um fuso de  $6^\circ$ , o seu meridiano central e o *grid* de coordenadas UTM.

A origem do sistema UTM se encontra no centro do fuso.

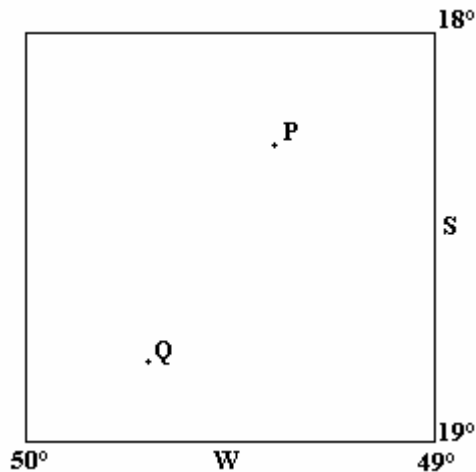
Para o Hemisfério Norte as ordenadas variam de 0 a 10.000 km enquanto para o Hemisfério Sul variam de 10.000 a 0 km.

As abscissas variam de 500 a 100 km à Oeste do Meridiano Central e de 500 a 700 km a Leste do mesmo.

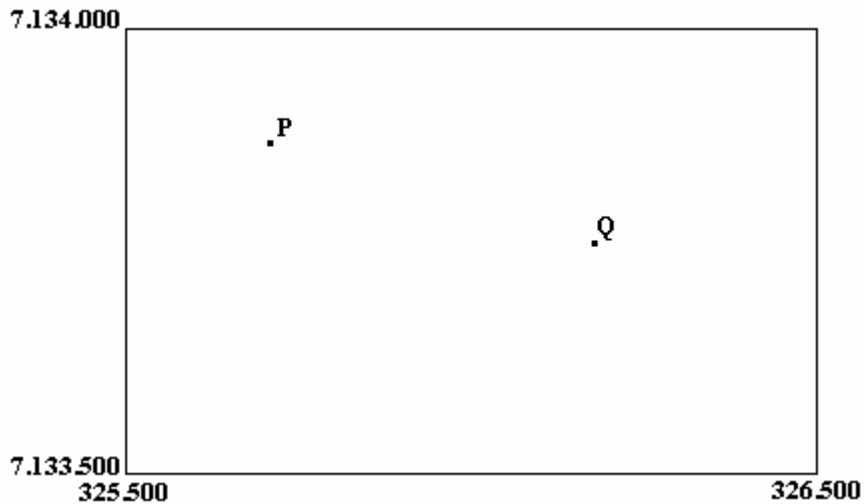


2.1. Exercícios

1. Se as cidades de “São João Batista” e “Imbuinho” encontram-se representadas pelos pontos **P** e **Q**, respectivamente, determine as coordenadas geográficas ( $\phi, \lambda$ ) destes pontos, marcados na quadrícula a seguir, utilizando o método da interpolação numérica.



2. Determine as coordenadas planas UTM (E,N) dos pontos **P** e **Q** marcados na quadrícula a seguir, utilizando o método da interpolação numérica. Note que a quadrícula UTM difere da quadrícula geográfica em tamanho e na unidade de representação (uma está em metros e a outra em valores de ângulo).



### 3. Erros em Topografia

Por melhores que sejam os equipamentos e por mais cuidado que se tome ao proceder um levantamento topográfico, as medidas obtidas jamais estarão isentas de erros.

Assim, os erros pertinentes às medições topográficas podem ser classificados como:

a) **Naturais:** são aqueles ocasionados por fatores ambientais, ou seja, temperatura, vento, refração e pressão atmosféricas, ação da gravidade, etc.. Alguns destes erros são classificados como *erros sistemáticos* e dificilmente podem ser evitados. São passíveis de correção desde que sejam tomadas as devidas precauções durante a medição.

b) **Instrumentais:** são aqueles ocasionados por defeitos ou imperfeições dos instrumentos ou aparelhos utilizados nas medições. Alguns destes erros são classificados como *erros acidentais* e ocorrem ocasionalmente, podendo ser evitados e/ou corrigidos com a aferição e calibragem constante dos aparelhos.

c) **Pessoais:** são aqueles ocasionados pela falta de cuidado do operador. Os mais comuns são: erro na leitura dos ângulos, erro na leitura da régua graduada, na contagem do número de trenadas, ponto visado errado, aparelho fora de prumo, aparelho fora de nível, etc.. São classificados como *erros grosseiros* e não devem ocorrer jamais pois não são passíveis de correção.

É importante ressaltar que alguns erros se anulam durante a medição ou durante o processo de cálculo. Portanto, um levantamento que aparentemente não apresenta erros, não significa estar necessariamente correto.

### 4. Grandezas Medidas num Levantamento Topográfico

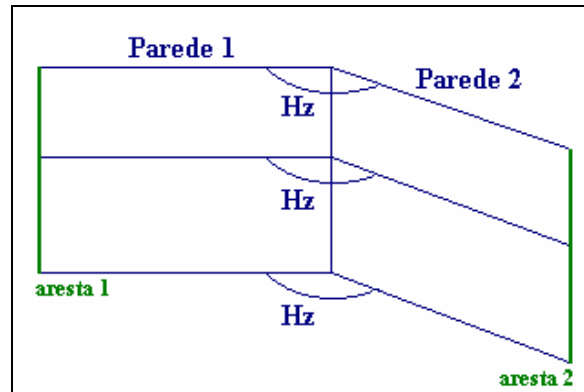
Segundo GARCIA e PIEDADE (1984) as grandezas medidas em um levantamento topográfico podem ser de dois tipos: angulares e lineares.

#### 4.1. Grandezas Angulares

São elas:

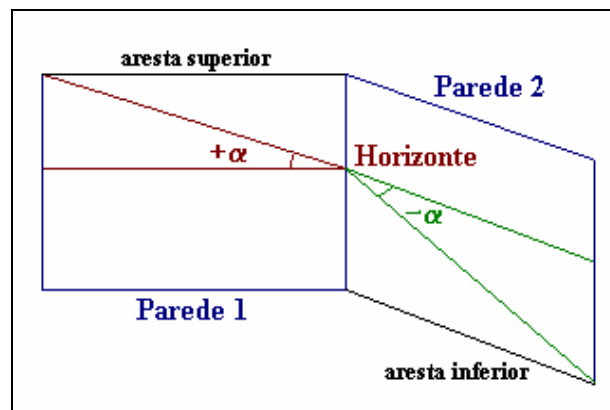
- **Ângulo Horizontal (Hz):** é medido entre as projeções de dois alinhamentos do terreno, no plano horizontal.

A figura a seguir exemplifica um ângulo horizontal medido entre as arestas (1 e 2) de duas paredes de uma edificação. O ângulo horizontal é o mesmo para os três planos horizontais mostrados.



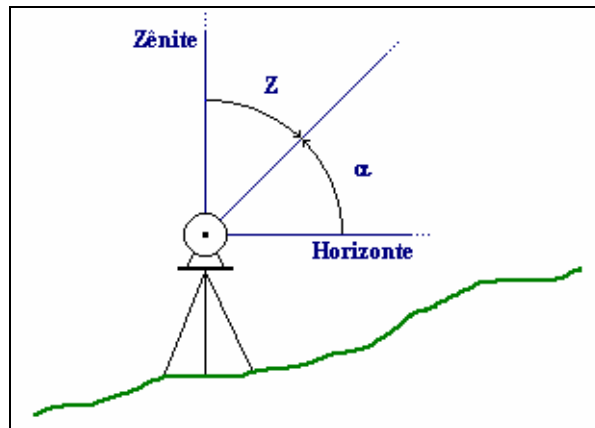
- **Ângulo Vertical ( $\alpha$ ):** é medido entre um alinhamento do terreno e o plano do horizonte. Pode ser *ascendente* (+) ou *descendente* (-), conforme se encontre acima (active) ou abaixo (declive) deste plano.

A figura a seguir exemplifica ângulos verticais medidos entre a aresta superior (Parede 1) e inferior (Parede 2) das paredes de uma edificação e o plano do horizonte. Os ângulos medidos não são iguais e dependem da posição (altura) do plano do horizonte em relação às arestas em questão.



O ângulo vertical, nos equipamentos topográficos modernos (teodolito e estação total), pode também ser medido a partir da *vertical do lugar* (com origem no Zênite ou Nadir), daí o ângulo denominar-se **Ângulo Zenital (V ou Z)** ou **Nadiral (V' ou Z')**.

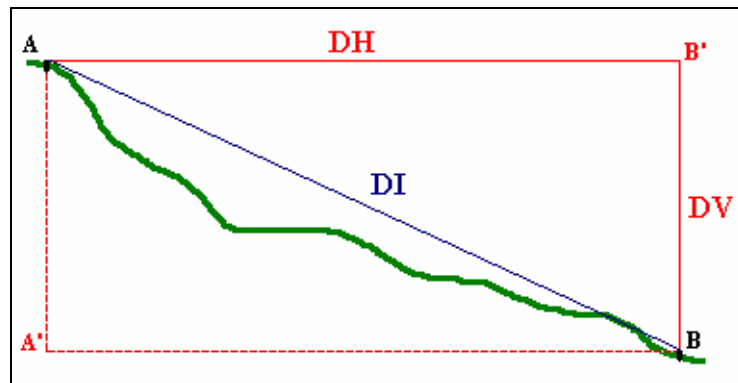
A figura abaixo (RODRIGUES, 1979) mostra a relação entre ângulos verticais e zenitais. Os processos de transformação entre eles serão estudados mais adiante.



#### 4.2. Grandezas Lineares

São elas:

- **Distância Horizontal (DH):** é a distância medida entre dois pontos, no plano horizontal. Este plano pode, conforme indicado na figura a seguir (GARCIA, 1984), passar tanto pelo ponto **A**, quanto pelo ponto **B** em questão.



- **Distância Vertical ou Diferença de Nível (DV ou DN):** é a distância medida entre dois pontos, num plano vertical que é perpendicular ao plano horizontal. Este plano vertical pode passar por qualquer um dos pontos **A/A'** ou **B/B'** já mencionados.

- **Distância Inclinada (DI):** é a distância medida entre dois pontos, em planos que seguem a inclinação da superfície do terreno.

É importante lembrar que as grandezas representadas pela *planimetria* são: *distância e ângulo horizontais* (planta); enquanto as grandezas representadas pela *altimetria* são: *distância e ângulo verticais*, representados em planta através das curvas de nível, ou, através de um perfil.

## 5. Unidades de Medida

Em Topografia, são medidas duas espécies de grandezas, as *lineares* e as *angulares*, mas, na verdade, outras duas espécies de grandezas são também trabalhadas, as de *superfície* e as de *volume*.

A seguir encontram-se as *unidades* mais comumente utilizadas para expressar cada uma das grandezas mencionadas.

O sistema de unidades utilizado no Brasil é o *Métrico Decimal*, porém, em função dos equipamentos e da bibliografia utilizada, na sua grande maioria importada, algumas unidades relacionadas abaixo apresentarão seus valores correspondentes no sistema *Americano*, ou seja, em *Pés/Polegadas*.

### 5.1. Unidades de Medida Linear

$\mu\text{m}(\text{E}-06)$ ,  $\text{mm}(\text{E}-03)$ ,  $\text{cm}(\text{E}-02)$ ,  $\text{dm}(\text{E}-01)$ ,  $\text{m}$  e  $\text{Km}(\text{E}+03)$

polegada = 2,75 cm = 0,0275 m

polegada inglesa = 2,54 cm = 0,0254 m

pé = 30,48cm = 0,3048 m

jarda = 91,44cm = 0,9144m

milha brasileira = 2200 m

milha terrestre/inglesa = 1609,31 m

### 5.2. Unidades de Medida Angular

Para as medidas angulares têm-se a seguinte relação:

$$360^\circ = 400g = 2p$$

onde  $\pi = 3,141592$ .

**Atenção:** As unidades angulares devem ser trabalhadas sempre com seis (6) casas decimais. As demais unidades, com duas (2) casas decimais.

### 5.3. Unidades de Medida de Superfície

$\text{cm}^2(\text{E}-04)$ ,  $\text{m}^2$  e  $\text{Km}^2(\text{E}+06)$

$$\text{are} = 100 \text{ m}^2$$

$$\text{acre} = 4.046,86 \text{ m}^2$$

$$\text{hectare (ha)} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{alqueire paulista (menor)} = 2,42 \text{ ha} = 24.200 \text{ m}^2$$

$$\text{alqueire mineiro (geométrico)} = 4,84 \text{ ha} = 48.400 \text{ m}^2$$

#### 5.4. Unidades de Medida de Volume

$$\text{m}^3$$

$$\text{litro} = 0,001 \text{ m}^3$$

#### 5.5. Exercícios

##### a) Conversão entre Unidades Lineares

1. Tem-se para a medida da distância horizontal entre dois pontos o valor de 1.290,9078 *polegadas*. Qual seria o valor desta mesma medida em *quilômetros*?

2. O lado de um terreno mede 26,50 *metros*. Qual seria o valor deste mesmo lado em *polegadas inglesas*?

3. Determine o valor em *milhas inglesas*, para uma distância horizontal entre dois pontos de 74,9 *milhas brasileiras*.

##### b) Conversão entre Unidades de Superfície

1. Determine o valor em *alqueires menor*, para um terreno de área igual a 1224,567 *metros quadrados*.

2. Determine o valor em *hectares*, para um terreno de área igual a 58.675,5678 *metros quadrados*.

3. Determine o valor em *acres*, para um terreno de área igual a 18,15 *alqueires paulista*.

##### c) Conversão entre Unidades Angulares

1. Determine o valor em *grados centesimais* (centésimos e milésimos de grado) e em *radianos* para o ângulo de 157°17'30,65".



2. Para um ângulo de 1,145678 *radianos*, determine qual seria o valor correspondente em *graus sexagesimais*.

3. Para um ângulo de 203,456789 *grados decimais*, determine qual seria o valor correspondente em *graus decimais*.

#### d) Conversão entre Unidades de Volume

1. Determine o valor em *litros*, para um volume de 12,34  $m^3$ .

2. Determine o valor em  $m^3$ , para um volume de 15.362,56 *litros*.

### 5.6. Exercícios Propostos

1. Dado o ângulo de 1,573498 *radianos*, determine o valor correspondente em *grados decimais*.

2. Sabendo-se que um alqueire geométrico equivale a um terreno de 220m x 220m; que um acre equivale a 4046,86  $m^2$ ; e que uma porção da superfície do terreno medida possui 3,8 alqueires geométrico de área, determine a área desta mesma porção, em acres.

3. Dado o ângulo de 120°35'48", determine o valor correspondente em *grados centesimais*.

### 6. Desenho Topográfico e Escala

Segundo ESPARTEL (1987) o *desenho topográfico* nada mais é do que a projeção de todas as medidas obtidas no terreno sobre o plano do papel.

Neste desenho, os **ângulos** são representados em **verdadeira grandeza** (VG) e as **distâncias** são **reduzidas** segundo uma razão constante.

A esta razão constante denomina-se *ESCALA*.

A escala de uma planta ou desenho é definida pela seguinte relação:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{M}} = \frac{\mathbf{\ell}}{\mathbf{L}}$$

Onde:

"L" representa qualquer comprimento *linear real*, medido sobre o terreno.

" $\ell$ " representa um comprimento *linear gráfico* qualquer, medido sobre o papel, e que correspondente ao comprimento medido sobre o terreno.

"**M**" é denominado *Título* ou *Módulo* da escala e representa o inverso de ( $\ell / L$ ).

A escala pode ser apresentada sob a forma de:

- **fração** : 1/100, 1/2000 etc. ou
- **proporção** : 1:100, 1:2000 etc.

Podemos dizer ainda que a escala é:

- de **ampliação** : quando  $\ell > L$  (Ex.: 2:1)
- **natural** : quando  $\ell = L$  (Ex.: 1:1)
- de **redução** : quando  $\ell < L$  (Ex.: 1:50)

## 7. Critérios para a Escolha da Escala de uma Planta

Se, ao se levantar uma determinada *porção* da superfície terrestre, deste levantamento, resultarem algumas medidas de distâncias e ângulos, estas medidas poderão ser representadas sobre o papel segundo:

### 7.1. O Tamanho da Folha Utilizada

Para a representação de uma porção *bidimensional* (área) do terreno, terão que ser levadas em consideração as dimensões reais desta (em largura e comprimento), bem como, as dimensões  $x$  e  $y$  do papel onde ela (a porção) será projetada. Assim, ao aplicar a relação fundamental de escala, ter-se-á como resultado duas escalas, uma para cada eixo. A escala escolhida para melhor representar a porção em questão deve ser aquela de maior módulo, ou seja, cuja razão seja menor.

É importante ressaltar que os tamanhos de folha mais utilizados para a representação da superfície terrestre seguem as normas da ABNT, que variam do tamanho A0 (máximo) ao A5 (mínimo).

### 7.2. O Tamanho da Porção de Terreno Levantado

Quando a porção levantada e a ser projetada é bastante extensa e, se quer representar convenientemente todos os detalhes naturais e artificiais a ela pertinentes, procura-se, ao invés de reduzir a escala para que toda a porção caiba numa única folha de papel, dividir esta porção em partes e representar cada parte em uma folha. É o que se denomina *representação parcial*.

A escolha da escala para estas representações parciais deve seguir os critérios abordados no item anterior.

### 7.3. O Erro de Graficismo ou Precisão do Levantamento

Segundo DOMINGUES (1979) o *Erro de Graficismo* ( $\epsilon$ ), também chamado de *Precisão Gráfica*, é o nome dado ao raio do menor círculo no interior do qual se pode marcar um ponto com os recursos do desenho técnico.

O valor de ( $\epsilon$ ), para os levantamentos topográficos desenhados manualmente, é da ordem de 0,2mm (1/5mm). Para desenhos efetuados por plotadores automáticos, este erro, em função da resolução do plotador, poderá ser maior ou menor.

Assim, a escala escolhida para representar a porção do terreno levantada, levando em consideração o erro de graficismo, pode ser definida pela relação:

$$E \approx \frac{e}{P}$$

Onde:

**P:** é a incerteza, erro ou *precisão* do levantamento topográfico, medida em metros, e que não deve aparecer no desenho.

Por exemplo: a representação de uma região na escala 1:50.000, considerando o erro de graficismo igual a 0,2mm, permite que a posição de um ponto do terreno possa ser determinada com um erro relativo de até 10m sem que isto afete a precisão da carta.

Analogamente, para a escala 1:5.000, o erro relativo permitido em um levantamento seria de apenas 1m.

Desta forma, pode-se concluir que o erro admissível na determinação de um ponto do terreno diminui à medida em que a escala aumenta.

### 7.4. Escala Gráfica

Segundo DOMINGUES (1979), a *escala gráfica* é a representação gráfica de uma escala nominal ou numérica.

Esta forma de representação da escala é utilizada, principalmente, para fins de acompanhamento de ampliações ou reduções de plantas ou cartas topográficas, em processos fotográficos comuns ou xerox, cujos produtos finais não correspondem à escala nominal neles registrada.

A escala gráfica é também utilizada no acompanhamento da dilatação ou retração do papel no qual o desenho da planta ou carta foi realizado. Esta dilatação ou retração se deve, Engenharia Civil

normalmente, a alterações ambientais ou climáticas do tipo: variações de temperatura, variações de umidade, manuseio, armazenamento, etc..

Ainda segundo DOMINGUES (1979) a escala gráfica fornece, rapidamente e sem cálculos, o valor real das medidas executadas sobre o desenho, qualquer que tenha sido a redução ou ampliação sofrida por este.

A construção de uma escala gráfica deve obedecer os seguintes critérios:

- 1) Conhecer a escala nominal da planta.
- 2) Conhecer a unidade e o intervalo de representação desta escala.
- 3) Traçar uma linha reta **AB** de comprimento igual ao intervalo na escala da planta.
- 4) Dividir esta linha em 5 ou 10 partes iguais.
- 5) Traçar à esquerda de **A** um segmento de reta de comprimento igual a 1 (um) intervalo.
- 6) Dividir este segmento em 5 ou 10 partes iguais.
- 7) Determinar a precisão gráfica da escala.

Exemplo: supondo que a escala de uma planta seja 1:100 e que o intervalo de representação seja de 1m, a escala gráfica correspondente terá o seguinte aspecto:



A figura a seguir mostra outros tipos de representação da escala gráfica.



### 7.5. Principais Escalas e suas Aplicações

A seguir encontra-se um quadro com as principais escalas utilizadas por engenheiros e as suas respectivas aplicações.

É importante perceber que, dependendo da escala, a denominação da representação muda para *planta*, *carta* ou *mapa*.

Aplicação	Escala
<b>Detalhes</b> de terrenos urbanos	1:50
<b>Planta</b> de pequenos lotes e edifícios	1:100 e 1:200
<b>Planta</b> de arruamentos e loteamentos urbanos	1:500 1:1.000

<b>Planta</b> de propriedades rurais	1:1.000 1:2.000 1:5.000
<b>Planta</b> cadastral de cidades e grandes propriedades rurais ou industriais	1:5.000 1:10.000 1:25.000
<b>Cartas</b> de municípios	1:50.000 1:100.000
<b>Mapas</b> de estados, países, continentes etc.	1:200.000 a 1:10.000.000

### 7.6. Exercícios

1. Para representar, no papel, uma linha reta que no terreno mede 45m, utilizando-se a escala 1:450, pergunta-se: qual será o valor desta linha em cm?

2. A distância entre dois pontos, medida sobre uma planta topográfica, é de 520mm. Sabendo-se que, no terreno, estes pontos estão distantes 215,5m, determine qual seria a escala da planta.

3. A distância entre dois pontos, medida sobre uma planta topográfica, é de 55cm. Para uma escala igual a 1:250, qual será o valor real desta distância?

4. Se a avaliação de uma área resultou em  $2575\text{cm}^2$  na escala 1:500, a quantos  $\text{m}^2$  corresponderá esta mesma área, no terreno?

5. A área limite de um projeto de Engenharia corresponde a  $25\text{ km}^2$ . Determine a escala do projeto em questão, se a área representada equivale a  $5000\text{ cm}^2$ .

6. Construa uma escala gráfica para a escala nominal 1:600.

7. Construa uma escala gráfica para a escala nominal 1:25.000.

8. Construa uma escala gráfica para a escala numérica 1:1.000.000.

9. Quantas folhas de papel tamanho A4 serão necessárias para representar uma superfície de 350m x 280m, na escala 1:500?

10. Quantas folhas seriam necessárias se, para o exercício anterior, fossem descontadas margens de 20mm para cada lado da folha?

11. Quantas folhas seriam necessárias se, para o exercício anterior, a folha utilizada fosse a A4 deitada?

12. Pesquise em plantas, cartas e mapas de várias escalas, as características de construção e representação das escalas gráficas utilizadas (intervalo, unidade, comprimento).

## 8. Medida de Distâncias

Como já foi visto, a distância horizontal (**DH**) entre dois pontos, em Topografia, é o comprimento do segmento de reta entre estes pontos, projetado sobre um plano horizontal.

Para a obtenção desta distância, existem alguns processos, os quais veremos a seguir.

### 8.1. Medida Direta de Distâncias

Alguns autores afirmam que o processo de medida de distâncias é direto, quando esta distância é determinada em *comparação a uma grandeza padrão* previamente estabelecida; outros autores, porém, afirmam que a medição é direta quando o instrumento de medida utilizado é aplicado diretamente sobre o terreno.

Segundo ESPARTEL (1987) os principais *dispositivos* utilizados na medida direta de distâncias, também conhecidos por **DIASTÍMETROS**, são os seguintes:

#### a) Fita e Trena de Aço

- ⇨ são feitas de uma lâmina de aço inoxidável;
- ⇨ a trena é graduada em metros, centímetros e milímetros só de um lado;
- ⇨ a fita é graduada a cada metro; o meio metro (0,5m) é marcado com um furo e somente o início e o final da fita são graduados em decímetros e centímetros;
- ⇨ a largura destas fitas ou trenas varia de 10 a 12mm;
- ⇨ o comprimento das utilizadas em levantamentos topográficos é de 30, 60, 100 e 150 metros;
- ⇨ o comprimento das de bolso varia de 1 a 7,50 metros (as de 5 metros são as mais utilizadas);
- ⇨ normalmente apresentam-se enroladas em um tambor (figura a seguir) ou cruzeta, com cabos distensores nas extremidades;
- ⇨ por serem leves e praticamente indeformáveis, os levantamentos realizados com este tipo de dispositivo nos fornecem uma maior precisão nas medidas, ou seja, estas medidas são mais confiáveis;
- ⇨ desvantagens: as de fabricação mais antiga, enferrujam com facilidade e, quando esticadas com nós, se rompem facilmente. Além disso, em caso de contato com a rede elétrica, podem causar choques;
- ⇨ as mais modernas, no entanto, são revestidas de *nylon* ou *epoxy* e, portanto, são resistentes à umidade, à produtos químicos, à produtos oleosos e à temperaturas extremas. São duráveis e inquebráveis.



### b)Trena de Lona

- ⇒é feita de pano oleado ao qual estão ligados fios de arame muito finos que lhe dão alguma consistência e invariabilidade de comprimento;
- ⇒é graduada em metros, centímetros e milímetros em um ou ambos os lados e com indicação dos decímetros;
- ⇒o comprimento varia de 20 a 50 metros;
- ⇒não é um dispositivo preciso pois deforma com a temperatura, tensão e umidade (encolhe e mofa);
- ⇒pouquíssimo utilizada atualmente.

### c)Trena de Fibra de Vidro

- ⇒é feita de material bastante resistente (produto inorgânico obtido do próprio vidro por processos especiais);
- ⇒conforme figura a seguir, pode ser encontrada com ou sem envólucro e, este, se presente, tem o formato de uma cruzeta; sempre apresentam distensores (manoplas) nas suas extremidades;
- ⇒seu comprimento varia de 20 a 50m (com envólucro) e de 20 a 100m (sem envólucro);
- ⇒comparada à trena de lona, deforma menos com a temperatura e a tensão;
- ⇒não se deteriora facilmente;
- ⇒é resistente à umidade e à produtos químicos;
- ⇒é bastante prática e segura.



Apesar da qualidade e da grande variedade de diastímetros disponíveis no mercado, toda medida direta de distância só poderá ser realizada se for feito uso de alguns **ACESSÓRIOS** especiais.

Segundo ESPARTEL (1987) os principais são:

#### a) Piquetes

- ⇨ são necessários para marcar, convenientemente, os extremos do alinhamento a ser medido;
- ⇨ são feitos de madeira roliça ou de seção quadrada com a superfície no topo plana;
- ⇨ são assinalados (marcados) por tachinhas de cobre;
- ⇨ seu comprimento varia de 15 a 30cm;
- ⇨ seu diâmetro varia de 3 a 5cm;
- ⇨ é cravado no solo, porém, parte dele (cerca de 3 a 5cm) deve permanecer visível;
- ⇨ sua principal função é a materialização de um ponto topográfico no terreno.

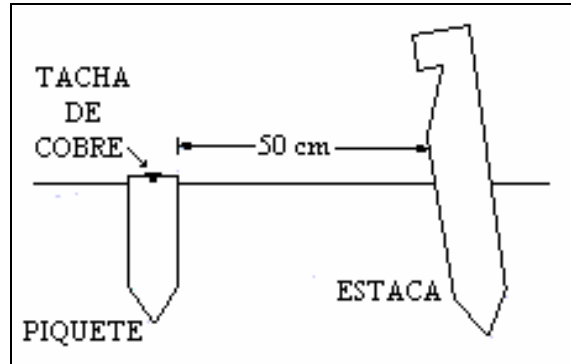
Obs.: Nos EUA, em lugar do tradicional piquete de madeira, os pontos topográficos são materializados por *pinos de metal*, bem mais resistentes e com a vantagem de poderem ser cravados em qualquer tipo de solo ou superfície.

#### b) Estacas

- ⇨ conforme figura abaixo (PINTO, 1988), são utilizadas como *testemunhas* da posição do piquete;



- ⇒ são cravadas próximas ao piquete cerca de 30 a 50cm;
- ⇒ seu comprimento varia de 15 a 40cm;
- ⇒ seu diâmetro varia de 3 a 5cm;
- ⇒ são chanfradas na parte superior para permitir uma inscrição numérica ou alfabética, que pertence ao piquete testemunhado.



### c) Fichas

- ⇒ são utilizadas na marcação dos lances efetuados com o diastímetro quando a distância a ser medida é superior ao comprimento deste;
- ⇒ são hastes de ferro ou aço;
- ⇒ seu comprimento é de 35 ou 55cm;
- ⇒ seu diâmetro é de 6mm;
- ⇒ conforme figura a seguir, uma das extremidades é pontiaguda e a outra é em formato de argola, cujo diâmetro varia de 5 a 8cm.



### d) Balizas

- ⇒ são utilizadas para manter o alinhamento, na medição entre pontos, quando há necessidade de se executar vários lances com o diastímetro;

- ⇨ conforme figura a seguir, são feitas de madeira ou ferro; arredondado, sextavado ou oitavado;



- ⇨ são terminadas em ponta guarnecida de ferro;
- ⇨ seu comprimento é de 2 metros;
- ⇨ seu diâmetro varia de 16 a 20mm;
- ⇨ são pintadas em cores contrastantes (branco e vermelho ou branco e preto) para permitir que sejam facilmente visualizadas à distância;
- ⇨ devem ser mantidas na posição vertical, sobre a tachinha do piquete, com auxílio de um **nível de cantoneira**.

#### e) Nível de Cantoneira

- ⇨ aparelho em forma de cantoneira e dotado de bolha circular que permite à pessoa que segura a baliza posicioná-la corretamente (verticalmente) sobre o piquete ou sobre o alinhamento a medir.



#### f) Barômetro de Bolso

- ⇨ aparelho que se destina à medição da pressão atmosférica (em mb = milibares) para fins de correção dos valores obtidos no levantamento;
- ⇨ atualmente estes aparelhos são digitais e, além de fornecerem valores de pressão, fornecem valores de altitude com precisão de 0,10m (figura a seguir).



### g) Dinamômetro

- ⇒ aparelho que se destina à medição das tensões que são aplicadas aos diastímetros para fins de correção dos valores obtidos no levantamento;
- ⇒ as correções são efetuadas em função do *coeficiente de elasticidade* do material com que o diastímetro foi fabricado.

### h) Termômetro

- ⇒ aparelho que se destina à medição da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) no momento da medição para fins de correção dos valores obtidos no levantamento;
- ⇒ as correções são efetuadas em função do *coeficiente de dilatação* do material com que o diastímetro foi fabricado.

### i) Nível de Mangueira

- ⇒ é uma mangueira d'água transparente que permite, em função do nível de água das extremidades, proceder a medida de distâncias com o diastímetro na posição horizontal. Este tipo de mangueira é também muito utilizado na construção civil em serviços de nivelamento (piso, teto, etc.).

### j) Cadernetas de Campo

- ⇒ é um documento onde são registrados todos os elementos levantados no campo (leituras de distâncias, ângulos, régua, croquis dos pontos, etc.);
- ⇒ normalmente são padronizadas, porém, nada impede que a empresa responsável pelo levantamento topográfico adote cadernetas que melhor atendam suas necessidades.

Com relação aos seguintes acessórios mencionados: *barômetro*, *termômetro* e *dinamômetro*; pode-se afirmar que os mesmos são raramente utilizados atualmente para correções das medidas efetuadas com diastímetros. Isto se deve ao fato destes dispositivos terem sido substituídos, com o passar dos anos, pelos equipamentos eletrônicos, muito mais precisos e fáceis de operar. Contudo, os diastímetros são ainda largamente empregados em

levantamentos que não exigem muita precisão, ou, simplesmente, em missões de reconhecimento.

## 8.2. Precisão e Cuidados na Medida Direta de Distâncias

Segundo DOMINGUES (1979) a precisão com que as distâncias são obtidas depende, principalmente:

- do dispositivo de medição utilizado,
- dos acessórios, e
- dos cuidados tomados durante a operação.

E, segundo RODRIGUES (1979), os cuidados que se deve tomar quando da realização de medidas de distâncias com diastímetros são:

- que os operadores se mantenham no alinhamento a medir,
- que se assegurem da horizontalidade do diastímetro, e
- que mantenham tensão uniforme nas extremidades.

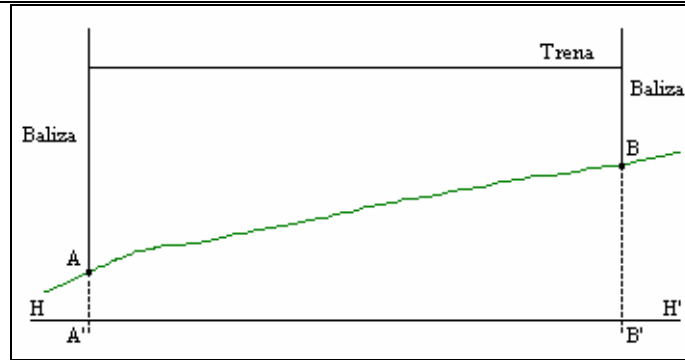
A tabela abaixo fornece a precisão que é conseguida quando se utilizam diastímetros em um levantamento, levando-se em consideração os efeitos da tensão, da temperatura, da horizontalidade e do alinhamento.

Diastímetro	Precisão
Fita e trena de aço	1cm/100m
Trena plástica	5cm/100m
Trena de lona	25cm/100m

## 8.3. Métodos de Medida com Diastímetros

### 8.3.1. Lance Único - Pontos Visíveis

Segundo GARCIA (1984) e analisando a figura a seguir, na medição da distância horizontal entre os pontos **A** e **B**, procura-se, na realidade, medir a projeção de **AB** no plano topográfico horizontal **HH'**. Isto resulta na medição de **A'B'**, paralela a **AB**.



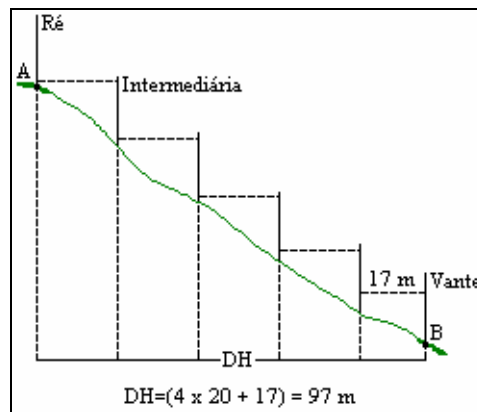
Para realizar esta medição recomenda-se uma equipe de trabalho com:

- ⇨ duas pessoas para tensionar o diastímetro (uma em cada extremidade);
- ⇨ uma pessoa para fazer as anotações (dispensável).

A distância **DH** (entre os pontos **A'** e **B'**) é igual à fração indicada pelo diastímetro.

### 8.3.2. Vários Lances - Pontos Visíveis

Segundo GARCIA (1984) e analisando a figura a seguir, o balizeiro de ré (posicionado em A) orienta o balizeiro intermediário, cuja posição coincide com o final do diastímetro, para que este se mantenha no alinhamento.



Depois de executado o lance, o balizeiro intermediário marca o final do diastímetro com uma ficha. O balizeiro de ré, então, ocupa a posição do balizeiro intermediário, e este, por sua vez, ocupará nova posição ao final do diastímetro. Repete-se o processo de deslocamento das balizas (ré e intermediária) e de marcação dos lances até que se chegue ao ponto B.

É de máxima importância que, durante a medição, os balizeiros se mantenham sobre o alinhamento **AB**.

Para realizar esta medição recomenda-se uma equipe de trabalho com:

- ⇨ duas pessoas para tensionar o diastímetro (uma em cada extremidade).
- ⇨ um balizeiro de ré (móvel).
- ⇨ um balizeiro intermediário (móvel).
- ⇨ um balizeiro de vante (fixo).
- ⇨ uma pessoa para fazer as anotações (dispensável).

A distância **DH** será dada pelo somatório das distâncias parciais (contagem do número de fichas pelo comprimento do diastímetro) mais a fração do último lance.

### Observações Importantes

1. Ao ponto inicial de um alinhamento, percorrido no *sentido horário*, dá-se o nome de *Ponto a Ré* e, ao ponto final deste mesmo alinhamento, dá-se o nome de *Ponto a Vante*. *Balizador de Ré* e *Balizador de Vante* são os nomes dados às pessoas que, de posse de uma baliza, ocupam, respectivamente, os pontos a ré e a vante do alinhamento em questão.

2. Os balizeiros de ré e intermediário podem acumular a função de tensionar o diastímetro.

3. Para terrenos inclinados, os cuidados na medição devem ser redobrados no que se refere à horizontalidade do diastímetro.

### 8.3.3. Traçado de Perpendiculares

Segundo GARCIA (1984) o traçado de perpendiculares é necessário:

- a) À amarração de detalhes em qualquer levantamento topográfico, e
- b) Na determinação de um alinhamento perpendicular em função de um outro já existente. Ex.: locação de uma obra.

#### a) Amarração de Detalhes

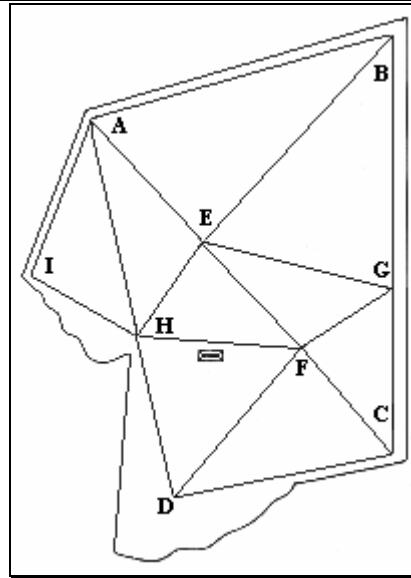
A amarração de detalhes (feições naturais e artificiais do terreno) é realizada utilizando-se somente diastímetros. Para tanto, é necessário a montagem, no campo, de uma rede de linhas, distribuídas em triângulos principais e secundários, às quais os detalhes serão amarrados.

A esta rede de linhas denomina-se *triangulação*.

A figura a seguir (BORGES, 1988) ilustra uma determinada superfície já triangulada.

Nesta triangulação, observa-se que os triângulos maiores englobam os menores.

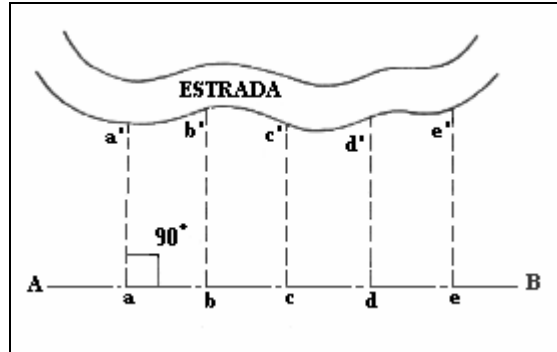
O objetivo da formação de triângulos principais (**ABC** e **ACD**) e secundários (**ABE**, **BEG**, **EGF**, **EFH**, **FCD**, **GCF**, **DFH**, **AEH** e **AHI**) é atingir mais facilmente todos os detalhes que se queira levantar.



Segundo BORGES (1988) a amarração dos detalhes pode ser feita:

- *Por perpendiculares tomadas a olho*

É o caso da figura abaixo, onde se deve medir os alinhamentos **Aa**, **ab**, **bc**, **cd**, **de**, **eB** e, também, os alinhamentos **aa'**, **bb'**, **cc'**, **dd'** e **ee'** para que o contorno da estrada fique determinado.



- *Por triangulação*

Devendo-se medir os alinhamentos **a** e **b**, além do alinhamento principal **DB**, para que o canto superior esquerdo da piscina representada na figura a seguir (BORGES, 1988) fique determinado.

A referida piscina só estará completamente *amarrada* se os outros cantos também forem triangulados.



Obs.: para que a amarração não resulte errada, a base do triângulo amarrado deve coincidir com um dos lados do triângulo principal ou secundário, e, o vértice daquele triângulo será sempre um dos pontos definidores do detalhe levantado.

### b) Alinhamentos Perpendiculares

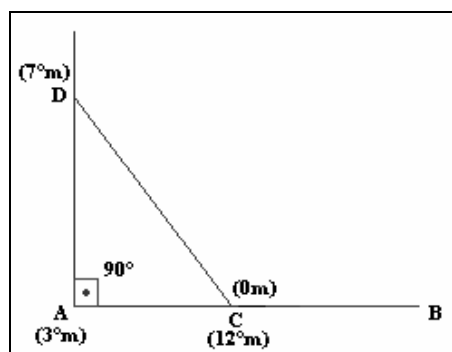
Segundo ESPARTEL (1987) é possível levantar uma perpendicular a um alinhamento, utilizando-se um diastímetro, através dos seguintes métodos:

#### b.1) Triângulo Retângulo

Este método consiste em passar por um ponto **A**, de um alinhamento **AB** conhecido, uma perpendicular.

Utilizando-se os doze (12) primeiros metros de uma trena, dispõe-se, respectivamente, dos lados 3, 4 e 5 metros de um triângulo retângulo.

Como indicado na figura abaixo (GARCIA, 1984), o 0 e 12<sup>o</sup> metros estariam coincidentes em **C**, situado a 3 metros do ponto **A**. O 7<sup>o</sup> metro (soma dos lados 3 e 4) e representado pelo ponto **D**, se ajusta facilmente em função dos pontos **A** e **C** já marcados.



Obs.: para locar as paredes de uma casa, o mestre de obras normalmente se utiliza de uma linha com nós. Esta linha representa um triângulo retângulo de



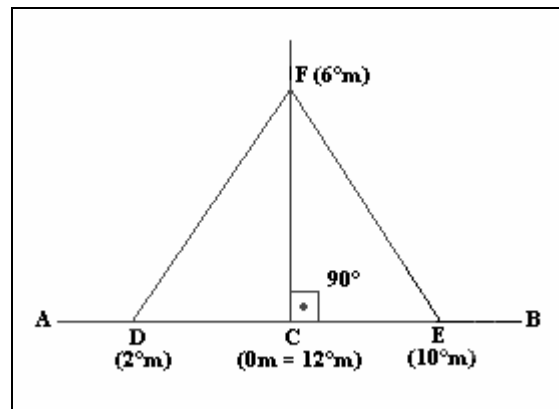
lados 0,6m : 0,8m : 1,0m; equivalente ao triângulo retângulo de 3m : 4m : 5m mencionado anteriormente.

### b.2) Triângulo Equilátero

Diferentemente do anterior, este método consiste em passar uma perpendicular a um alinhamento **AB** conhecido, por um ponto **C** qualquer deste alinhamento. Deste modo, marca-se, no campo, um triângulo equilátero ao invés de um triângulo retângulo.

Assim, utilizando-se os doze (12) primeiros metros de uma trena, dispõe-se, para o triângulo equilátero, de três lados de 4 metros cada.

Como indicado na figura abaixo (GARCIA, 1984), o 0 e 12<sup>o</sup> metros estariam coincidentes em **C**. O 2<sup>o</sup> metro estaria sobre o alinhamento **AB** à esquerda de **C**, definindo o ponto **D**. O 10<sup>o</sup> metro estaria sobre o alinhamento **AB** à direita de **C**, definindo o ponto **E**. O ponto **F**, definido pelo 6<sup>o</sup> metro, se ajusta facilmente em função dos pontos **D** e **E** já marcados.



Obs.: para a marcação de triângulos no campo, normalmente utilizam-se comprimentos menores equivalentes aos citados ou esquadros de madeira.

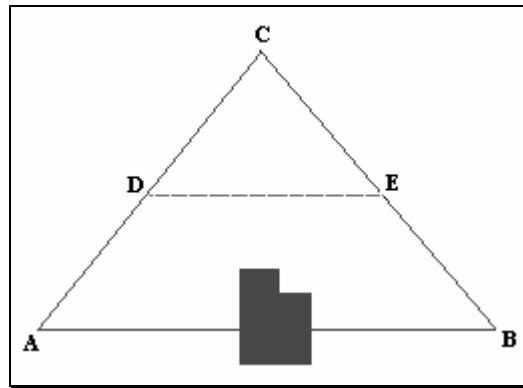
### 8.3.4. Transposição de Obstáculos

Segundo GARCIA (1984), para a medida de distâncias entre pontos não intervisíveis, ou seja, em que a mesma não possa ser obtida pela existência de algum obstáculo (edificação, lago, alagado, mata, árvore etc.), costuma-se fazer uso da marcação, em campo, de triângulos semelhantes.

Como indicado na figura a seguir (GARCIA, 1984), existe uma edificação sobre o alinhamento **AB**, o que impede a determinação do seu comprimento pelos métodos explicitados anteriormente.

Assim, para que a distância **AB** possa ser determinada, escolhe-se um ponto **C** qualquer do terreno de onde possam ser avistados os pontos **A** e **B**. Medem-se as distâncias

**CA** e **CB** e, a meio caminho de **CA** e de **CB** são marcados os pontos **D** e **E**. A distância **DE** também deve ser medida.



Após estabelecer a relação de semelhança entre os triângulos **CAB** e **CDE**, a distância **AB** será dada por:

$$\mathbf{AB} = \frac{\mathbf{CA} \cdot \mathbf{DE}}{\mathbf{CD}}$$

### 8.3.5. Erros na Medida Direta de Distâncias

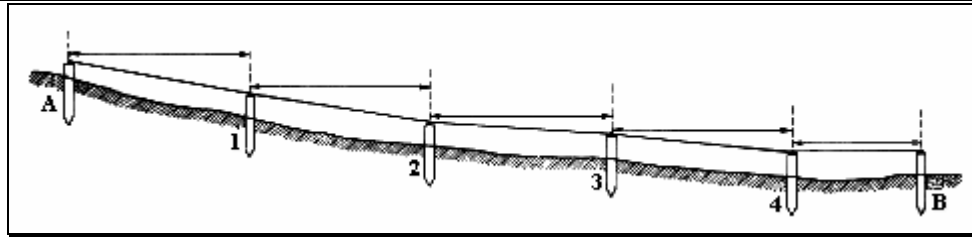
Os erros cometidos, voluntária ou involuntariamente, durante a medida direta de distâncias, devem-se:

⇨ ao *comprimento do diastímetro*: afetado pela tensão aplicada em suas extremidades e também pela temperatura ambiente. A correção depende dos coeficientes de elasticidade e de dilatação do material com que o mesmo é fabricado. Portanto, deve-se utilizar dinamômetro e termômetro durante as medições para que estas correções possam ser efetuadas ou, proceder a aferição do diastímetro de tempos em tempos.

A *distância horizontal correta* (**DH<sub>c</sub>**) entre dois pontos será dada dividindo-se o *comprimento aferido do diastímetro* ( $\ell_a$ ) pelo seu *comprimento nominal* ( $\ell$ ) e multiplicando-se pela *distância horizontal medida* (**DH<sub>m</sub>**):

$$\mathbf{DH}_c = \frac{\ell_a}{\ell} \cdot \mathbf{DH}_m$$

⇨ ao *desvio vertical* ou *falta de horizontalidade*: ocorre quando o terreno é muito inclinado. Assim, mede-se uma série de linhas inclinadas em vez de medir as projeções destas linhas sobre o plano horizontal, como na figura a seguir (BORGES, 1988).



O erro devido ao *desvio vertical* ( $C_{dv}$ ), para um único lance, pode ser encontrado através da relação entre o *desnível do terreno* ( $DN$ ) e o *comprimento do diastímetro* ( $\ell$ ):

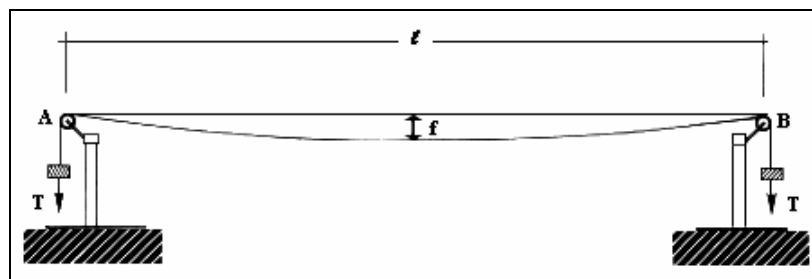
$$C_{dv} = \frac{DN^2}{2 \cdot \ell}$$

Este erro é cumulativo e sempre positivo. Assim, a *distância horizontal correta* ( $DH_c$ ) entre dois pontos será encontrada subtraindo-se da *distância horizontal medida* ( $DH_m$ ), o *desvio vertical* ( $C_{dv}$ ) multiplicado pelo *número de lances* ( $N_\ell$ ) dado com o diastímetro:

$$DH_c = DH_m - (N_\ell \cdot C_{dv})$$

⇨ *catenária*: curvatura ou *barriga* que se forma ao tensionar o diastímetro e que é função do seu peso e do seu comprimento. Para evitá-la, é necessário utilizar diastímetros leves, não muito longos e aplicar tensão apropriada (segundo normas do fabricante) às suas extremidades.

A figura a seguir (DOMINGUES, 1979) indica a flecha ( $f$ ) do arco formado pelo comprimento ( $\ell$ ) do diastímetro com tensão ( $T$ ) aplicada nas extremidades.



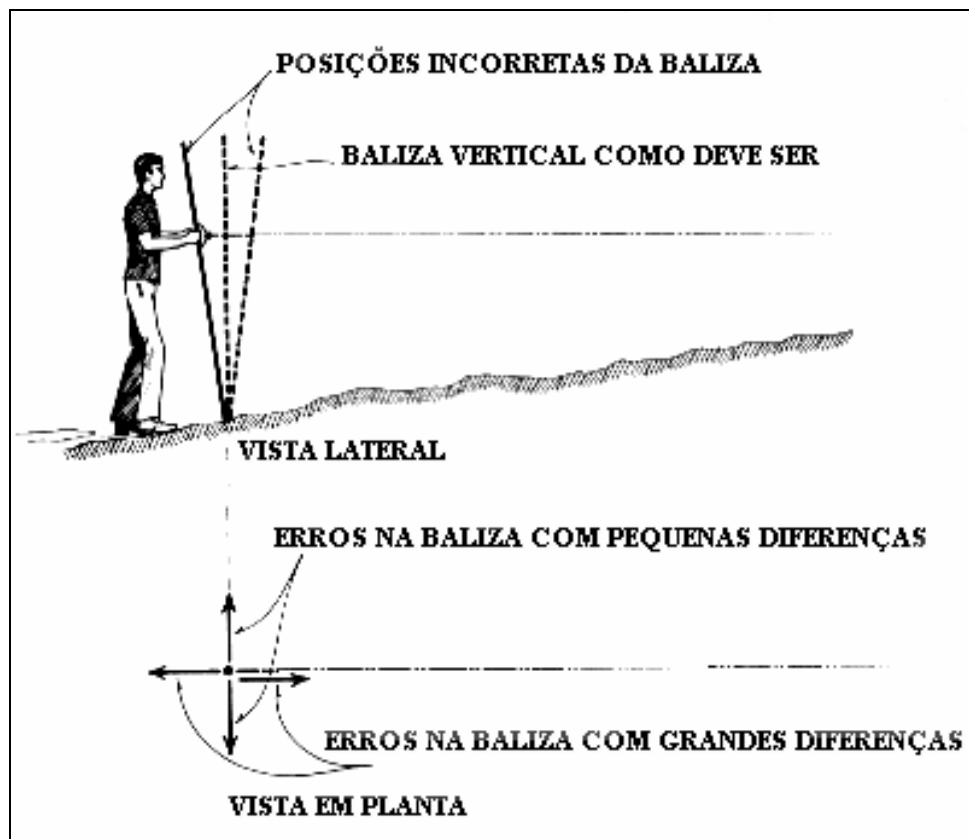
O erro devido à *catenária*, para um único lance, pode ser encontrado através da relação:

$$C_c = \frac{8 \cdot f^2}{3 \cdot \ell}$$

Este erro é cumulativo, provoca uma redução do diastímetro e, conseqüentemente, resulta numa medida de distância maior que a real. Assim, a *distância horizontal correta* ( $DH_c$ ) entre dois pontos será encontrada subtraindo-se da *distância horizontal medida* ( $DH_m$ ), o *erro da catenária* ( $C_c$ ) multiplicado pelo *número de lances* ( $N_l$ ) dado com o diastímetro:

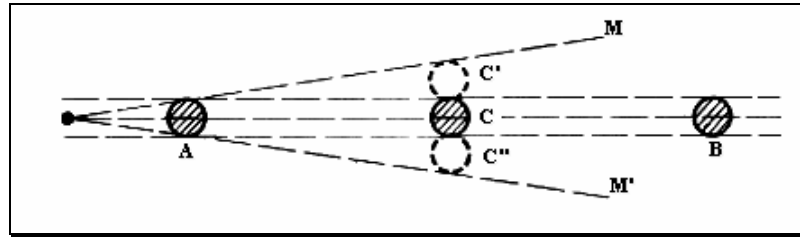
$$DH_c = DH_m - (N_l \cdot C_c)$$

⇨ à *verticalidade da baliza*: como indicado na figura abaixo (BORGES, 1988), é ocasionado por uma inclinação da baliza quando esta se encontra posicionada sobre o alinhamento a medir. Provoca o encurtamento ou alongamento deste alinhamento caso esteja incorretamente posicionada para trás ou para frente respectivamente. Este tipo de erro só poderá ser evitado se for feito uso do nível de cantoneira.



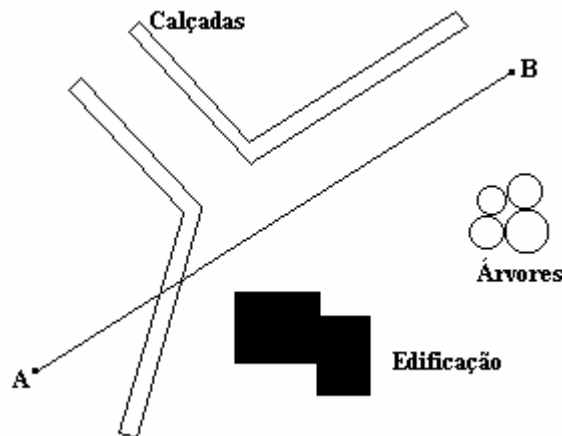
⇨ ao *desvio lateral do alinhamento*: ocasionado por um descuido no balizamento intermediário, mede-se uma linha cheia de quebras em vez de uma linha reta. Para evitar este tipo de erro é necessário maior atenção por parte dos balizeiros.

A figura a seguir (ESPARTEL, 1987), indica como o balizeiro intermediário (C) deve se posicionar em relação aos balizeiros de ré (A) e vante (B) para que não haja desvio lateral do alinhamento.



### 8.3.6. Exercícios

1. Amarre a posição das árvores, da edificação e das calçadas em relação ao lado **AB** de um triângulo marcado no campo, como mostra a figura abaixo. Utilize o método da triangulação, das perpendiculares, ou ambos.



2. Qual será o erro no comprimento de um alinhamento, em mm, devido ao *desvio vertical* do diastímetro, sabendo-se que: o desnível do terreno, para cada lance, é de 0,25m e que o comprimento do alinhamento medido resultou em 50,00m? O comprimento do diastímetro é de 25,00m. O erro encontrado é desprezível?

3. Em relação ao exercício anterior, qual será o erro para um desnível do terreno igual a 1,00m para cada lance? O erro encontrado é desprezível?

4. Qual será o erro provocado por uma flecha de 30cm em uma trena de 20m de comprimento? Este tipo de erro provoca uma redução ou uma ampliação da trena? O erro encontrado é desprezível? O erro cresce ou decresce com o comprimento da trena? Qual o valor da distância correta, para uma distância medida de 127,44m?

5. Uma linha AB foi medida com uma trena de comprimento nominal igual a 20m, obtendo-se, após vários lances, o valor de 92,12m. Qual o comprimento real da linha, ao constatar-se que a trena se encontrava dilatada de 6cm?

6. Uma linha medida com uma trena de lona resultou em 284,40m. Mas, a trena, cujo comprimento nominal é de 20m, encontra-se com um comprimento aferido de 19,95m. Determine o comprimento correto da linha medida.

7. Deve-se marcar, sobre o terreno, um alinhamento de 193,54m. Mas, a trena de plástico a ser usada está dilatada em 35mm. Em função disso, determine qual seria o comprimento aparente a marcar, se o comprimento nominal desta trena é 25m.

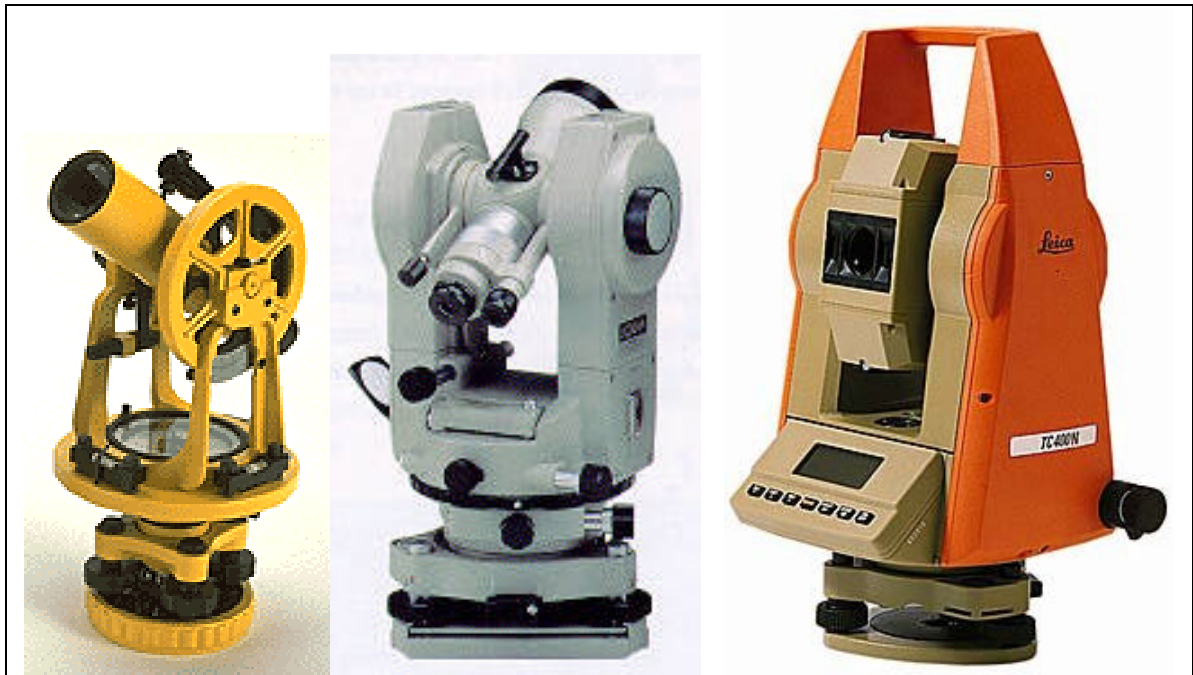
#### 8.4. Medida Indireta de Distâncias

Segundo DOMINGUES (1979) diz-se que o processo de medida de distâncias é *indireto* quando estas distâncias são calculadas em função da medida de outras grandezas, não havendo, portanto, necessidade de percorrê-las para compará-las com a grandeza padrão.

Os equipamentos utilizados na medida indireta de distâncias são, principalmente:

- *Teodolito e/ou Nível*: o *teodolito* é utilizado na leitura de ângulos horizontais e verticais e da régua graduada; o *nível* é utilizado somente para a leitura da régua.

A figura a seguir ilustra três gerações de teodolitos: o *trânsito* (mecânico e de leitura externa); o *ótico* (prismático e com leitura interna); e o eletrônico (leitura digital).



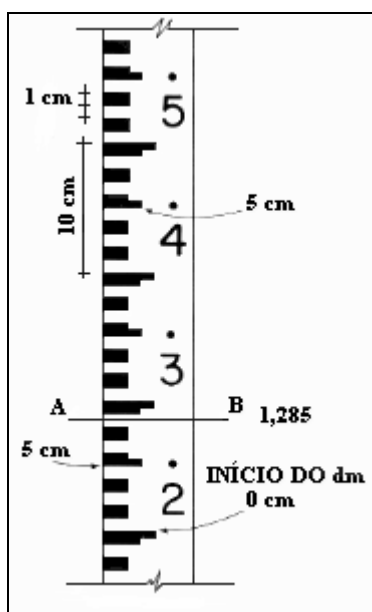
- *Acessórios*: entre os acessórios mais comuns de um teodolito ou nível estão: o *tripé* (serve para estacionar o aparelho); o *fio de prumo* (serve para posicionar o aparelho exatamente sobre o ponto no terreno); e a *lupa* (para leitura dos ângulos).

A figura a seguir ilustra um tripé de alumínio, normalmente utilizado com o trãnsito; e um de madeira, utilizado com teodolitos óticos ou eletrônicos. É interessante salientar que para cada equipamento de medição existe um tripé apropriado.



• *Mira ou Régua graduada*: é uma régua de madeira, alumínio ou PVC, graduada em **m**, **dm**, **cm** e **mm**; utilizada na determinação de distâncias horizontais e verticais entre pontos.

A figura a seguir (BORGES, 1988), ilustra parte de uma régua de quatro metros de comprimento e as respectivas divisões do metro: dm, cm e mm.



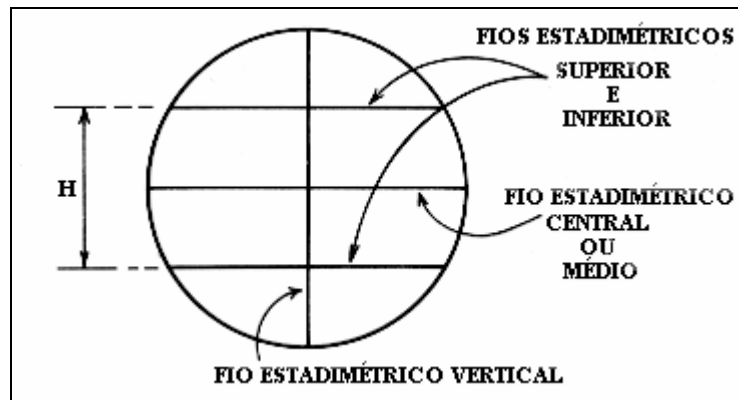
• *Nível de cantoneira*: já mencionado na medida direta de distâncias, tem a função de tornar vertical a posição da régua graduada.

• *Baliza*: já mencionada na medida direta de distâncias, é utilizada com o teodolito para a localização dos pontos no terreno e a medida de ângulos horizontais.

Ao processo de medida indireta denomina-se **ESTADIMETRIA** ou **TAQUEOMETRIA**, pois é através do *retículo* ou *estadia* do teodolito que são obtidas as leituras dos ângulos verticais e horizontais e da régua graduada, para o posterior cálculo das distâncias horizontais e verticais.

Como indicado na figura abaixo (BORGES, 1988), a estadia do teodolito é composta de:

- ⇒ 3 fios estadimétricos horizontais (**FS**, **FM** e **FI**)
- ⇒ 1 fio estadimétrico vertical



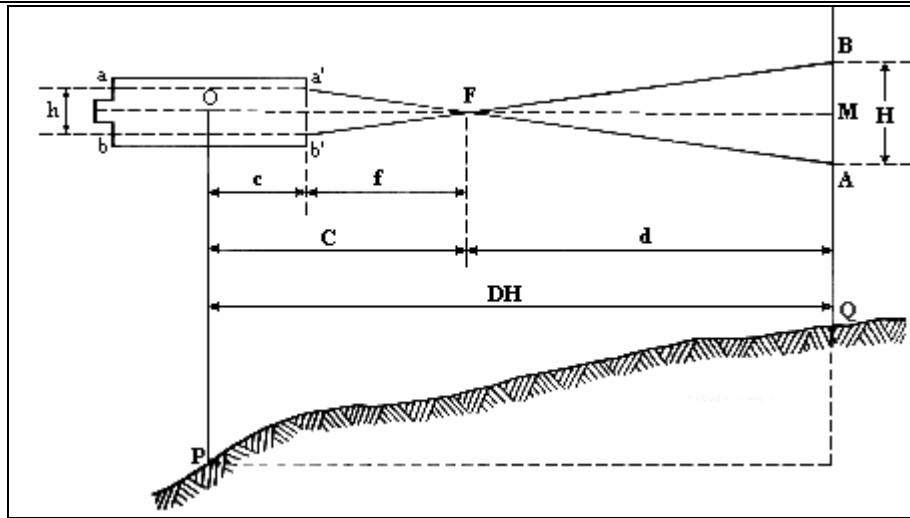
## 8.5. Métodos de Medida Indireta

Segundo GARCIA e PIEDADE (1984) os métodos indiretos de medida de distâncias são:

### 8.5.1. Distância Horizontal - Visada Horizontal

A figura a seguir (GARCIA, 1984) ilustra um teodolito estacionado no ponto **P** e a régua graduada no ponto **Q**. Do ponto **P** visa-se o ponto **Q** com o círculo vertical do teodolito *zerado*, ou seja, com a luneta na posição horizontal. Proceder-se a leitura dos fios estadimétricos inferior (**FI**), médio (**FM**) e superior (**FS**). A distância horizontal entre os pontos será deduzida da relação existente entre os triângulos **a'b'F** e **ABF**, que são semelhantes e opostos pelo vértice.





Da figura tem-se:

$f$  = distância focal da objetiva

$F$  = foco exterior à objetiva

$c$  = distância do centro ótico do aparelho à objetiva

$C = c + f$  = constante do instrumento

$d$  = distância do foco à régua graduada

$H = AB = B - A = FS - FI$  = diferença entre as leituras

$M = FM$  = leitura do retículo médio

Pelas regras de semelhança pode-se escrever que:

$$\frac{a'b'}{f} = \frac{AB}{d}$$

$$d = \frac{AB}{a'b'} \cdot f$$

$$a'b' = \frac{f}{100} \rightarrow \text{fornecido pelo fabricante}$$

$$d = \frac{AB \cdot f}{f/100}$$

$$d = 100 \cdot H$$

$$DH = d + C$$

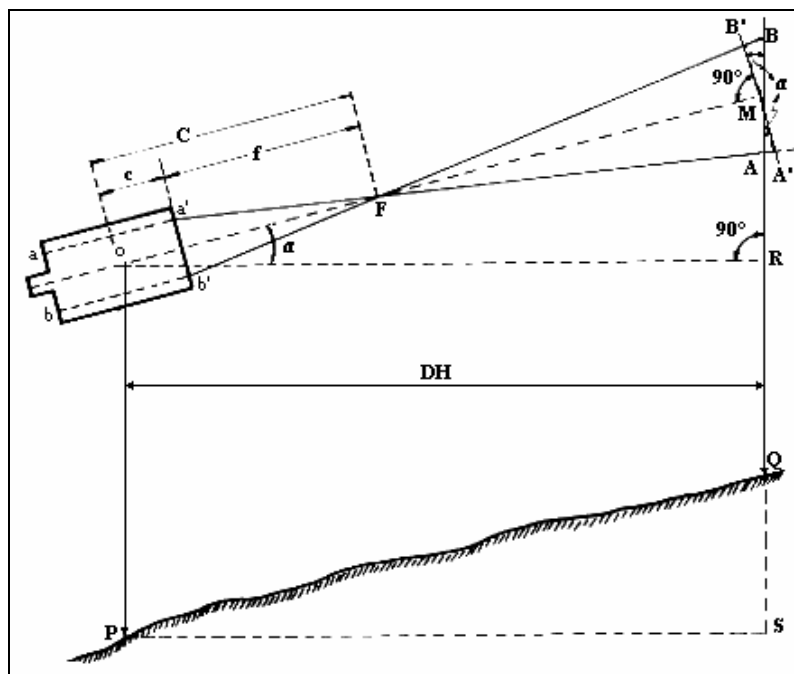
Portanto,

$$DH = 100 \cdot H + C$$

$C$  é a constante de Reichembach, que assume valor 0cm para equipamentos com lunetas analíticas e valores que variam de 25cm a 50cm para equipamentos com lunetas aláticas.

### 8.5.2. Distância Horizontal - Visada Inclinada

Neste caso, para visar a régua graduada no ponto  $Q$  há necessidade de se inclinar a luneta, para cima ou para baixo, de um ângulo ( $\alpha$ ) em relação ao plano horizontal. Como indicado na figura abaixo (GARCIA, 1984), a distância horizontal poderá ser deduzida através:



$$\text{Do triângulo } AA'M \rightarrow MA' = MA \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Do triângulo } BB'M \rightarrow MB' = MB \cdot \cos \alpha$$

$$MA' + MB' = (MA + MB) \cdot \cos \alpha$$

$$MA' + MB' = A'B'$$

$$MA + MB = AB = H$$

portanto,

$$A'B' = H \cdot \cos \alpha$$

Do triângulo **OMR**  $\rightarrow OR = OM \cdot \cos \alpha$

$$OM = 100 \cdot A'B' + C$$

$$OM = 100 \cdot H \cdot \cos \alpha + C$$

$$OR = (100 \cdot H \cdot \cos \alpha + C) \cdot \cos \alpha$$

$$DH = OR$$

portanto,

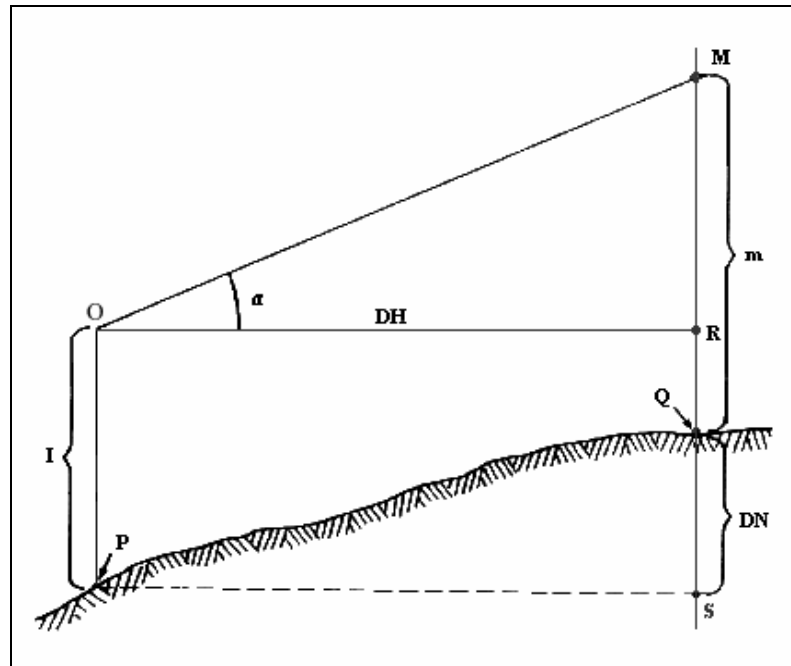
$$DH = 100 \cdot H \cdot \cos^2 \alpha + C \cdot \cos \alpha$$

Desprezando-se o termo  $(\cos \alpha)$  na segunda parcela da expressão tem-se:

$$\boxed{DH = 100 \cdot H \cdot \cos^2 a + C}$$

### 8.5.3. Distância Vertical - Visada Ascendente

A figura a seguir (GARCIA, 1984) ilustra a luneta de um teodolito inclinada no sentido ascendente (para cima). Assim, a diferença de nível ou distância vertical entre dois pontos será deduzida da relação:



$$QS = RS + RM - MQ$$

onde,

$$QS = DN = \text{diferença de nível}$$

$$RS = I = \text{altura do instrumento}$$

$$MQ = M = FM = \text{leitura do retículo médio}$$

$$\boxed{FM = \frac{FS + FI}{2}}$$

Do triângulo **ORM**, tem-se que

$$RM = OR \cdot \text{tg } \alpha$$

$$RM = DH \cdot \text{tg } \alpha$$

$$RM = (100 \cdot H \cdot \cos^2 \alpha + C) \cdot \text{tg } \alpha$$

$$RM = (100 \cdot H \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{tg } \alpha + C \cdot \text{tg } \alpha$$

$$RM = 100 \cdot H \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{sen } \alpha / \cos \alpha + C \cdot \text{tg } \alpha$$

$$RM = 100 \cdot H \cdot \cos \alpha \cdot \text{sen } \alpha + C \cdot \text{tg } \alpha$$

ora,

$$\cos \alpha \cdot \text{sen } \alpha = (\text{sen } 2\alpha) / 2$$

então,

$$RM = 100 \cdot H \cdot (\text{sen } 2\alpha) / 2 + C \cdot \text{tg } \alpha$$

desprezando-se a última parcela tem-se,

$$RM = 50 \cdot H \cdot \text{sen } 2\alpha$$

substituindo na equação inicial, resulta

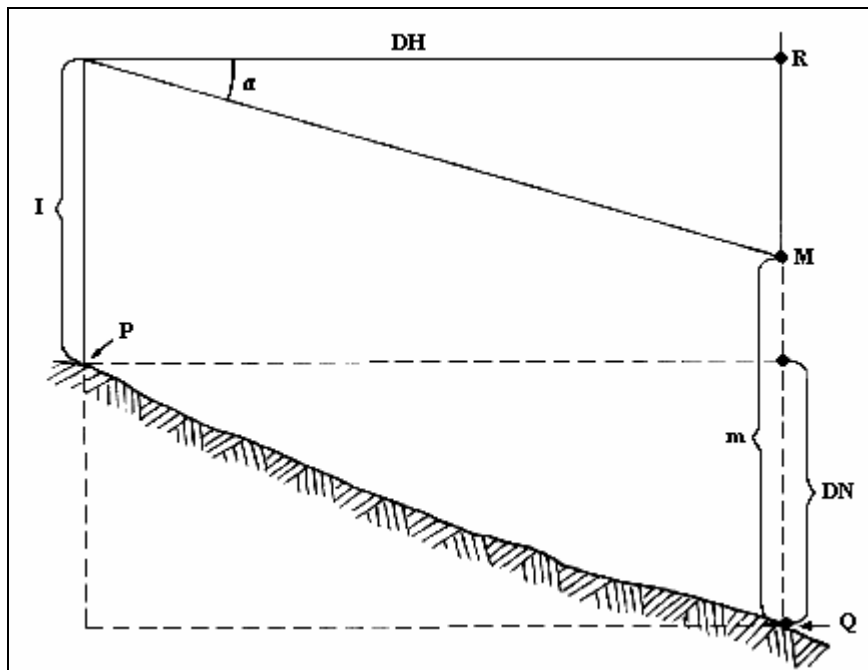
$$\boxed{DN = 50 \cdot H \cdot \text{sen } 2\alpha - FM + I}$$

A interpretação do resultado desta relação se faz da seguinte forma:

- ⇒ se **DN** for positivo (+) significa que o terreno, no sentido da medição, está em **ACLIVE**.
- ⇒ se **DN** for negativo (-) significa que o terreno, no sentido da medição, está em **DECLIVE**.

### 8.5.4. Distância Vertical - Visada Descendente

A figura a seguir (GARCIA, 1984) ilustra a luneta de um teodolito inclinada no sentido descendente (para baixo). Assim, a diferença de nível entre dois pontos será deduzida da mesma forma que para o item 8.5.3., porém, com os sinais trocados.



Logo:

$$\text{DN} = 50 \cdot H \cdot \text{sen } 2\alpha + \text{FM} - I$$

A interpretação do resultado desta relação se faz da seguinte forma:

- ⇒ se **DN** for positivo (+) significa que o terreno, no sentido da medição, está em **DECLIVE**.
- ⇒ se **DN** for negativo (-) significa que o terreno, no sentido da medição, está em **ACLIVE**.

### 8.5.5. Erros nas Medidas Indiretas de Distâncias

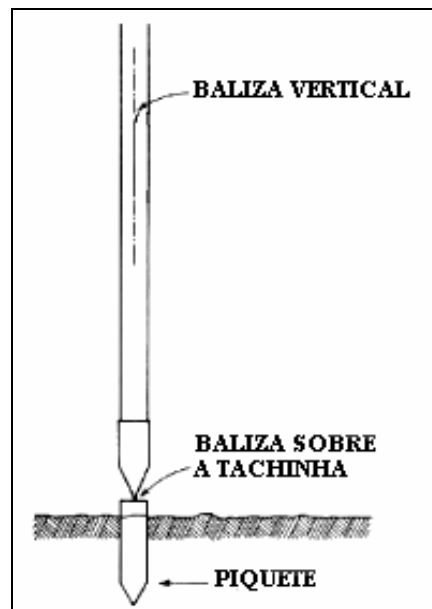
Os erros cometidos durante a determinação indireta de distâncias podem ser devidos aos seguintes fatores:

⇒ *leitura da régua*: relativo à leitura errônea dos fios estadimétricos inferior, médio e superior provocados:

- a) Pela distância entre o teodolito e a régua (muito longa ou muito curta).
- b) Pela falta de capacidade de aproximação da luneta.
- c) Pela espessura dos traços do retículo.
- d) Pelo meio ambiente (refração atmosférica, ventos, má iluminação).
- e) Pela maneira como a régua está dividida e pela variação do seu comprimento.
- f) Pela falta de experiência do operador.

⇨ *leitura de ângulos*: ocorre quando se faz a leitura dos círculos vertical e/ou horizontal de forma errada, por falha ou falta de experiência do operador.

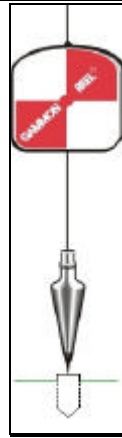
⇨ *verticalidade da baliza*: ocorre quando não se faz uso do nível de cantoneira. A figura abaixo (BORGES, 1988) ilustra a maneira correta de posicionamento da baliza nos levantamentos, ou seja, na vertical e sobre a tachinha do piquete.



⇨ *verticalidade da mira*: assim como para a baliza, ocorre quando não se faz uso do nível de cantoneira.

⇨ *pontaria*: no caso de leitura dos ângulos horizontais, ocorre quando o fio stadimétrico vertical do teodolito não coincide com a baliza (centro).

⇨ *erro linear de centragem do teodolito*: segundo ESPARTEL (1987), este erro se verifica quando a projeção do centro do instrumento não coincide exatamente com o vértice do ângulo a medir, ou seja, o prumo do aparelho não coincide com o ponto sobre o qual se encontra estacionado.



⇨ *erro de calagem ou nivelamento do teodolito*: ocorre quando o operador, por falta de experiência, não nivela o aparelho corretamente.

### 8.5.6. Exercícios

1. De um piquete (**A**) foi visada uma mira colocada em um outro piquete (**B**). Foram feitas as seguintes leituras:

fio inferior = 0,417m

fio médio = 1,518m

ângulo vertical =  $5^{\circ}30'$  em visada descendente (**A** → **B**)

altura do instrumento (**A**) = 1,500m

Calcule a distância horizontal entre os pontos (**AB**) sabendo-se que a luneta é do tipo analítica.

2. Considerando os dados do exercício anterior, calcule a distância vertical ou diferença de nível entre os pontos e determine o sentido de inclinação do terreno.

3. Ainda em relação ao exercício anterior, determine qual é a altitude (**h**) do ponto (**B**), sabendo-se que a altitude do ponto (**A**) é de 584,025m.

4. Um teodolito acha-se estacionado na estaca número (**1**) de uma poligonal e a cota, deste ponto, é 200,000m. O eixo da luneta de um teodolito encontra-se a 1,700m do solo. Para a estaca de número (**2**), de cota 224,385; foram feitas as seguintes leituras:

retículo inferior = 0,325m

retículo superior = 2,675m

Calcule a distância horizontal entre as estacas.

5. De um ponto com altitude 314,010m foi visada uma régua, situada em um segundo ponto de altitude 345,710m. Com as leituras:  $\alpha = 12^{\circ}$  em visada ascendente;  $I = 1,620$ m; e sabendo-se que a distância horizontal entre estes pontos é de 157,100m; calcule  $H$ ,  $FM$ ,  $FI$ ,  $FS$ .

6. Para uma poligonal triangular, calcule a cota de um ponto (C) sabendo-se que:

$$DH(AB) = 100,320\text{m}$$

$$H_z(CAB) = 66^\circ 10'$$

$$H_z(CBA) = 41^\circ 42'$$

$$h(A) = 151,444\text{m}$$

$$\alpha(A \rightarrow C) = 12^\circ 40'$$

7. Em relação ao exercício anterior, qual será a cota do ponto (C) se a altura do instrumento no ponto (A) for igual a 1,342m?

8. O quadro abaixo indica valores para a diferença dos fios superior e inferior (H) e ângulos verticais tomados de uma estação para localizar pontos de um curso d'água em um levantamento. A altura do aparelho foi de 1,83m e a altitude da estação de 143,78m. Nos pontos em que não houve a possibilidade de projetar a altura do aparelho sobre a régua, a leitura do fio médio está anotada junto ao ângulo vertical. Determine as distâncias horizontais entre a estação e os pontos, bem como, as altitudes dos mesmos.

Ponto	H (m)	a
1	0,041	+2°19'
2	0,072	+1°57' em 1,43m
3	0,555	+0°00' em 2,71m
4	1,313	-2°13'
5	1,111	-4°55' em 1,93m
6	0,316	+0°30'

Determine as distâncias horizontais entre a estação e os pontos, bem como, as altitudes dos mesmos.

### 8.6. Medida Eletrônica

De acordo com alguns autores, a medida eletrônica de distâncias não pode ser considerada um tipo de medida *direta* pois não necessita percorrer o alinhamento a medir para obter o seu comprimento.

Nem por isso deve ser considerada um tipo de medida *indireta*, pois não envolve a leitura de réguas e cálculos posteriores para a obtenção das distâncias.

Na verdade, durante uma medição eletrônica, o operador intervém muito pouco na obtenção das medidas, pois todas são obtidas automaticamente através de um simples pressionar de botão.



Este tipo de medição, no entanto, não isenta o operador das etapas de *estacionamento, nivelamento e pontaria* dos instrumentos utilizados, qualquer que seja a tecnologia envolvida no processo comum de medição.

Segundo LOCH e CORDINI (1995) os instrumentos eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos tradicionais processos de medida, tais como: economia de tempo, facilidade de operação e, principalmente, precisão adequada aos vários tipos de trabalhos topográficos, cartográficos e geodésicos.

A medida eletrônica de distâncias baseia-se na emissão/recepção de sinais luminosos (visíveis ou não) ou de microondas que atingem um anteparo ou refletor. A distância entre o emissor/receptor e o anteparo ou refletor é calculada eletronicamente e, segundo KAVANAGH e BIRD (1996), baseia-se no comprimento de onda, na frequência e velocidade de propagação do sinal.

Embora o tópico em discussão seja o da medida eletrônica de distâncias, alguns dos equipamentos que serão descritos em seguida também medem ângulos eletronicamente.

Assim, entre os principais equipamentos utilizados atualmente na medida eletrônica de distâncias e/ou ângulos, pode-se citar:

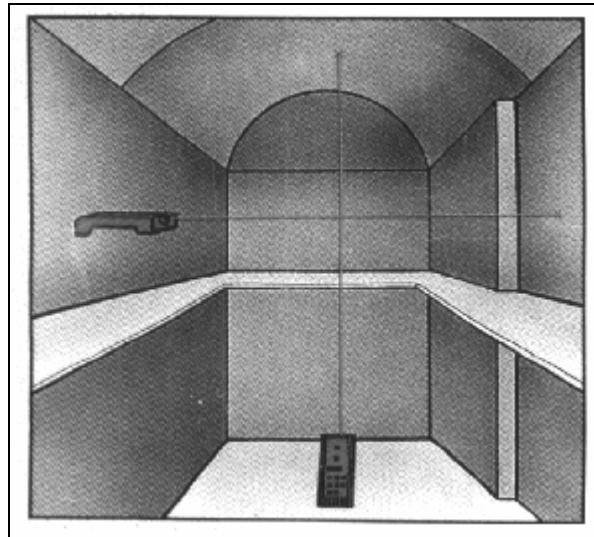
#### a) **Trena Eletrônica**

- ⇒ dispositivo eletrônico composto de um emissor/receptor de sinais que podem ser pulsações ultra-sônicas ou feixe de luz infravermelho;
- ⇒ o alcance depende do dispositivo;
- ⇒ normalmente, para a determinação de distâncias acima de 50 metros, é necessário utilizar um *alvo eletrônico* para a correta devolução do sinal emitido;
- ⇒ como explicitado anteriormente, o cálculo da distância é feito em função do tempo que o sinal emitido leva para atingir o alvo, ser refletido e recebido de volta; a frequência e o comprimento do sinal são conhecidos pelo dispositivo;
- ⇒ o sinal é então recebido e processado e a distância calculada é mostrada num visor de cristal líquido (LCD);
- ⇒ alguns destes dispositivos são capazes de processar, entre outras coisas, áreas, volumes, adição e subtração de distâncias, etc.;
- ⇒ funciona com pilhas ou bateria, do tipo encontrado em supermercado;
- ⇒ o custo deste dispositivo, bem como, dos demais dispositivos que serão descritos mais adiante, varia muito e depende da tecnologia envolvida, das funções que disponibiliza e do fabricante.

As figuras a seguir ilustram trenas eletrônicas de diferentes fabricantes (SOKKIA e LEICA), selecionadas a partir de páginas da INTERNET.



A figura a seguir ilustra uma medição interna utilizando trena eletrônica onde a parede é o anteparo que reflete o sinal emitido. No caso, estão sendo tomadas a *altura* e *largura* de um aposento.



### b) Teodolito Eletrônico

- ⇒ é um dispositivo com ótica de alto rendimento, mecânica de precisão, facilidade de utilização e altíssima confiabilidade;
- ⇒ normalmente faz parte de um sistema modular que permite adaptar outros equipamentos de medição (distanciômetro ou trena eletrônica) que se adequem às suas novas necessidades a um custo reduzido;

A figura a seguir ilustra um teodolito eletrônico da marca LEICA (modelo T460d) e uma trena eletrônica, também da LEICA, a ele acoplada para a medição das distâncias.



- ⇒ não utiliza, necessariamente, sinais refletivos para a *identificação* do ponto a medir, pois é um equipamento específico para a medição eletrônica de *ângulos* e não de distâncias;
- ⇒ assim, possibilita a leitura de ângulos (**H<sub>z</sub>** e **V**) contínuos em intervalos que variam de 20", 10", 7", 5", 3", 2", 1.5", 1" e 0.5", dependendo da aplicação e do fabricante;
- ⇒ dispõe de prumo ótico ou a laser, como indica a figura a seguir, e com magnitude (focal) de até 2X;



- ⇨ possui visor de cristal líquido (LCD) com teclado de funções e símbolos específicos que têm por finalidade guiar o operador durante o levantamento;
- ⇨ o teclado, bem como o equipamento, são relativamente resistentes a intempéries;
- ⇨ alguns fabricantes já disponibilizam teodolitos à prova d'água;
- ⇨ funciona com bateria específica, porém, recarregável;
- ⇨ a luneta tem uma magnitude (focal) que varia de 26X a 30X;
- ⇨ permite medições sob temperaturas que variam de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ , dependendo das especificações do fabricante;
- ⇨ pode ser utilizado em trabalhos de engenharia que envolvam medição de deformações em grandes obras (barragens, hidrelétricas, pontes, estruturas metálicas, etc.), medição industrial, exploração de minérios, em levantamentos topográficos e geodésicos, etc..

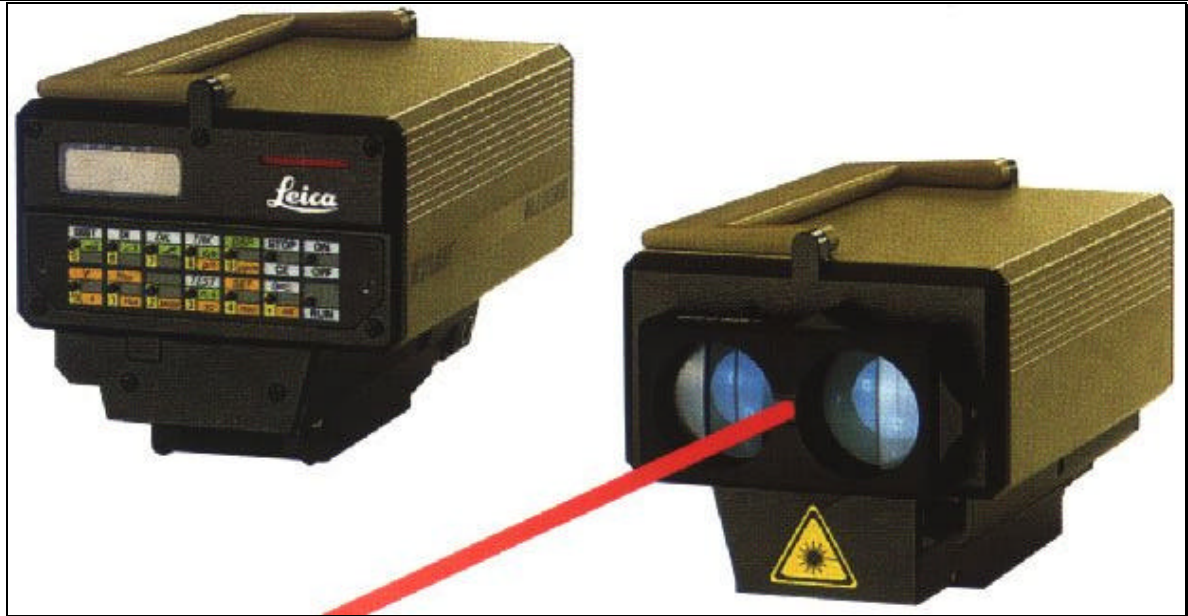
A figura a seguir ilustra um teodolito eletrônico da marca ZEISS (modelo eth2lrg). Percebem-se os visores LCD correspondentes ao ângulo vertical e horizontal medidos pelo aparelho.



### c) Distanciômetro Eletrônico

- ⇨ é um equipamento exclusivo para medição de distâncias (**DH**, **DV** e **DI**);
- ⇨ a tecnologia utilizada na medição destas distâncias é a do infravermelho;
- ⇨ a precisão das medidas depende do modelo de equipamento utilizado;

A figura a seguir ilustra a vista posterior (teclado e visor) e anterior (emissor e receptor do infravermelho) de um distanciômetro da marca LEICA, modelo DI3000s.



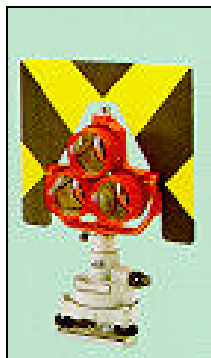
- ⇒ é normalmente utilizado acoplado a um teodolito ótico-prismático convencional ou a um teodolito eletrônico;
- ⇒ o alcance deste equipamento varia entre 500m a 20.000m e depende da quantidade de *prismas* utilizados para a reflexão do sinal, bem como, das condições atmosféricas;
- ⇒ o *prisma* é um espelho circular, de faces cúbicas, utilizado acoplado a uma haste de metal ou bastão e que tem por finalidade refletir o sinal emitido pelo aparelho precisamente na mesma direção em que foi recebido;
- ⇒ o *sinal refletor* (bastão + prismas) deve ser posicionado sobre o ponto a medir, na posição vertical, com a ajuda de um nível de bolha circular ou de um bipé; e, em trabalhos de maior precisão, deverá ser montado sobre um tripé com prumo ótico ou a laser;

A figura a seguir ilustra um bastão, um prisma e um tripé específico para bastão, todos da marca SOKKIA.



- ⇒ quanto maior a quantidade de prismas acoplados ao bastão, maior é o alcance do equipamento;

As figuras a seguir ilustram dois tipos de conjunto de prismas: o primeiro, com três prismas e alvo; o segundo, com nove prismas. Percebe-se que ambos estão acoplados a uma base triangular que pode ser nivelada e que pode ser apoiada sobre tripé apropriado.



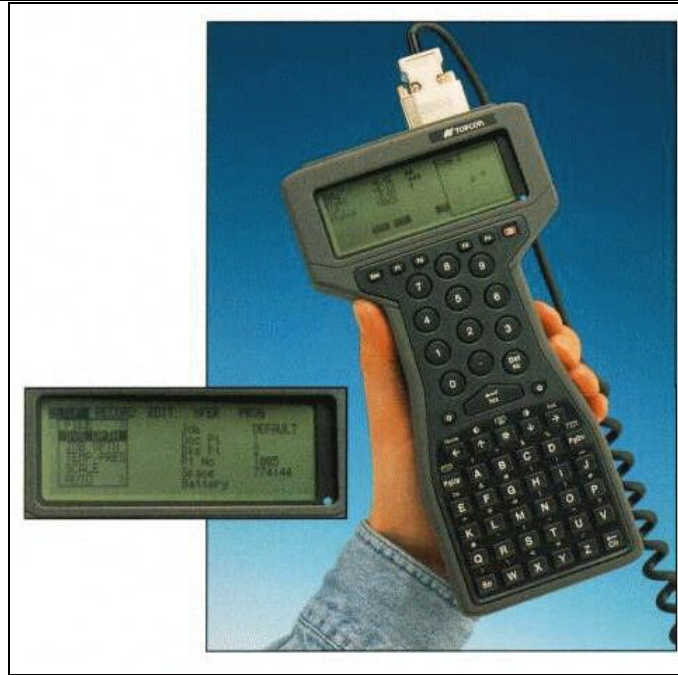
- ⇨ quando se utiliza o prisma acoplado a um bastão, é possível ajustar a altura do mesmo, que é graduado em centímetros e polegadas;
- ⇨ a determinação das distâncias é feita em poucos segundos e os resultados são visualizados através de um visor LCD;
- ⇨ funciona com bateria específica, porém, recarregável;
- ⇨ pode ser utilizado em levantamentos geodésicos pois as distâncias reduzidas são corrigidas automaticamente dos efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica.

#### d) Estação Total

- ⇨ de acordo com KAVANAGH e BIRD (1996), uma *estação total* é o conjunto definido por um *teodolito eletrônico*, um *distanciômetro* a ele incorporado e um *microprocessador* que automaticamente monitora o estado de operação do instrumento;
- ⇨ portanto, este tipo de equipamento é capaz de medir ângulos horizontais e verticais (teodolito) e distâncias horizontais, verticais e inclinadas (distanciômetro), além de poder processar e mostrar ao operador uma série de outras informações, tais como: condições do nivelamento do aparelho, número do ponto medido, as coordenadas UTM ou geográficas e a altitude do ponto, a altura do aparelho, a altura do bastão, etc.;
- ⇨ a tecnologia utilizada na medição das distâncias é a do infravermelho;
- ⇨ as medidas obtidas com o levantamento podem ser registradas em *cadernetas de campo* convencionais, através de *coletores de dados*, ou, como no caso dos equipamentos mais modernos, através de *módulos* específicos (tipo cartão PCMCIA) incorporados ao próprio aparelho;
- ⇨ o *coletor de dados* é normalmente um dispositivo externo (que pode ser uma máquina de calcular), conectado ao aparelho através de um cabo e capaz de realizar as etapas de *fechamento* e *ajustamento* do levantamento;

A figura a seguir ilustra um coletor de dados TOPCON, o cabo pelo qual está conectado à estação total e uma ampliação do visor LCD com informações sobre a medição.





- ⇒ na maioria das estações, os dados registrados pelo *coletor* podem ser transferidos para um computador através de uma interface RS 232 padrão (mesma utilizada nos computadores para ligação de scanners, plotters, etc.);
- ⇒ a utilização de módulos ou cartões especiais (tipo PCMCIA), quando cheios, podem ser removidos e transferidos para um computador (com *slot* PCMCIA ou com leitor externo) para processamento posterior.

A figura a seguir ilustra um cartão PCMCIA com capacidade de armazenamento entre 512 Kb a 4 Mb.



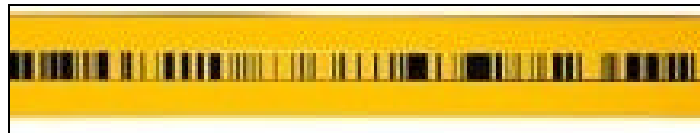
- ⇒ as estações são relativamente resistentes a intempéries e alguns fabricantes dispõem de modelos a prova d'água;
- ⇒ funcionam com bateria específica, porém, recarregável;
- ⇒ são muito utilizadas atualmente em qualquer tipo de levantamento, topográfico ou geodésico.

A figura a seguir ilustra uma estação total da LEICA, modelo TC600, com intervalo angular de 3", precisão linear de 1,5mm e alcance de 2 km com um único prisma.



#### e) Nível Digital

- ⇒ é um nível para medição eletrônica e registro automático de distâncias horizontais e verticais ou diferenças de nível, portanto, não mede ângulos;
- ⇒ o seu funcionamento está baseado no processo digital de leitura, ou seja, num sistema eletrônico de varredura e interpretação de padrões codificados;
- ⇒ para a determinação das distâncias o aparelho deve ser apontado e focalizado sobre uma régua graduada cujas divisões estão impressas em código de barras (escala binária), como mostra a figura a seguir;



- ⇒ este tipo de régua, que pode ser de alumínio, metal invar ou fibra de vidro, é resistente à umidade e bastante precisa quanto à divisão da graduação;
- ⇒ os valores medidos podem ser armazenados internamente pelo próprio equipamento ou em coletores de dados. Estes dados podem ser transmitidos para um computador através de uma interface RS 232 padrão;
- ⇒ a régua é mantida na posição vertical, sobre o ponto a medir, com a ajuda de um nível de bolha circular, como mostra a figura a seguir;





- ⇒ o alcance deste aparelho depende do modelo utilizado, da régua e das condições ambientais (luz, calor, vibrações, sombra, etc.);
- ⇒ funciona com bateria específica, porém, recarregável;
- ⇒ é utilizado essencialmente em nivelamentos convencionais e na construção civil.

As figuras a seguir ilustram dois modelos de nível digital de diferentes fabricantes. O primeiro é da LEICA, modelo NA3000. O segundo é da SOKKIA, modelo SDL30.



#### f) Nível a Laser

- ⇒ é um nível automático cujo funcionamento está baseado na tecnologia do infravermelho;
- ⇒ assim como o nível digital, é utilizado na obtenção de distâncias verticais ou diferenças de nível e também não mede ângulos;

- ⇨ para a medida destas distâncias é necessário o uso conjunto de um *detetor laser* que deve ser montado sobre uma régua de alumínio, metal invar ou fibra de vidro;

A figura a seguir ilustra uma régua metálica com *detetor laser* adaptado, ambos da marca SOKKIA.



- ⇨ este tipo de nível é um aparelho peculiar pois não apresenta luneta nem visor LCD; a leitura da altura da régua (**FM**), utilizada no cálculo das distâncias por estadimetria, é efetuada diretamente sobre a mesma, com o auxílio do *detetor laser*, pela pessoa encarregada de segurá-la;
- ⇨ os *detetores* são dotados de visor LCD que automaticamente se iluminam e soam uma campainha ao detectar o raio laser emitido pelo nível;
- ⇨ alguns modelos de nível e detetores funcionam com pilha alcalina comum; outros, com bateria específica recarregável;
- ⇨ o alcance deste tipo de nível depende do modelo e marca, enquanto a precisão, depende da sensibilidade do detetor e da régua utilizada;
- ⇨ assim como para o nível digital, a régua deve ser mantida na posição vertical, sobre o ponto a medir, com a ajuda de um nível de bolha circular;
- ⇨ é utilizado em serviços de nivelamento convencional e na construção civil.

As figuras a seguir ilustram dois níveis a laser de diferentes fabricantes. O primeiro é um nível WILD LNA10 e, o segundo, um SOKKIA LP31. Estes níveis se auto nivelam (após ajuste grosseiro da bolha circular) e possuem um sistema giratório de emissão do infravermelho. O LNA10 tem um alcance de 80m e o LP31 de 120m.



### g) Equipamentos Motorizados, Automáticos e Robotizados

- ⇨ podem ser *teodolitos* ou *estações total*;
- ⇨ são aparelhos destinados a medições de precisão em Geodésia;
- ⇨ os *motorizados* são indicados para medição em que não há necessidade de contato com o objeto a ser medido e em tarefas que requerem valores medidos a intervalos regulares de tempo;
- ⇨ têm como principal característica o auto-nivelamento (eletrônico) e o alinhamento automático;
- ⇨ os *automáticos* combinam a tecnologia dos motorizados com o reconhecimento automático do alvo (estático ou dinâmico);
- ⇨ os *robotizados* combinam a tecnologia dos automáticos com o acionamento por controle remoto;

A seqüência de figuras a seguir ilustra como é o procedimento, em campo, para:

- a) Um levantamento utilizando uma *estação total convencional* com um operador realizando as etapas de *estacionamento, nivelamento, prumo, pontaria e registro das leituras* e um auxiliar para *segurar o sinal refletor na posição vertical*.
- b) Um levantamento utilizando uma *estação total com reconhecimento automático do alvo* com um operador realizando as etapas de *estacionamento, nivelamento, prumo, pontaria grosseira e registro das leituras* e um auxiliar para *segurar o sinal refletor*.
- c) Um levantamento utilizando uma *estação total robotizada* com um operador realizando as etapas de *estacionamento, nivelamento e prumo* e um auxiliar para *segurar o sinal refletor e controlar remotamente a estação*. Neste caso, uma única pessoa poderia comandar o serviço sozinha.



- ⇒ os equipamentos mais modernos dispensam o sinal refletor para distâncias inferiores a 80m. Acima desta distância e com um alcance de 300m, ao invés de um sinal refletor, pode ser utilizada uma *fita adesiva reflexiva*. Com um prisma somente, o alcance destes equipamentos pode chegar a 5.000m;
- ⇒ como a base de funcionamento destes aparelhos é o infravermelho e a comunicação é por telemetria, o sistema pode ser utilizado, com eficiência, durante a noite e por uma única pessoa;
- ⇒ alguns destes aparelhos funcionam com tecnologia de microondas, o que permite um alcance superior a 50.000m;
- ⇒ são aplicados, principalmente, em trabalhos de controle e monitoramento de obras, medição de deformações e deslocamentos de terras.

Obs.: segundo alguns fabricantes, o raio infravermelho emitido pelos equipamentos eletrônicos de medição, visível ou não, é inofensivo e enviado por um diodo que pertence à classe dos laser 1. Este raio é normalmente afetado pelas variações bruscas de temperatura, pressão atmosférica e umidade. Portanto, é aconselhável que os levantamentos sejam efetuados em dias de boas condições atmosféricas.

### 8.7. Erros na Medida Eletrônica

Os erros que ocorrem durante a medida eletrônica de ângulos e distâncias não diferem muito dos que ocorrem com a medida indireta. São eles:

- ⇒ *erro linear de centragem do instrumento*: já descrito anteriormente.
- ⇒ *erro linear de centragem do sinal-refletor*: ocorre quando a projeção do centro do sinal não coincide com a posição do ponto sobre o qual está estacionado. Uma das maneiras de se evitar este tipo de erro é utilizar um *bipé* para o correto posicionamento do sinal sobre o ponto.
- ⇒ *erro de calagem ou nivelamento do instrumento*: já descrito anteriormente.
- ⇒ *erro de pontaria*: ocorre quando o centro do retículo do aparelho (cruzeta) não coincide com o centro do prisma que compõe o sinal refletor.

⇨ *erro de operação do instrumento*: ocorre quando o operador não está familiarizado com as funções, programas e acessórios informatizados (coletores) que acompanham o instrumento.

## 9. Posicionamento por Satélites

O posicionamento por satélites se dá através da utilização de um equipamento denominado **GPS – Global Positioning System**.

O GPS não é um equipamento utilizado na medida de ângulos e/ou de distâncias, porém, é muito empregado atualmente em serviços de Topografia e Geodésia pois possibilita a *localização espacial* de um ponto no terreno em tempo real.

Esta localização espacial do ponto inclui a sua determinação através de coordenadas planas UTM (E, N) ou através de coordenadas Geográficas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ), além da altura ou altitude (h).

O sistema GPS foi originalmente idealizado pelo Departamento de Defesa (DOD) dos Estados Unidos da América e, embora esteja sendo utilizado por milhares de civis em todo o mundo, é operado exclusivamente pelos militares americanos.

Segundo P. H. DANA (1998) este sistema consiste de três segmentos distintos, são eles:

### 9.1. Sistema Espacial

É composto de 24 satélites artificiais (21 operacionais e 3 reservas) que orbitam ao redor da Terra distribuídos em 6 planos orbitais (4 satélites por plano) espaçados de 60° e inclinados, em relação ao plano do Equador, de 55°.

Cada satélite completa uma órbita ao redor da Terra em aproximadamente 12 horas, a uma altitude de 20.200 km.

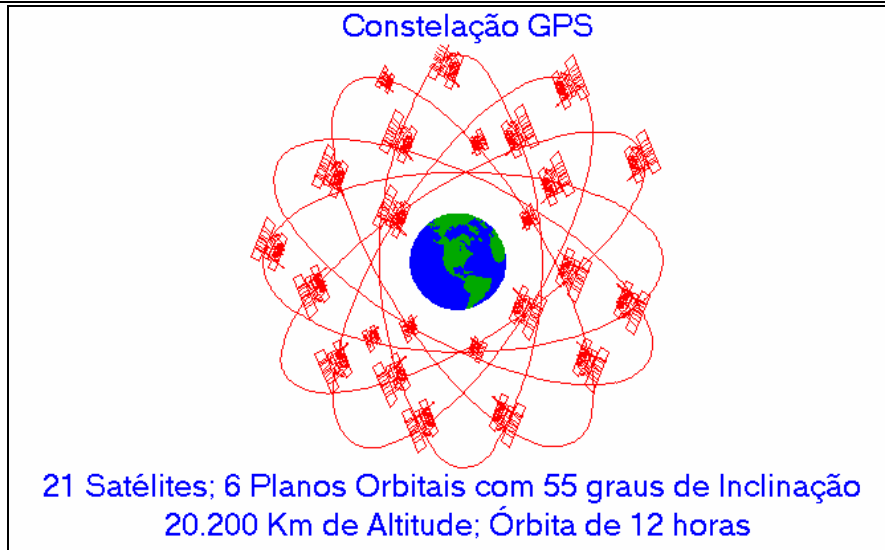
Esta distribuição e cobertura permite que um observador localizado em qualquer ponto da superfície terrestre tenha sempre disponível entre 5 a 8 satélites visíveis para a determinação da sua posição.

O primeiro satélite GPS foi lançado em fevereiro de 1978 e todos eles funcionam através de painéis solares, transmitindo informações em três frequências distintas.

A frequência rastreada pelos receptores GPS civis é conhecida como “L1” e é da ordem de 1575,42 MHz.

Cada satélite tem uma vida útil de 10 anos e o programa americano prevê a constante substituição dos mesmos até o ano de 2006.

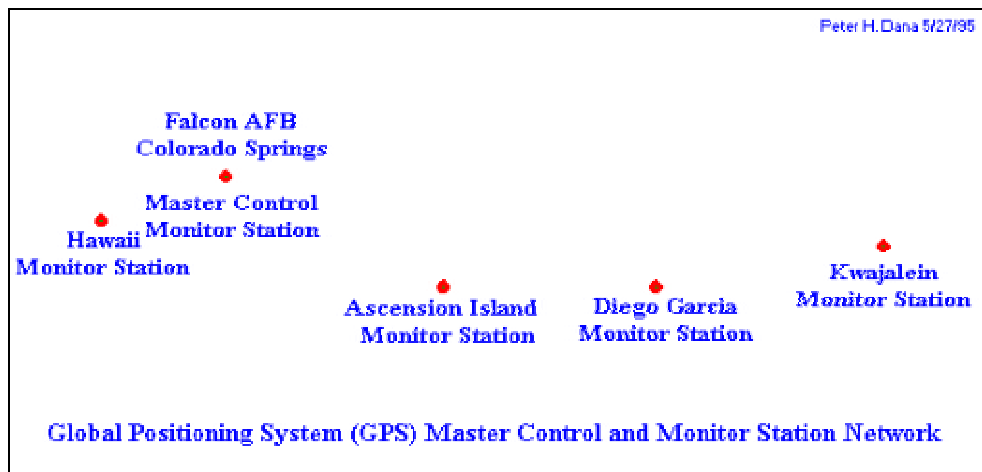
A figura a seguir ilustra a constelação de satélites disponíveis e sua respectiva distribuição nos planos orbitais.



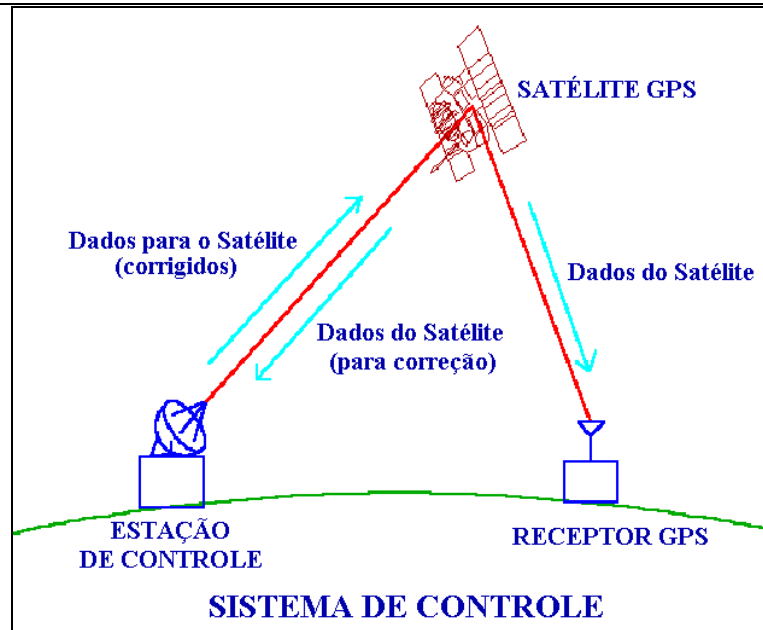
### 9.2. Sistema de Controle

Consiste de estações de rastreamento espalhadas pelo mundo. Estas têm a função de computar os dados orbitais e corrigir o relógio de cada satélite.

A figura a seguir ilustra a distribuição das estações de rastreamento no mundo.



A figura a seguir ilustra como a estação de rastreamento ou controle, o satélite e o receptor GPS interagem entre si.



### 9.3. Sistema do Usuário

Consiste dos receptores GPS e da comunidade de usuários.

Cada satélite emite uma mensagem que, a grosso modo, significa: “Eu sou o satélite X, minha posição atual é Y e esta mensagem foi enviada no tempo Z”.

Os receptores GPS estacionados sobre a superfície terrestre recebem estas mensagens e, em função da diferença de tempo entre a emissão e a recepção das mesmas, calculam as distâncias de cada satélite em relação aos receptores.

Desta forma, é possível determinar, com um mínimo de três satélites, a *posição* 2D (E,N ou  $\phi, \lambda$ ) dos receptores GPS. Com quatro ou mais satélites, também é possível determinar a altitude (h), ou seja, a sua *posição* 3D.

Se a atualização da posição dos receptores GPS é contínua, é possível determinar a sua *velocidade de deslocamento* e sua *direção*.

Além do posicionamento, os receptores GPS são também muito utilizados na navegação (aviões, barcos, veículos terrestres e pedestres).

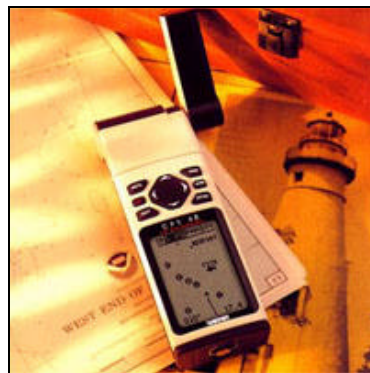
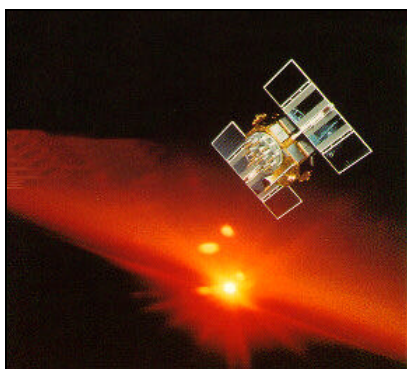
A precisão alcançada na determinação da *posição* depende do receptor GPS utilizado, bem como, do método empregado (Estático, Dinâmico, etc.).

O custo de um levantamento utilizando receptores GPS é diretamente proporcional à precisão requerida. Assim, receptores de baixo custo ( $\approx$ U\$500.00) proporcionam precisão de 100m a 150m, enquanto receptores de alto custo ( $\approx$ U\$40,000.00) proporcionam precisão de 1mm a 1cm.



É importante salientar que o receptor GPS não pode ser empregado para determinar *posições* onde não é possível detectar o sinal emitido pelos satélites, ou seja, no interior da maioria dos edifícios, em áreas urbanas muito densas, em túneis, minas e embaixo d'água; e o funcionamento destes aparelhos independe das condições atmosféricas.

As figuras a seguir ilustram um dos satélites GPS e um receptor GPS da GARMIN com precisão de 100m.

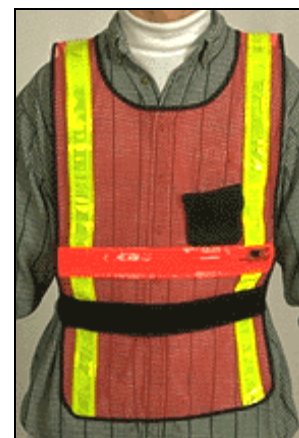


## 10. Dispositivos de Segurança

Durante todo e qualquer levantamento topográfico ou geodésico os cuidados com o equipamento e com o pessoal envolvido são fundamentais para o bom andamento dos serviços.

Assim, em alguns países, é obrigatório a utilização de certos dispositivos de segurança que permitem a visualização e o reconhecimento de equipamentos e pessoas à distância, bem como, de controle e desvio do tráfego em áreas urbanas ou em estradas.

As figuras a seguir ilustram alguns destes dispositivos.





## 11. Medidas Angulares

Em relação aos ângulos medidos em Topografia, pode-se classificá-los em:

### 11.1. Ângulos Horizontais

Os ângulos horizontais medidos em Topografia podem ser:

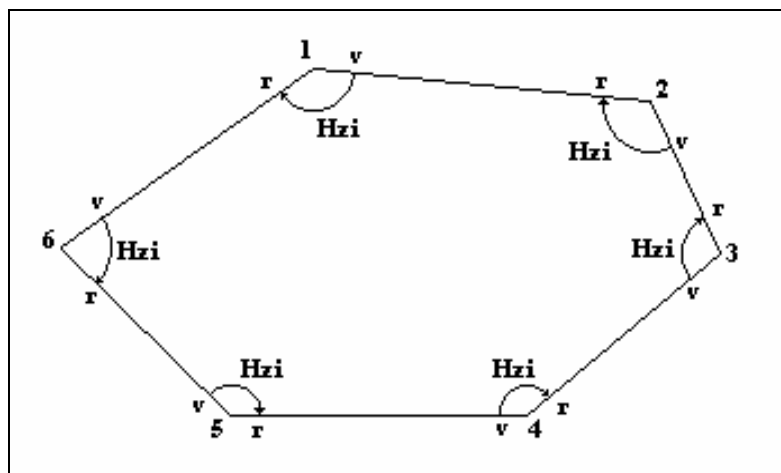
#### a) Internos

Para a medida de um *ângulo horizontal interno* a dois alinhamentos consecutivos de uma poligonal fechada, o aparelho deve ser estacionado, nivelado e centrado com perfeição, sobre um dos pontos que a definem (o prolongamento do eixo principal do aparelho deve coincidir com a tachinha sobre o piquete).

Assim, o método de leitura do referido ângulo, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, consiste em:

- Executar a pontaria (fina) sobre o *ponto a vante* (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão  $\rightarrow H_z = 000^\circ 00' 00''$ );
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o *ponto a ré* (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (**H<sub>zi</sub>**) marcado no visor LCD que corresponde ao *ângulo horizontal interno* medido.

A figura a seguir ilustra os ângulos horizontais internos medidos em todos os pontos de uma poligonal fechada.



A relação entre os ângulos horizontais internos de uma poligonal fechada é dada por:

$$\text{SHz}_i = 180^\circ \cdot (n - 2)$$

Onde  $n$  representa o número de pontos ou estações da poligonal.

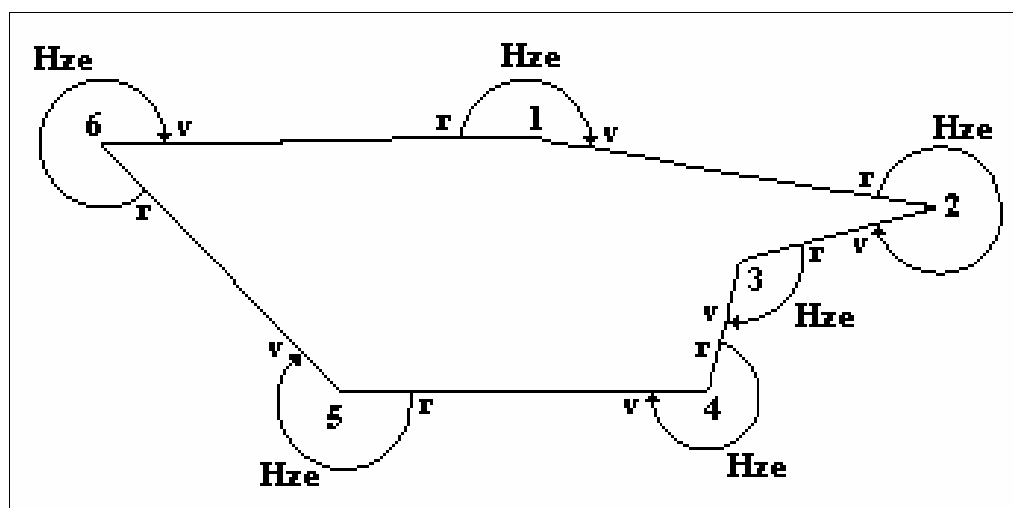
### b) Externos

Para a medida de um *ângulo horizontal externo* a dois alinhamentos consecutivos de uma poligonal fechada, o aparelho deve ser estacionado, nivelado e centrado com perfeição, sobre um dos pontos que a definem (o prolongamento do eixo principal do aparelho deve coincidir com a tachinha sobre o piquete).

Assim, o método de leitura do referido ângulo, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, consiste em:

- Executar a pontaria (fina) sobre o *ponto a ré* (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão  $\rightarrow \text{Hz} = 000^\circ 00' 00''$ );
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o *ponto a vante* (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (**Hze**) marcado no visor LCD que corresponde ao *ângulo horizontal externo* medido.

A figura a seguir ilustra os ângulos horizontais externos medidos em todos os pontos de uma poligonal fechada.



A relação entre os ângulos horizontais externos de uma poligonal fechada é dada por:

$$\text{SHz}_e = 180^\circ \cdot (n + 2)$$

Onde  $n$  representa o número de pontos ou estações da poligonal.

Os ângulos horizontais *internos* e *externos* variam de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

### c) Deflexão

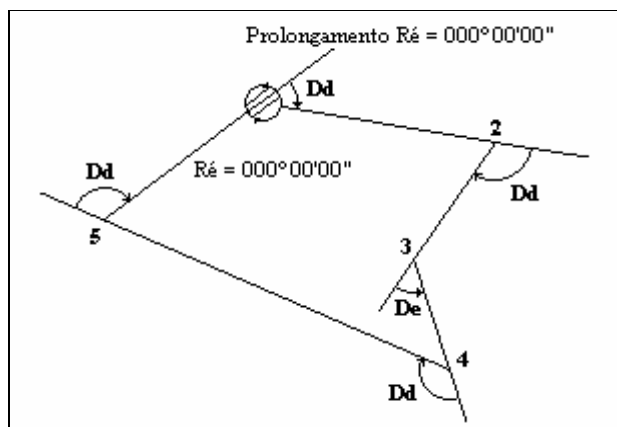
A *deflexão* é o ângulo horizontal que o alinhamento à vante forma com o prolongamento do alinhamento à ré, para um aparelho estacionado, nivelado e centrado com perfeição, em um determinado ponto de uma poligonal. Este ângulo varia de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Pode ser *positivo*, ou *à direita*, se o sentido de giro for *horário*; *negativo*, ou *à esquerda*, se o sentido de giro for *anti-horário*.

Assim, para a medida da *deflexão*, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, procede-se da seguinte maneira:

#### Tombando a Luneta

- Executar a pontaria (fina) sobre o *ponto a ré* (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão  $\rightarrow \text{Hz} = 000^\circ 00' 00''$ );
- Liberar somente a luneta do aparelho e tombá-la segundo o prolongamento do primeiro alinhamento;
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o *ponto a vante* (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (**Hz**) marcado no visor LCD que corresponde à *deflexão* medida.

A figura a seguir ilustra as deflexões medidas em todos os pontos de uma poligonal fechada, tombando a luneta.



A relação entre as deflexões de uma poligonal fechada é dada por:

$$\boxed{SD_d - SD_e = 360^\circ}$$

A relação entre as deflexões e os ângulos horizontais internos de uma poligonal fechada é dada por:

$$\boxed{D_e = H_{zi} - 180^\circ}$$

para  $H_{zi} > 180^\circ$

e

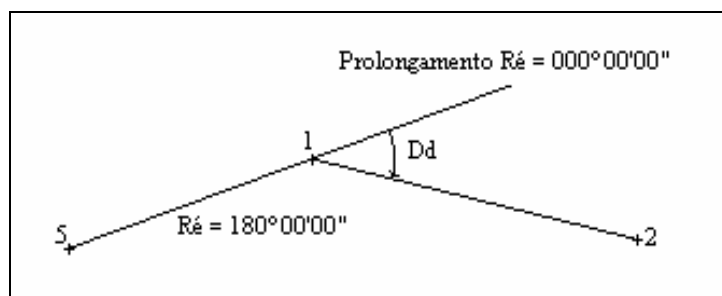
$$\boxed{D_d = 180^\circ - H_{zi}}$$

para  $H_{zi} < 180^\circ$

### Girando o Aparelho

- Executar a pontaria (fina) sobre o *ponto a ré* (primeiro alinhamento);
- Imputar ao círculo horizontal do aparelho, nesta posição, um ângulo  $H_z = 180^\circ 00' 00''$ ;
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o *ponto a vante* (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (**H<sub>z</sub>**) marcado no visor LCD que corresponde à *deflexão* medida.

A figura a seguir ilustra a deflexão medida em um dos pontos de uma poligonal fechada, girando o aparelho.



Nos levantamentos topográficos, a escolha do tipo de ângulo horizontal que será medido depende do projeto e, a medida destes ângulos, constitui-se numa das suas maiores fontes de erro.

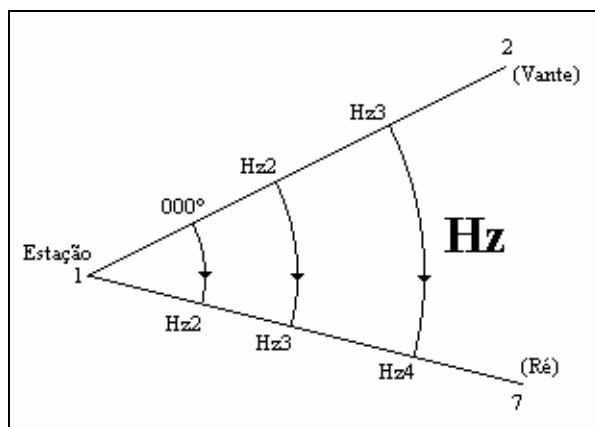
Assim, para evitar ou mesmo eliminar erros concernentes às *imperfeições do aparelho*, à *pontaria e leitura* daqueles ângulos, utilizam-se métodos em que se realizam mais de uma medição do ângulo horizontal para um mesmo ponto de poligonal. São eles:

#### a) Método da Repetição

Segundo ESPARTEL (1977) e DOMINGUES (1979) este método consiste em visar, sucessivamente, os alinhamentos a vante e a ré de um determinado ponto ou estação, fixando o ângulo horizontal lido e tomando-o como partida para a medida seguinte.

Assim como indicado na figura a seguir:

- A luneta do aparelho é apontada para o ponto a vante (pontaria fina) e o círculo horizontal do mesmo é zerado;
- Em seguida, o aparelho é liberado e a luneta é apontada (pontaria fina) para o ponto a ré;
- O ângulo horizontal resultante é anotado ou registrado;
- O aparelho é liberado e a luneta é novamente apontada para o ponto a vante;
- O ângulo de partida utilizado neste momento para a segunda medida do ângulo horizontal não é mais zero, e sim, o ângulo anotado ou registrado anteriormente;
- Libera-se novamente o aparelho e aponta-se para o ponto a ré;
- Um novo ângulo horizontal é anotado ou registrado.
- O processo se repete um certo número  $n$  de vezes.



A este processo de medir sucessivamente várias vezes o mesmo ângulo horizontal denomina-se *série de leituras*.

As *séries* são compostas, normalmente, de 3 a 8 leituras, dependendo da precisão exigida para o levantamento.

O valor final do ângulo horizontal, para os alinhamentos medidos, é dado pela seguinte relação:

$$\mathbf{Hz} = \frac{\mathbf{Hz}_n - \mathbf{Hz}_1}{(\mathbf{n} - 1)}$$

Onde:

$\mathbf{Hz}_n$ : é a última leitura do ângulo horizontal (na ré).

$\mathbf{Hz}_1$ : é a leitura do primeiro ângulo de partida utilizado (na vante).

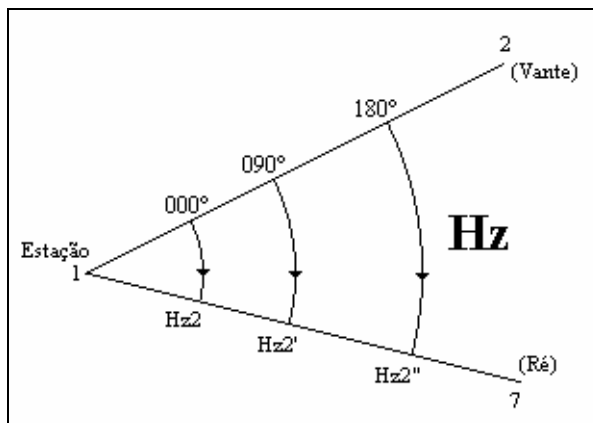
$\mathbf{n}$ : número de leituras efetuadas.

### b) Método da Reiteração

Ainda segundo ESPARTEL (1977) e DOMINGUES (1979) este método consiste em visar, sucessivamente, os alinhamentos a vante e a ré de um determinado ponto ou estação, tomando como partida para a medida do ângulos horizontal intervalos regulares do círculo.

Assim como indicado na figura a seguir:

- A luneta do aparelho é apontada para o ponto a vante (pontaria fina) e o círculo horizontal do mesmo é zerado;
- Em seguida, o aparelho é liberado e a luneta é apontada (pontaria fina) para o ponto a ré;
- O ângulo horizontal resultante é anotado ou registrado;
- O aparelho é liberado e a luneta é novamente apontada para o ponto a vante;
- O ângulo de partida utilizado neste momento para a segunda medida do ângulo horizontal deve ser diferente de zero e inteiro. (ex.: 090°00'00", 180°00'00", 270°00'00");
- Libera-se novamente o aparelho e aponta-se para o ponto a ré;
- Um novo ângulo horizontal é anotado ou registrado.
- O processo se repete um certo número  $n$  de vezes, até que o ângulo tenha sido medido em todos os quadrantes do círculo.



O valor final do ângulo horizontal, para os alinhamentos medidos, é dado pela seguinte relação:

$$Hz = \frac{S(Hz_2 - Hz_1)}{n}$$

Onde:

**Hz<sub>2</sub>**: é a leitura do ângulo horizontal (na ré).

**Hz<sub>1</sub>**: é o ângulo horizontal de partida utilizado (na vante).

**n**: número de leituras efetuadas na vante.

### 11.2. Ângulos Verticais

Como descrito anteriormente, a medida dos ângulos verticais, em alguns aparelhos, poderá ser feita da seguinte maneira:

#### a) Com Origem no Horizonte

Quando recebe o nome de *ângulo vertical* ou *inclinação*, variando de 0° a 90° em direção *ascendente* (acima do horizonte) ou (abaixo do horizonte).

#### b) Com Origem no Zênite ou no Nadir

Quando recebe o nome de *ângulo zenital* ou *nadiral*, variando de 0° a 360°.

As relações entre o *ângulo zenital* e o *vertical* são as seguintes:

Ângulo Zenital	Inclinação	Direção
$000^\circ < V \leq 090^\circ$	$a = 90^\circ - V$	Ascendente
$090^\circ < V \leq 180^\circ$	$a = V - 90^\circ$	Descendente
$180^\circ < V \leq 270^\circ$	$a = 270^\circ - V$	Descendente
$270^\circ < V \leq 360^\circ$	$a = V - 270^\circ$	Ascendente

### 11.3. Ângulos de Orientação

Como já explicitado anteriormente, a linha que une o pólo Norte ao pólo Sul da Terra (aqueles representados nos mapas) é denominada *linha dos pólos* ou *eixo de rotação*. Estes pólos são denominados *geográficos* ou *verdadeiros* e, em função disso, a linha que os une, também é tida como *verdadeira*.

No entanto, sabe-se que a Terra, devido ao seu movimento de rotação, gera um campo magnético fazendo com que se comporte como um grande imã. Assim, uma bússola estacionada sobre a superfície terrestre, tem sua agulha atraída pelos pólos deste imã. Neste caso, porém, os pólos que atraem a agulha da bússola são denominados *magnéticos*.

O grande problema da Topografia no que diz respeito aos ângulos de orientação, está justamente na *não coincidência* dos pólos magnéticos com os geográficos e na *variação* da distância que os separa com o passar tempo.

Em função destas características, é necessário que se compreenda bem que, ao se orientar um alinhamento no campo em relação à direção Norte ou Sul, deve-se saber qual dos sistemas (verdadeiro ou magnético) está sendo utilizado como referência.

Para tanto, é importante saber que:

**Meridiano Geográfico ou Verdadeiro:** é a seção elíptica contida no plano definido pela *linha dos pólos verdadeira* e a vertical do lugar (observador).

**Meridiano Magnético:** é a seção elíptica contida no plano definido pela *linha dos pólos magnética* e a vertical do lugar (observador).

**Declinação Magnética:** é o ângulo formado entre o *meridiano verdadeiro* (norte/sul verdadeiro) e o *meridiano magnético* (norte/sul magnético) de um lugar. Este ângulo varia de lugar para lugar e também varia num mesmo lugar com o passar do tempo. Estas variações denominam-se *seculares*. Atualmente, para a determinação das *variações seculares* e da própria *declinação magnética*, utilizam-se fórmulas específicas (disponíveis em programas de computador específicos para Cartografia).



Segundo normas cartográficas, as cartas e mapas comercializados no país apresentam, em suas legendas, os valores da *declinação magnética* e da *variação secular* para o centro da região neles representada.

Os ângulos de orientação utilizados em Topografia são:

**Azimute Geográfico ou Verdadeiro:** definido como o ângulo horizontal que a direção de um alinhamento faz com o *meridiano geográfico*. Este ângulo pode ser determinado através de métodos astronômicos (observação ao sol, observação a estrelas, etc.) e, atualmente, através do uso de receptores GPS de precisão.

**Azimute Magnético:** definido como o ângulo horizontal que a direção de um alinhamento faz com o *meridiano magnético*. Este ângulo é obtido através de uma bússola, como mostra a figura a seguir.



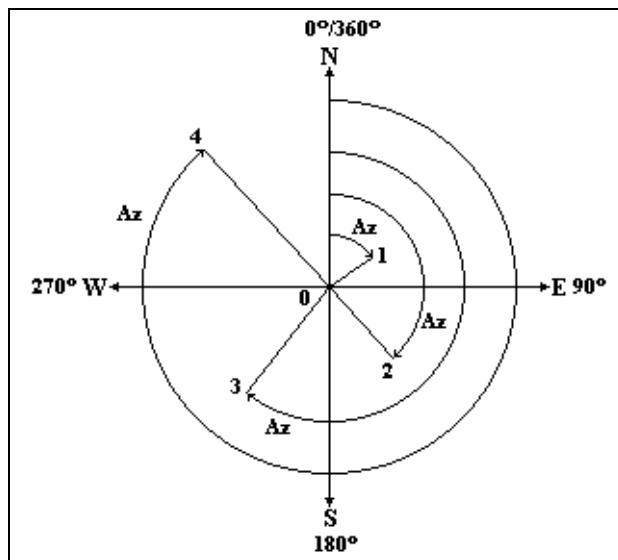
Os azimutes (verdadeiros ou magnéticos) são contados a partir da direção norte (N) ou sul (S) do meridiano, no sentido horário - *azimutes à direita*, ou, no sentido anti-horário - *azimutes à esquerda*, variando sempre de 0° a 360°.

**Rumo Verdadeiro:** é obtido em função do azimute verdadeiro através de relações matemáticas simples.

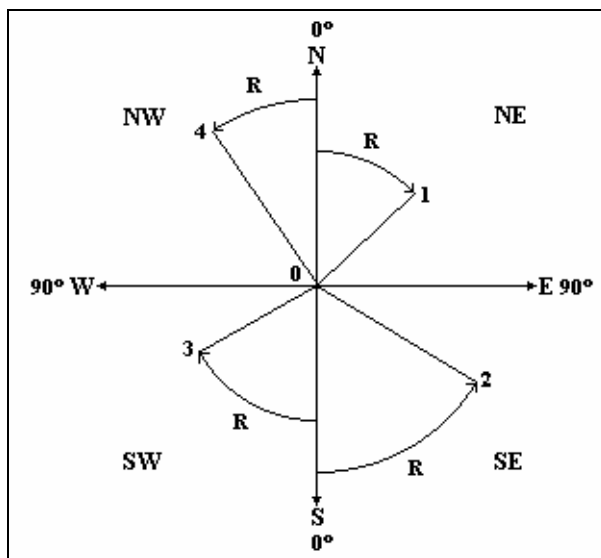
**Rumo Magnético:** é o menor ângulo horizontal que um alinhamento forma com a direção norte/sul definida pela agulha de uma bússola (meridiano magnético).

Os rumos (verdadeiros ou magnéticos) são contados a partir da direção norte (N) ou sul (S) do meridiano, no sentido horário ou anti-horário, variando de 0° a 90° e sempre acompanhados da direção ou quadrante em que se encontram (NE, SE, SO, NO).

A figura a seguir ilustra as orientações de quatro alinhamentos definidos sobre o terreno através de *Azimutes à Direita*, ou seja, dos ângulos contados a partir da direção norte do meridiano no sentido horário.



A figura a seguir ilustra as orientações de quatro alinhamentos definidos sobre o terreno através de *Rumos*, ou seja, dos ângulos contados a partir da direção norte ou sul do meridiano (aquele que for menor), no sentido horário ou anti-horário.



Observando as figuras acima, pode-se deduzir as relações entre *Azimuthes à Direita* e *Rumos*:

Quadrante	Azimuth → Rumo	Rumo → Azimuth
1 <sup>o</sup>	$R = Az (NE)$	$Az = R$
2 <sup>o</sup>	$R = 180^\circ - Az (SE)$	$Az = 180^\circ - R$
3 <sup>o</sup>	$R = Az - 180^\circ (SO)$	$Az = R + 180^\circ$
4 <sup>o</sup>	$R = 360^\circ - Az (NO)$	$Az = 360^\circ - R$

**Aviventação de Rumos e Azimutes Magnéticos:** é o nome dado ao processo de *restabelecimento* dos alinhamentos e ângulos magnéticos marcados para uma poligonal, na época (dia, mês, ano) de sua medição, para os dias atuais. Este trabalho é necessário, uma vez que a posição dos pólos norte e sul magnéticos (que servem de referência para a medição dos rumos e azimutes magnéticos) varia com o passar do tempo. Assim, para achar a posição correta de uma poligonal levantada em determinada época, é necessário que os valores resultantes deste levantamento sejam reconstituídos para a época atual. O mesmo processo é utilizado para locação, em campo, de linhas projetadas sobre plantas ou cartas (estradas, linhas de transmissão, gasodutos, oleodutos, etc.)

#### 11.4. Exercícios

1. Determine o azimute, à direita e à esquerda, correspondente ao rumo de  $27^{\circ}38'40''$  SO?

2. Determine o rumo e a direção correspondente ao azimute à direita de  $156^{\circ}10'37''$ ?

3. Supondo que as leituras do limbo horizontal de um teodolito, no sentido horário, de vante para ré, tenham sido:

$$H_{z1} = 34^{\circ}45'20'' \text{ e } H_{z2} = 78^{\circ}23'00''$$

Determine o ângulo horizontal entre os alinhamentos medidos. Este é um ângulo externo ou interno à poligonal?

4. Com as mesmas leituras da questão anterior, determine qual seria o ângulo horizontal entre os alinhamentos se o sentido da leitura tivesse sido o anti-horário, ou seja, de ré para vante. Este é um ângulo externo ou interno à poligonal?

5. Para a leitura dos ângulos horizontais de uma poligonal foi aplicado o método da repetição e obteve-se a seguinte série de leituras (sentido horário, de vante para ré):

$$H_{z1} = 00^{\circ}00'00''$$

$$H_{z2} = 33^{\circ}45'10''$$

$$H_{z3} = 67^{\circ}30'22''$$

$$H_{z4} = 101^{\circ}15'36''$$

Determine o ângulo horizontal final entre os alinhamentos.

6. Para a leitura dos ângulos horizontais de uma poligonal foi aplicado o método da reiteração e obteve-se a seguinte série de leituras (sentido horário, de vante para ré):

$$H_{z1} = 00^{\circ}00'00''$$

$$H_{z1} = 90^{\circ}00'00''$$

$$H_{z1} = 180^{\circ}00'00''$$

$$H_{z1} = 270^{\circ}00'00''$$

$$H_{z2} = 33^{\circ}45'10''$$

$$H_{z2} = 123^{\circ}45'08''$$

$$H_{z2} = 213^{\circ}45'12''$$

$$H_{z2} = 303^{\circ}45'14''$$

Determine o ângulo horizontal final entre os alinhamentos.

7.O ângulo zenital lido em um teodolito foi de  $257^{\circ}28'30''$ . Qual é o ângulo vertical que a ele corresponde? Qual é a direção da luneta para este ângulo vertical?

8.O valor do rumo de uma linha é de  $31^{\circ}45'NO$ . Encontre os azimutes à vante e à ré (ambos à direita), da linha em questão.

9.Determine a declinação magnética, para a cidade de Curitiba, em primeiro de julho de 1999.

10.Problema de aviventação de rumos e azimutes: o rumo magnético de uma linha, medido em 01/01/1970 foi de  $32^{\circ}30'SO$ . Calcule o valor do rumo desta mesma linha, para 01/06/1999.

11.Problema de aviventação de rumos e azimutes: com os dados do exercício anterior, calcule o rumo verdadeiro da linha.

### 11.5. Exercícios Propostos

1.Determine o azimute à direita para o rumo de  $89^{\circ}39'45''NO$ .

2.Determine o azimute à esquerda para o rumo de  $39^{\circ}35'36''SE$ .

3.Determine o rumo e a direção para o azimute de  $197^{\circ}35'43''$ .

4.Determine o rumo e a direção para o azimute de  $277^{\circ}45'01''$ .

5.Determine o ângulo zenital correspondente ao ângulo vertical de  $2^{\circ}04'07''$  ascendente.

6.Determine o ângulo zenital correspondente ao ângulo vertical de  $3^{\circ}15'27''$  descendente.

7.Determine o ângulo vertical e a direção da luneta correspondente ao ângulo zenital de  $272^{\circ}33'43''$ .

8.Determine o ângulo vertical e direção da luneta correspondente ao ângulo zenital de  $89^{\circ}21'17''$ .

9.Determine a deflexão correspondente ao ângulo horizontal interno de  $133^{\circ}45'06''$ . Esta deflexão é à direita ou à esquerda do alinhamento?

10.Determine a deflexão correspondente ao ângulo horizontal interno de  $252^{\circ}35'16''$ . Esta deflexão é à direita ou à esquerda do alinhamento?

11. Determine o ângulo externo ao vértice de uma poligonal correspondente à deflexão de  $35^{\circ}18'10''$  à esquerda.

12. Determine o ângulo externo ao vértice de uma poligonal correspondente à deflexão de  $128^{\circ}45'58''$  à direita.

## 12. Métodos de Levantamentos Planimétricos

Nos itens anteriores foram descritos os métodos e equipamentos utilizados na medição de distâncias e ângulos durante os levantamentos topográficos.

Estes levantamentos, porém, devem ser empregados obedecendo certos critérios e seguindo determinadas etapas que dependem do *tamanho da área*, do *relevo* e da *precisão* requerida pelo projeto que os comporta.

Na seqüência, portanto, serão descritos os *métodos de levantamentos planimétricos* que envolvem as fases de:

- Reconhecimento do Terreno
- Levantamento da Poligonal
- Levantamento das Feições Planimétricas
- Fechamentos, Área, Coordenadas
- Desenho da Planta e Memorial Descritivo

### 12.1. Levantamento por Irradiação

Segundo ESPARTEL (1977), o *Método da Irradiação* também é conhecido como método da *Decomposição em Triângulos* ou das *Coordenadas Polares*.

É empregado na avaliação de *pequenas superfícies* relativamente *planas*.

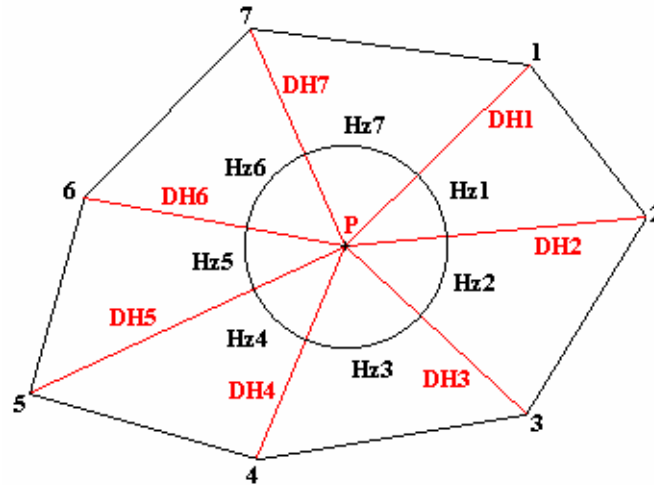
Uma vez demarcado o contorno da superfície a ser levantada, o método consiste em localizar, estrategicamente, um ponto (**P**), dentro ou fora da superfície demarcada, e de onde possam ser avistados todos os demais pontos que a definem.

Assim, deste ponto (**P**) são medidas as distâncias aos pontos definidores da referida superfície, bem como, os ângulos horizontais entre os alinhamentos que possuem (**P**) como vértice.

A medida das distâncias poderá ser realizada através de método direto, indireto ou eletrônico e a medida dos ângulos poderá ser realizada através do emprego de teodolitos óticos ou eletrônicos.

A precisão resultante do levantamento dependerá, evidentemente, do tipo de dispositivo ou equipamento utilizado.

A figura a seguir ilustra uma superfície demarcada por sete pontos com o ponto (**P**) estrategicamente localizado no interior da mesma. De (**P**) são medidos os ângulos horizontais (Hz1 a Hz7) e as distâncias horizontais (DH1 a DH7).



De cada triângulo (cujo vértice principal é **P**) são conhecidos dois lados e um ângulo. As demais distâncias e ângulos necessários à determinação da superfície em questão são determinados por relações trigonométricas.

Este método é muito empregado em projetos que envolvem *amarração de detalhes* e na *densificação do apoio terrestre para trabalhos topográficos e fotogramétricos*.

## 12.2. Levantamento por Interseção

Segundo ESPARTEL (1977), o *Método da Interseção* também é conhecido como método das *Coordenadas Bipolares*.

É empregado na avaliação de *pequenas superfícies* de relevo *acidentado*.

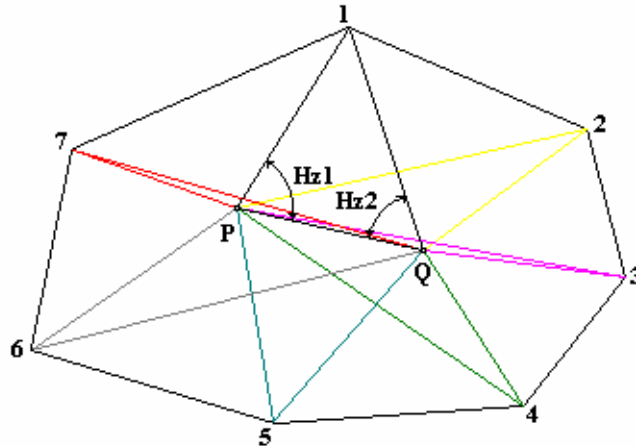
Uma vez demarcado o contorno da superfície a ser levantada, o método consiste em localizar, estrategicamente, dois pontos (**P**) e (**Q**), dentro ou fora da superfície demarcada, e de onde possam ser avistados todos os demais pontos que a definem.

Assim, mede-se a distância horizontal entre os pontos (**P**) e (**Q**), que constituirão uma *base de referência*, bem como, todos os ângulos horizontais formados entre a base e os demais pontos demarcados.

A medida da distância poderá ser realizada através de método direto, indireto ou eletrônico e a medida dos ângulos poderá ser realizada através do emprego de teodolitos óticos ou eletrônicos.

A precisão resultante do levantamento dependerá, evidentemente, do tipo de dispositivo ou equipamento utilizado.

A figura a seguir ilustra uma superfície demarcada por sete pontos com os pontos (P) e (Q) estrategicamente localizados no interior da mesma. De (P) e (Q) são medidos os ângulos horizontais entre a base e os pontos (1 a 7).



De cada triângulo são conhecidos dois ângulos e um lado (base definida por PQ). As demais distâncias e ângulos necessários à determinação da superfície em questão são determinados por relações trigonométricas.

### 12.3. Levantamento por Caminhamento

Segundo ESPARTEL (1977) este é o método utilizado no levantamento de superfícies *relativamente grandes* e de relevo *acidentado*. Requer uma quantidade maior de medidas que os descritos anteriormente, porém, oferece maior confiabilidade no que diz respeito aos resultados.

O método em questão inclui as seguintes etapas:

1ª. **Reconhecimento do Terreno**: durante esta fase, costuma-se fazer a implantação dos piquetes (também denominados *estações* ou *vértices*) para a delimitação da superfície a ser levantada. A figura geométrica gerada a partir desta delimitação recebe o nome de **POLIGONAL**.

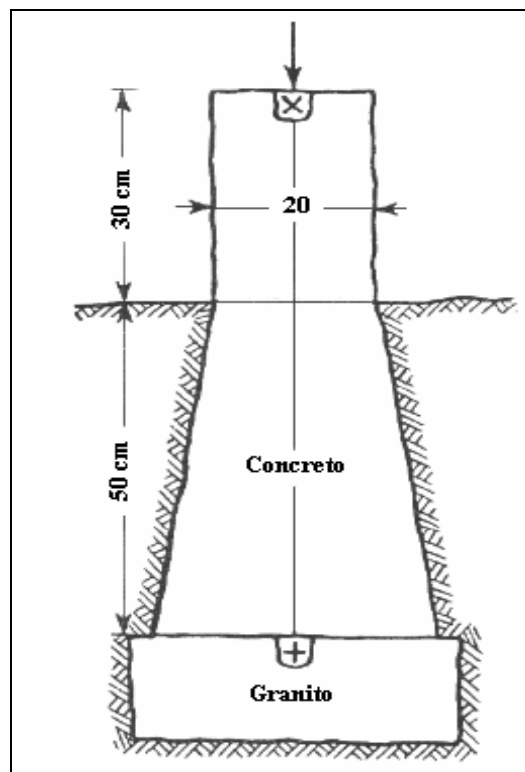
As poligonais podem ser dos seguintes tipos:

- a) **Aberta**: o ponto inicial (ponto de partida ou **PP**) não coincide com o ponto final (ponto de chegada ou **PC**).
- b) **Fechada**: o ponto de partida coincide com o ponto de chegada (**PP**  $\equiv$  **PC**).

- c) **Apoiada**: parte de um ponto conhecido e chega a um ponto também conhecido. Pode ser aberta ou fechada.
- d) **Semi Apoiada**: parte de um ponto conhecido e chega a um ponto do qual se conhece somente o azimute. Só pode ser do tipo aberta.
- e) **Não Apoiada**: parte de um ponto que pode ser conhecido ou não e chega a um ponto desconhecido. Pode ser aberta ou fechada.

Obs.: um ponto é *conhecido* quando suas coordenadas **UTM** (E,N) ou **Geográficas** ( $\phi, \lambda$ ) encontram-se determinadas. Estes pontos são implantados no terreno através de blocos de concreto (denominados *marcos*) e são protegidos por lei. Normalmente, fazem parte de uma *rede geodésica nacional*, de responsabilidade dos principais órgãos cartográficos do país (IBGE, DSG, DHN, entre outros). Quando destes pontos são conhecidas as altitudes (h), estes são denominados **RN - Referência de Nível**.

A figura a seguir ilustra um marco de concreto e suas dimensões.



**2ª. Levantamento da Poligonal**: durante esta fase, percorre-se as estações da poligonal, uma a uma, no sentido horário, medindo-se *ângulos* e *distâncias horizontais*. Estes valores, bem como o croqui de cada ponto, são anotados em *cadernetas de campo* apropriadas ou registrados na *memória* do próprio aparelho. A escolha do método para a medida dos ângulos e distâncias, assim como dos equipamentos, se dá em função da precisão requerida para o trabalho e das exigências do contratante dos serviços (cliente).



3ª. **Levantamento dos Detalhes:** nesta fase, costuma-se empregar o método das perpendiculares ou da triangulação (quando o dispositivo utilizado para amarração é a trena), ou ainda, o método da irradiação (quando o dispositivo utilizado é o teodolito ou a estação total).

4ª. **Orientação da Poligonal:** é feita através da determinação do *rumo* ou *azimute* do primeiro alinhamento. Para tanto, é necessário utilizar uma bússola (rumo/azimute magnéticos) ou partir de uma base conhecida (rumo/azimute verdadeiros).

5ª. **Computação dos Dados:** terminadas as operações de campo, deve-se proceder a computação, em escritório, dos dados obtidos. Este é um processo que envolve o fechamento angular e linear, o transporte dos rumos/azimutes e das coordenadas e o cálculo da área.

6ª. **Desenho da Planta e Redação do Memorial Descritivo:** depois de determinadas as coordenadas (X, Y) dos pontos medidos, procede-se a confecção do desenho da planta da seguinte forma:

a) **Desenho Topográfico:** os vértices da poligonal e os pontos de referência mais importantes devem ser plotados segundo suas coordenadas (eixos X e Y), enquanto os pontos de detalhes comuns (feições), devem ser plotados com o auxílio de *escalímetro*, *compasso* e *transferidor* (para desenhos confeccionados manualmente).

No desenho devem constar:

- as feições naturais e/ou artificiais (representados através de símbolos padronizados ou convenções) e sua respectiva toponímia
- a orientação verdadeira ou magnética
- a data do levantamento
- a escala gráfica e numérica
- a legenda e convenções utilizadas
- o título (do trabalho)
- o número dos vértices, distância e azimute dos alinhamentos
- os eixos de coordenadas
- área e perímetro
- os responsáveis pela execução

O desenho pode ser:

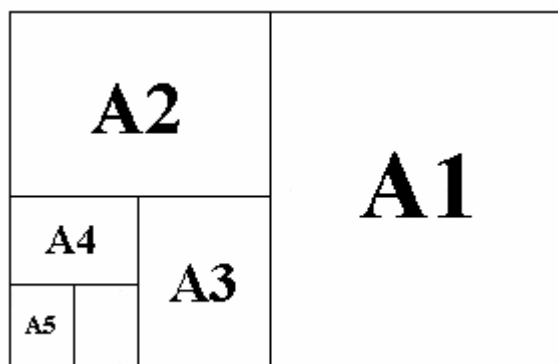
- monocromático: todo em tinta preta.
- policromático:
  - azul → hidrografia
  - vermelho → edificações, estradas, ruas, calçadas, caminhos ...
  - verde → vegetação
  - preto → legenda, malha e toponímia

b) **Escala:** a escolha da escala da planta se dá em função do tamanho da folha de papel a ser utilizado, do afastamento dos eixos coordenados, das folgas ou margens e da precisão requerida para o trabalho.

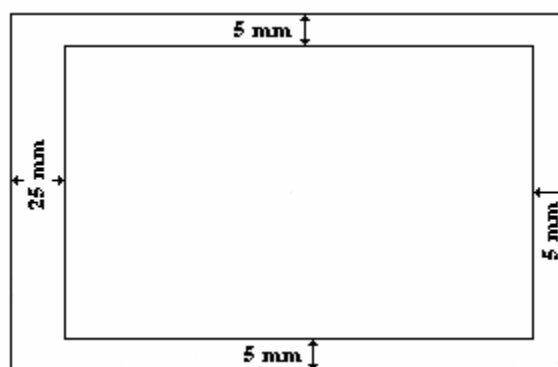
A tabela a seguir indica os formatos de papel utilizados para a confecção de plantas, segundo as normas da ABNT.

Formato	Tamanho(mm)	Área (m <sup>2</sup> )
2xA0	1682x1682	2
A0	841x1189	1
A1	594x841	0,50
A2	420x594	0,25
A3	297x420	0,1250
A4	210x297	0,0625
A5	148x210	0,0313

Estes formatos correspondem à seguinte divisão de folhas, a partir do formato principal que é o A0:



As margens (ou folgas) normalmente aplicadas são de 25 a 30mm para a lateral esquerda e de 5 a 15mm para as outras laterais.



c) *Memorial Descritivo*: é um documento indispensável para o registro, em cartório, da superfície levantada. Deve conter a descrição *pormenorizada* desta superfície no que diz respeito à sua localização, confrontantes, área, perímetro, nome do proprietário, etc..

## 12.4. Processamento dos Dados

O processamento dos dados inclui o fechamento dos ângulos horizontais, o transporte dos azimutes, o fechamento das distâncias horizontais, o transporte das coordenadas e o cálculo da área.

A seguir apresenta-se a seqüência dos cálculos:

### 1. Transformação dos ângulos horizontais externos em internos

$$\text{Hz}_i = 360^\circ - \text{Hz}_e$$

### 2. Erro de fechamento angular

$$\text{SHz}_i = 180^\circ \cdot (n - 2)$$

Se o somatório dos ângulos horizontais internos medidos não resultar no valor estipulado pela relação acima, haverá um erro de fechamento ( $e$ ).

O erro encontrado não pode ser maior que a *tolerância angular* ( $x$ ).

A *tolerância angular*, por sua vez, depende do aparelho utilizado.

Para a *estação total* TC500, a tolerância angular é dada por:

$$x = 5'' \sqrt{n}$$

Onde  $n$  representa o número de vértices da poligonal medida.

### 3. Distribuição do erro angular

A correção devido ao erro de fechamento angular é proporcional ao ângulo medido na estação e é dada pela seguinte relação:

$$C_n = \frac{\text{Hz}_i \cdot e}{\text{à Hz}_i}$$

Os valores de correção encontrados para cada ângulo devem ser somados ou subtraídos aos mesmos conforme o erro seja para menos ou para mais.

#### 4. Transporte do azimute

De posse do azimute do primeiro alinhamento da poligonal (medido ou calculado), faz-se o transporte para os demais alinhamentos através da relação:

$$\boxed{Az(P) = Az(P - 1) - Hz(P)}$$

$$\text{Se o } Az(P) > 180^\circ \rightarrow Az(P) = Az(P) - 180^\circ$$

$$\text{Se o } Az(P) < 180^\circ \rightarrow Az(P) = Az(P) + 180^\circ$$

Para checar se o transporte do azimute foi processado corretamente, o azimute de chegada encontrado deve ser igual ao azimute de saída.

#### 5. Variações em X e Y

As variações em X e Y de cada estação da poligonal são calculadas através das seguintes relações:

$$\boxed{DX(P) = DH(P) \cdot \text{sen}(Az(P))}$$

$$\boxed{DY(P) = DH(P) \cdot \text{cos}(Az(P))}$$

#### 6. Fechamento linear

O fechamento linear de uma poligonal é feito através das seguintes relações:

$$\boxed{\sum DX = 0} \quad \text{e} \quad \boxed{\sum DY = 0}$$

Caso os somatórios não sejam iguais a zero, haverá um erro de fechamento linear em X ( $e_x$ ) e outro em Y ( $e_y$ ).

#### 7. Distribuição do erro linear

As correções devido ao erro de fechamento linear são proporcionais às distâncias medidas e são dadas pelas seguintes relações:

$$\boxed{Cx(P) = \frac{e_x}{P} \cdot DH(P)} \quad \text{e} \quad \boxed{Cy(P) = \frac{e_y}{P} \cdot DH(P)}$$

Os valores de correção encontrados para cada variação em X e Y devem ser somados ou subtraídos às mesmas conforme os erros sejam para menos ou para mais.

## 8. Precisão do levantamento

A precisão (**M**) do levantamento é determinada pela relação:

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{e}} \quad \text{onde} \quad \mathbf{e} = \sqrt{\mathbf{e}_x^2 + \mathbf{e}_y^2}$$

O valor de **M** deve ser superior a 1000 para que o levantamento seja considerado de topográfico (quarta ordem).

## 9. Transporte das coordenadas

De posse das coordenadas X e Y (locais ou UTM) do primeiro ponto da poligonal, faz-se o transporte para os demais pontos através das relações:

$$\mathbf{X(P)} = \mathbf{X(P - 1)} + \mathbf{DX(P - 1)} \quad \text{e} \quad \mathbf{Y(P)} = \mathbf{Y(P - 1)} + \mathbf{DY(P - 1)}$$

Para checar se o transporte das coordenadas foi processado corretamente, os valores de X e Y de chegada encontrados devem ser iguais aos valores de X e Y de saída.

Com os valores de coordenadas encontrados procede-se o cálculo da escala e desenho da planta.

## 10. Área

O valor da área da poligonal medida é encontrado aplicando-se o *Método de Gauss*.

### 12.5. Exercícios

1. Dada a tabela de valores abaixo, determine as coordenadas dos pontos e a área da poligonal.

Estação	Hze	DH	Az
1	258°36'00"	1317,52 m	51°22'00"
2	210°47'00"	1253,94 m	
3	279°01'30"	1208,27 m	
4	243°41'00"	1899,70 m	
5	267°55'30"	1148,62 m	

As coordenadas do ponto 1 são: X(1) = 1000,00m e Y(1) = 1000,00m.

2. Com as coordenadas do exercício anterior, desenhar a poligonal sobre uma folha de papel tamanho A4 (deitada) descontando margens de 2 cm para cada lado da folha.

### 13. Levantamentos Altimétricos

Ou, simplesmente, *nivelamento*, é a operação que determina as *diferenças de nível* ou *distâncias verticais* entre pontos do terreno.

O nivelamento destes pontos, porém, não termina com a determinação do desnível entre eles mas, inclui também, o *transporte da cota ou altitude* de um ponto conhecido (**RN** – Referência de Nível) para os pontos nivelados.

Assim, segundo GARCIA e PIEDADE (1984):

A **altitude** de um ponto da superfície terrestre pode ser definida como a distância vertical deste ponto à superfície média dos mares (denominada Geóide).

A **cota** de um ponto da superfície terrestre, por sua vez, pode ser definida como a distância vertical deste ponto à uma superfície qualquer de referência (que é fictícia e que, portanto, não é o Geóide). Esta superfície de referência pode estar situada abaixo ou acima da superfície determinada pelo nível médio dos mares.

Então, segundo ESPARTEL (1987):

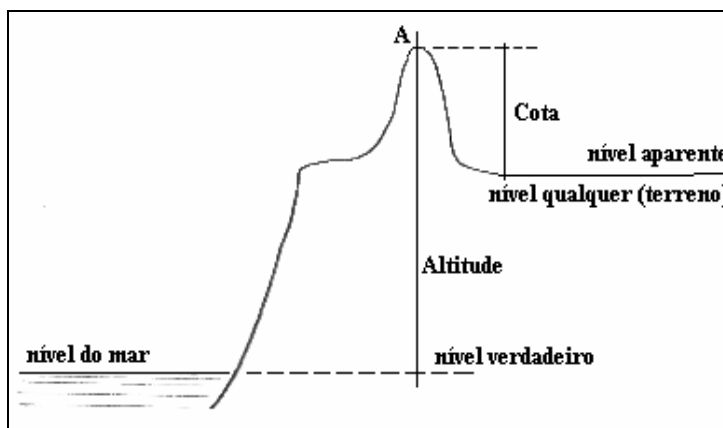
À altitude corresponde um **nível verdadeiro**, que é a superfície de referência para a obtenção da **DV** ou **DN** e que coincide com a superfície média dos mares, ou seja, o Geóide.

**Altitude ® Nível Verdadeiro**

À cota corresponde um **nível aparente**, que é a superfície de referência para a obtenção da **DV** ou **DN** e que é paralela ao nível verdadeiro.

**Cota ® Nível Aparente**

A figura a seguir (GARCIA, 1984) ilustra a cota (*c*) e a altitude (*h*) tomados para um mesmo ponto da superfície terrestre (*A*). Torna-se evidente que os valores de *c* e *h* não são iguais pois os níveis de referência são distintos.



Segundo ESPARTEL (1987), os métodos de nivelamento utilizados na determinação das diferenças de nível entre pontos e o posterior transporte da cota ou altitude são:

### 13.1. Nivelamento Barométrico

Baseia-se na *diferença de pressão com a altitude*, tendo como princípio que, para um determinado ponto da superfície terrestre, *o valor da altitude é inversamente proporcional ao valor da pressão atmosférica*.

Este método, em função dos equipamentos que utiliza, permite obter valores em campo que estão diretamente relacionados ao *nível verdadeiro*.

Atualmente, com os avanços da tecnologia GPS e dos níveis laser e digital, este método não é mais empregado.

É possível, no entanto, utilizar-se dos seus equipamentos para trabalhos rotineiros de reconhecimento. Estes equipamentos são:

#### a) Altímetro Analógico

- ⇨ constituído de uma cápsula metálica vedada a vácuo que com a variação da pressão atmosférica se deforma. Esta deformação, por sua vez, é indicada por um ponteiro associado a uma escala de leitura da altitude que poderá estar graduada em metros ou pés (figura abaixo);
- ⇨ este tipo de altímetro é dito *compensado* quando possui um dispositivo que indica a correção a ser feita no valor da altitude por efeito da temperatura.

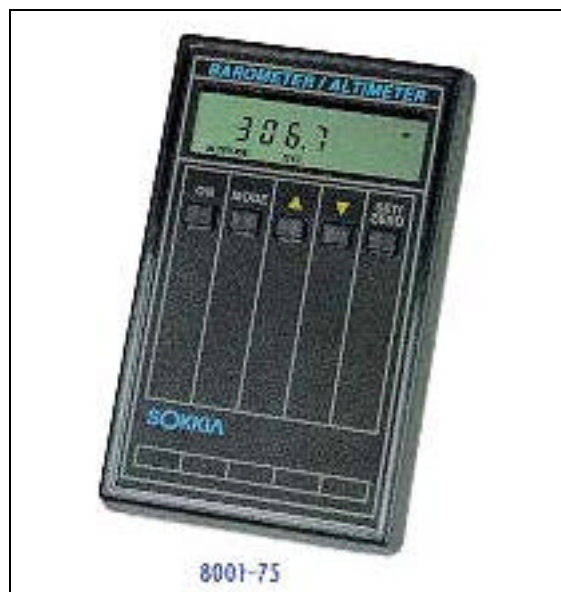


#### b) Altímetro Digital

- ⇨ seu funcionamento é semelhante ao do altímetro analógico, porém, a escala de leitura foi substituída por um visor de LCD, típico dos aparelhos eletrônicos (figura abaixo);



⇒ as altitudes são fornecidas com precisão de até 0,04m (0,015").



### 13.2. Nivelamento Trigonométrico

Baseia-se na medida de *distâncias horizontais* e *ângulos de inclinação* para a determinação da *cota* ou *altitude* de um ponto através de *relações trigonométricas*.

Portanto, obtém valores que podem estar relacionados ao *nível verdadeiro* ou ao *nível aparente*, depende do levantamento.

Segundo ESPARTEL (1987), divide-se em nivelamento trigonométrico de *pequeno alcance* (com visadas  $\leq 250\text{m}$ ) e *grande alcance* (com visadas  $> 250\text{m}$ ), sendo que para este último, deve-se considerar a influência da curvatura da Terra e da refração atmosférica sobre as medidas.

Os equipamentos utilizados são:

#### a) Clinômetro Analógico ou Digital

- ⇒ dispositivo capaz de informar a *inclinação* ( $\alpha$ ) entre pontos do terreno;
- ⇒ indicado para a medida de ângulos de até  $\pm 30^\circ$  e lances inferiores a 150m;
- ⇒ constituído por luneta, arco vertical e *vernier* e bolha tubular;
- ⇒ pode ser utilizado sobre tripé com prumo de bastão e duas miras verticais de 4m, para a determinação das distâncias horizontais por estadimetria;
- ⇒ a precisão na medida dos ângulos pode chegar a 40" e na das distâncias, até 1cm em 50m (1:5000).

Abaixo encontram-se as ilustrações de dois tipos de clinômetros, um analógico (com *vernier*) e outro digital (visor LCD).



A distância vertical ou diferença de nível entre dois pontos, por este método, é dada pela relação:

$$DV = DN = DH.tg(a) = DH.cotg(Z)$$

#### b) Clisímetro

- ⇨ permite ler, em escala ampliada, *declividades* (d%) de até 40%, o que equivale a ângulos de até 22°. No aspecto, ele é similar ao clinômetro;
- ⇨ a precisão da leitura neste dispositivo pode chegar a 1/10%, ou seja, 4' de arco;
- ⇨ indicado para lances inferiores a 150m.

#### c) Teodolito: Topográfico e de Precisão

- ⇨ permite ler ângulos com precisão desde 1' (teodolito topográfico) até 0,5" (teodolito de precisão ou geodésico);
- ⇨ os topográficos, por serem mecânicos, são indicados para lances inferiores a 250m;
- ⇨ os de precisão, que podem ser prismáticos ou eletrônicos, são indicados para lances superiores a 250m.

### 13.3. Nivelamento Geométrico

Este método diferencia-se dos demais pois está baseado somente na *leitura de réguas* ou *miras graduadas*, não envolvendo ângulos.

O aparelho utilizado deve estar estacionado a meia distância entre os pontos (ré e vante), dentro ou fora do alinhamento a medir.

Assim como para o método anterior, as medidas de DN ou DV podem estar relacionadas ao *nível verdadeiro* ou ao *nível aparente*, depende do levantamento.

Os equipamentos utilizados são:

### a) Nível Ótico

Segundo ESPARTEL (1987), constitui-se de:

- ⇨ um suporte munido de três parafusos niveladores ou calantes;
- ⇨ uma barra horizontal;
- ⇨ uma luneta fixada ou apoiada sobre a barra horizontal;
- ⇨ um nível de bolha circular para o nivelamento da base (pode também conter um nível de bolha tubular e/ou nível de bolha bipartida);
- ⇨ eixos principais: de rotação (vertical), ótico ou de colimação (luneta) e do nível ou tangente central;
- ⇨ duas miras ou régua graduadas: preferencialmente de metal invar;
- ⇨ para lances até 25m, a menor divisão da mira deve ser reduzida a 2mm, não podendo nunca exceder a 1cm (régua de madeira).

A figura a seguir ilustra um nível ótico e régua graduada, ambos da marca BERGER.



### b) Nível Digital

- ⇨ como descrito no item (8.6.e) é um nível para medição eletrônica e registro automático de distâncias horizontais e verticais;
- ⇨ o seu funcionamento está baseado no processo digital de leitura, ou seja, num sistema eletrônico de varredura e interpretação de padrões codificados;
- ⇨ para a determinação das distâncias o aparelho deve ser apontado e focalizado sobre uma régua graduada cujas divisões estão impressas em código de barras (escala binária);
- ⇨ este tipo de régua, que pode ser de alumínio, metal invar ou fibra de vidro, é resistente à umidade e bastante precisa quanto à divisão da graduação;
- ⇨ os valores medidos podem ser armazenados internamente pelo próprio equipamento ou em coletores de dados. Estes dados podem ser

transmitidos para um computador através de uma interface RS 232 padrão;

- ⇨ a régua é mantida na posição vertical, sobre o ponto a medir, com a ajuda de um nível de bolha circular;
- ⇨ o alcance deste aparelho depende do modelo utilizado, da régua e das condições ambientais (luz, calor, vibrações, sombra, etc.).

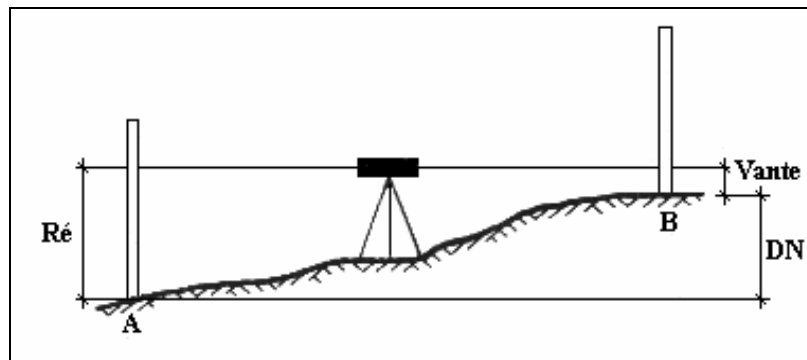
### c) Nível a Laser

- ⇨ como descrito no item (8.6.f) é um nível automático cujo funcionamento está baseado na tecnologia do infravermelho;
- ⇨ assim como o nível digital, é utilizado na obtenção de distâncias verticais ou diferenças de nível e também não mede ângulos;
- ⇨ para a medida destas distâncias é necessário o uso conjunto de um *detetor laser* que deve ser montado sobre uma régua de alumínio, metal invar ou fibra de vidro;
- ⇨ é um aparelho peculiar pois não apresenta luneta nem visor LCD; a leitura da altura da régua (**FM**), utilizada no cálculo das distâncias por estadimetria, é efetuada diretamente sobre a mesma, com o auxílio do *detetor laser*, pela pessoa encarregada de segurá-la;
- ⇨ os *detetores* são dotados de visor LCD que automaticamente se iluminam e soam uma campainha ao detectar o raio laser emitido pelo nível;
- ⇨ o alcance deste tipo de nível depende do modelo e marca, enquanto a precisão, depende da sensibilidade do detetor e da régua utilizada;
- ⇨ assim como para o nível digital, a régua deve ser mantida na posição vertical, sobre o ponto a medir, com a ajuda de um nível de bolha circular.

O nivelamento geométrico pode ser:

#### 13.3.1. Simples

Neste método, indicado pela figura abaixo (DOMINGUES, 1979), instala-se o nível uma única vez em ponto estratégico, situado ou não sobre a linha a nivelar e equidistante aos pontos de nivelamento.



Deve-se tomar o cuidado para que o desnível entre os pontos não exceda o comprimento da régua (4m).

Após proceder a leitura dos fios estadiométricos (FS, FM e FI) nos pontos de ré e vante, o desnível pode ser determinado pela relação:

$$\text{DN} = \text{FM}_{\text{re}} - \text{FM}_{\text{vante}}$$

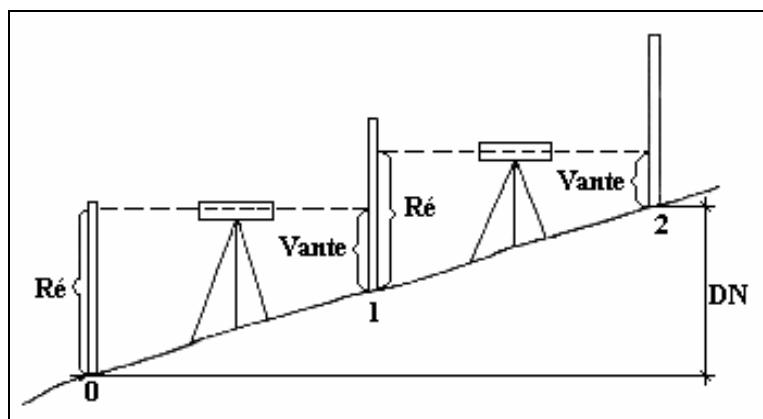
Se DN+ então o terreno está em *active* (de ré para vante).

Se DN- então o terreno está em *declive* (de ré para a vante).

Este tipo de nivelamento pode ser longitudinal, transversal ou radiante e é aplicado a terrenos relativamente planos.

### 13.3.2. Composto

Este método, ilustrado pela figura abaixo (GARCIA, 1984), exige que se instale o nível mais de uma vez, por ser, o desnível do terreno entre os pontos a nivelar, superior ao comprimento da régua.



Instala-se o nível equidistante aos pontos de ré e intermediário (primeiro de uma série de pontos necessários ao levantamento dos extremos), evitando-se ao máximo lances muito curtos.

Procede-se a leitura dos fios estadiométricos (FS, FM e FI) nos pontos em questão e o desnível entre os dois primeiros pontos será dado pela relação:

$$\text{DN}_P = \text{FM}_{\text{re}} - \text{FM}_{\text{interm.}}$$

Se DN+ então o terreno está em *active*.

Se DN- então o terreno está em *declive*.

Assim, o desnível total entre os pontos extremos será dado pelo somatório dos desníveis parciais.

$$\text{DN} = \text{SDN}_P$$

### 13.4. Precisão do Nivelamento

A *precisão*, *tolerância* ou *erro médio* de um nivelamento é função do perímetro percorrido com o nível (em km) e, segundo GARCIA e PIEDADE (1984), classifica-se em:

- *alta ordem*: o erro médio admitido é de  $\pm 1,5\text{mm/km}$  percorrido.
- *primeira ordem*: o erro médio admitido é de  $\pm 2,5\text{mm/km}$  percorrido.
- *segunda ordem*: o erro médio admitido é de  $1,0\text{cm/km}$  percorrido.
- *terceira ordem*: o erro médio admitido é de  $3,0\text{cm/km}$  percorrido.
- *quarta ordem*: o erro médio admitido é de  $10,0\text{cm/km}$  percorrido.

Onde o *erro médio* é avaliado da seguinte forma:

⇨ para *poligonais fechadas*: é a soma algébrica das diferenças de nível parciais (entre todos os pontos).

⇨ para *poligonais abertas*: é a soma algébrica das diferenças de nível parciais (entre todos os pontos) no nivelamento (ida) e no contranivelamento (volta).

Este erro, ao ser processado, poderá resultar em valores diferentes de zero, para mais ou para menos, e deverá ser distribuído proporcionalmente entre as estações da poligonal, caso esteja abaixo do *erro médio total temível*.

Assim, segundo ESPARTEL (1987), o *erro médio total temível* em um nivelamento para um perímetro **P** percorrido em quilômetros, deverá ser:

$$e_m = \pm 5\text{mm}\sqrt{P}$$

E o *erro máximo admissível*, segundo o mesmo autor, deverá ser:

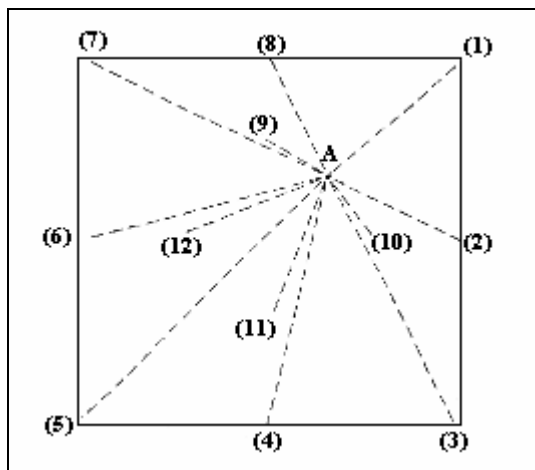
$$e = 2,5.e_m$$

### 13.5. Exercícios

1. Qual é o desnível e a inclinação do terreno para um nivelamento composto onde foram obtidos os seguintes dados?

$$\begin{aligned} FM_{\text{ré}} &= 2.50, 2.80 \text{ e } 3.00\text{m} \\ FM_{\text{vante}} &= 1.00, 0.80 \text{ e } 0.90\text{m}. \end{aligned}$$

2. Pela figura abaixo, determine a diferença de nível entre os pontos. De onde devemos tirar e onde devemos colocar terra? A altura do ponto A deve ser tomada como referência para o cálculo dos desníveis, bem como, para a planificação do relevo.



Onde

Estaca	FM	Estaca	FM
A	1,20m (I)	7	1,40m
1	1,60m	8	1,55m
2	1,30m	9	1,50m
3	1,25m	10	1,22m
4	1,10m	11	1,15m
5	0,90m	12	1,12m
6	1,10m		

3. Dada a tabela de leituras abaixo, determine os desníveis do terreno entre os pontos e o erro de nivelamento. Classifique o levantamento segundo o erro encontrado, admitindo que o perímetro percorrido tenha sido de 1Km.

Ponto	FM (ré)	FM (vante)
1-2	1,283m	1,834m
2-3	1,433m	2,202m
3-4	0,987m	0,729m
4-5	2,345m	1,588m
5-1	1,986m	1,706m

4. Determine o desnível entre dois pontos a partir de um nivelamento trigonométrico onde foram obtidos os seguintes dados:

$$I = 1.43m$$

$$DH = 47.30m$$

$$\alpha = 8^\circ 30' \text{ ascendente}$$

$$FM = 0.000 \text{ (visado o solo)}$$

5. Qual seria a tolerância de um nivelamento de segunda ordem, se o perímetro medido foi de 1,283 km? Se o erro encontrado para este nivelamento foi de 1,5cm, este poderá ser aceito e distribuído normalmente?

6. Determine a altura aproximada de uma árvore sabendo-se que o ângulo de visada do topo da árvore é de  $17^{\circ}40'$  em relação ao solo e a distância do observador à árvore é de 40,57m.

7. Determine a elevação de um ponto B, em relação a um ponto A, sabendo-se que: a elevação do ponto A é de 410,260m; a leitura de FM para uma régua estacionada em A é de 3,710m; a leitura de FM para uma régua estacionada em B é de 2,820m.

8. Determine a distância horizontal e vertical entre dois pontos sabendo-se que: o ângulo de visada do ponto inicial para o ponto final do alinhamento é de  $30^{\circ}22'$  descendente; a altura do aparelho estacionado no ponto inicial é de 1,72m; a leitura da régua estacionada no ponto final é de 3,520m; a distância inclinada entre os pontos é de 182,18m. Determine a elevação do ponto final para uma elevação do ponto inicial de 361,29m.

9. Determine, para os valores de régua da tabela abaixo, a cota de cada um dos pontos (1 ao 6). Obs.: os PT são pontos temporários.

Ponto	Ré (m)	Vante (m)	Cota (m)
1	1,259		366,012
2		2,650	
3		1,832	
4		3,017	
5	2,307		
PT#1		1,884	
PT#2		2,342	
PT#3		0,855	
6		1,549	

#### 14. Utilização das Medidas de um Levantamento Altimétrico

As medidas, cálculos e transportes de um nivelamento podem ser utilizados na:

##### 14.1. Construção de Perfis

Segundo GARCIA e PIEDADE (1984), o perfil é a *representação gráfica do nivelamento* e a sua determinação tem por finalidade:

- ⇒ O estudo do relevo ou do seu modelado, através das curvas de nível;
- ⇒ A locação de rampas de determinada declividade para projetos de engenharia e arquitetura: edificações, escadas, linhas de eletrificação rural, canais e encanamentos, estradas etc.;
- ⇒ O estudo dos serviços de terraplanagem (volumes de corte e aterro).



O perfil de uma linha do terreno pode ser de dois tipos:

- **Longitudinal:** determinado ao longo do perímetro de uma poligonal (aberta ou fechada), ou, ao longo do seu maior afastamento (somente poligonal fechada).
- **Transversal:** determinado ao longo de uma faixa do terreno e perpendicularmente ao longitudinal.

O levantamento de um perfil, para poligonais abertas ou fechadas, é feito da seguinte forma:

- Toma-se o maior afastamento (fechada) ou o perímetro (aberta) de uma poligonal e determina-se a linha principal a ser levantada.
- Faz-se o estaqueamento desta linha em intervalos de 5m, 10m ou 20m, com a ajuda de balizas e trena ou de teodolito. É importante que as estacas sejam numeradas.
- Faz-se o levantamento altimétrico desta linha e determinam-se todos os seus desníveis.
- Determinam-se também as linhas transversais às estacas da linha principal com a ajuda de um teodolito. Se a linha longitudinal escolhida for o perímetro da poligonal, deve-se traçar, em cada estaca, a linha transversal segundo a bissetriz do ângulo horizontal naquele ponto.
- Faz-se o estaqueamento das linhas transversais com a mesma precisão da linha principal, ou seja, em intervalos de 5m, 10m ou 20m.
- Faz-se o levantamento destas linhas transversais e determinam-se todos os seus desníveis.
- Representam-se os valores dos desníveis obtidos e das distâncias horizontais entre as estacas em um sistema de eixos ortogonais da seguinte forma:

a) No eixo **x** são lançadas todas as distâncias horizontais entre as estacas (perímetro da linha levantada) em escala apropriada. Ex.:

1:750.

b) No eixo **y** são lançados todos os valores de cota/altitude das estacas levantadas também em escala apropriada. Ex.:

1:75 (escala em **y** 10 vezes maior que a escala em **x**) → *perfil elevado*.

1:750 (escala em **y** igual à escala em **x**) → *perfil natural*.

1:1500 (escala em **y** 2 vezes menor que a escala em **x**) → *perfil rebaixado*.

- Uma vez representadas as estacas no eixo **x**, estas devem ser unidas, através de linhas ortogonais, às suas respectivas cotas já representadas no eixo **y**. Desta forma, cada interseção de duas linhas ortogonais (**x** e **y**) dará como resultado um ponto definidor do perfil.
- O desenho final do perfil deverá compor uma linha que une todos os seus pontos definidores.

## 14.2. Determinação da Declividade entre Pontos

Segundo GARCIA e PIEDADE (1984), a *declividade* ou *gradiente* entre pontos do terreno é a relação entre a distância vertical e horizontal entre eles.

Em porcentagem, a declividade é dada por:

$$d(\%) = \frac{DN}{DH} \cdot 100$$

Em valores angulares, a declividade é dada por:

$$d^\circ = \text{arc.tg} \frac{DN}{DH}$$

Segundo os mesmos autores acima, as declividades classificam-se em:

Classe	Declividade %	Declividade °	Interpretação
A	< 03	< 01.7	Fraca
B	03 a 06	01.7 a 03.4	Moderada
C	06 a 12	03.4 a 06.8	Moderada a Forte
D	12 a 20	06.8 a 11.3	Forte
E	20 a 40	11.3 a 21.8	Muito Forte
F	> 40	> 21.8	Extremamente Forte

## 14.3. Exercícios

1. Dados os valores abaixo, construir um perfil longitudinal com  $E_x = 1:1000$  e  $E_y = 1:100$ , sabendo-se que as estacas foram cravadas de 20m em 20m.

Estaca	Cota	Estaca	Cota
0	100,00m	3	103,50m
1	101,60m	4	103,20m
2	102,30m	4+12,4	102,50m
2+8,60m	103,00m	5	102,90m

2. Em relação ao exercício anterior, determinar a declividade das rampas que ligam: a) a estaca 2 à estaca 3; b) a estaca 4 à estaca 5.

3. Em relação ao exercício anterior, determine a cota de uma estaca situada a 15,80m da estaca 1.

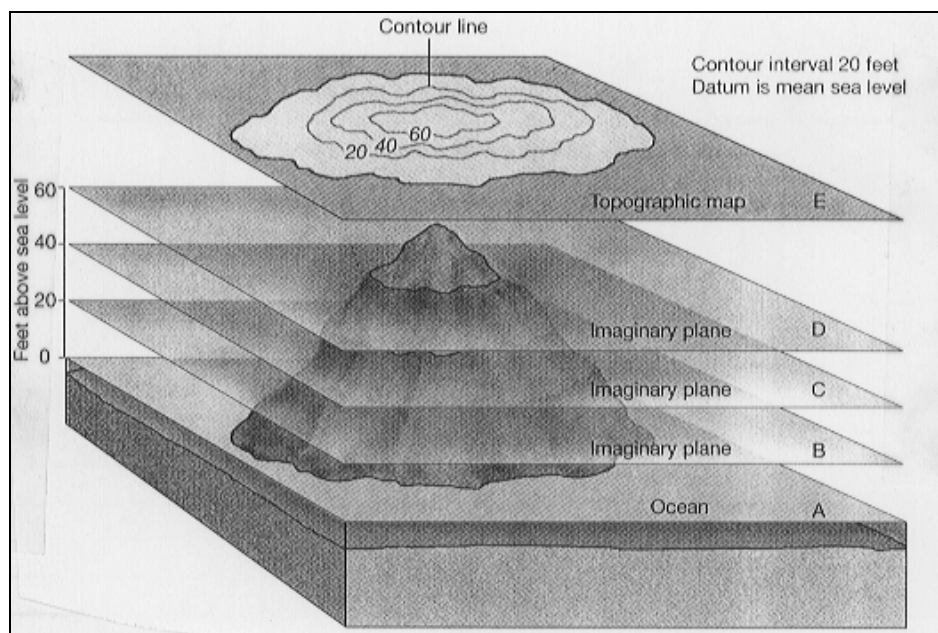
4. Determine a declividade entre dois pontos, em porcentagem e em valores angulares, sabendo-se que a cota do primeiro ponto é 471,37m e a cota do segundo ponto é 476,77m. A distância horizontal entre eles é de 337,25m.

5. Qual deve ser a cota de um ponto **B**, distante 150m de um ponto **A**, sabendo-se que o gradiente entre eles é de  $-2,5\%$ .

#### 14.4. Geração de Curvas de Nível

Como ilustrado na figura a seguir, as *curvas de nível* ou *isolinhas* são linhas curvas fechadas formadas a partir da interseção de vários planos horizontais com a superfície do terreno.

Cada uma destas linhas, pertencendo a um mesmo plano horizontal tem, evidentemente, todos os seus pontos situados na mesma cota altimétrica, ou seja, todos os pontos estão no mesmo nível.



Os planos horizontais de interseção são sempre paralelos e equidistantes e a distância entre um plano e outro denomina-se *Equidistância Vertical*.

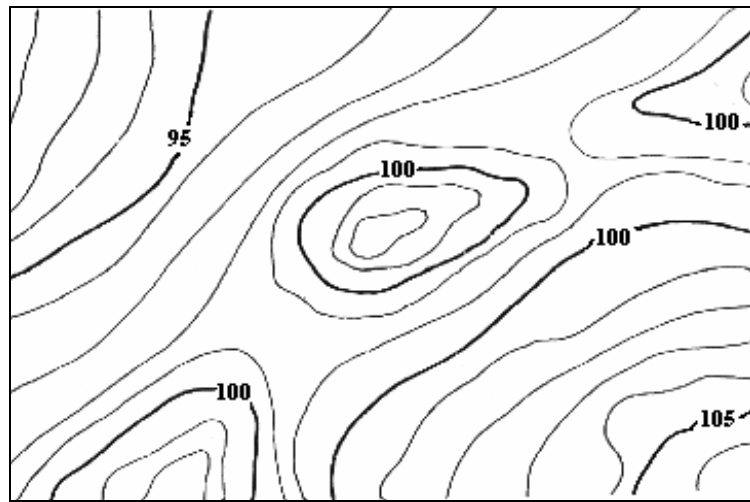
Segundo DOMINGUES (1979), a equidistância vertical das curvas de nível varia com a escala da planta e recomendam-se os valores da tabela abaixo.

Escala	Equidistância	Escala	Equidistância
1:500	0,5m	1:100000	50,0m
1:1000	1,0m	1:200000	100,0m
1:2000	2,0m	1:250000	100,0m
1:10000	10,0m	1:500000	200,0m
1:25000	10,0m	1:1000000	200,0m
1:50000	25,0m	1:10000000	500,0m

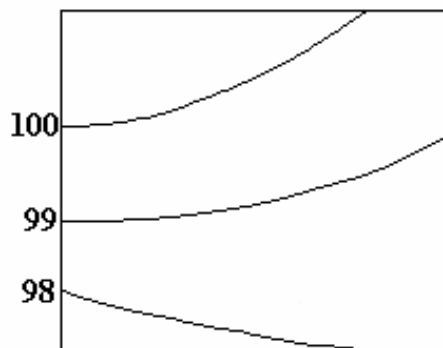
### 14.4.1. Características das Curvas de Nível

- As curvas de nível, segundo o seu traçado, são classificadas em:
  - ⇨ *mestras*: todas as curvas múltiplas de 5 ou 10 metros.
  - ⇨ *intermediárias*: todas as curvas múltiplas da equidistância vertical, excluindo-se as mestras.
  - ⇨ *meia-equidistância*: utilizadas na densificação de terrenos muito planos.

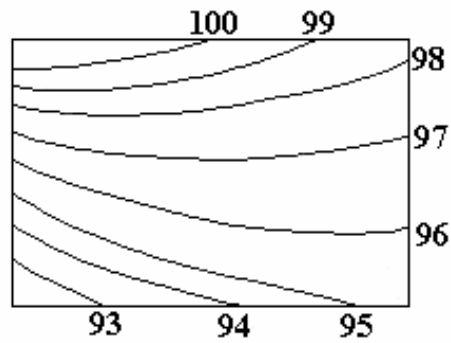
A figura a seguir (DOMINGUES, 1979) ilustra parte de uma planta altimétrica com curvas de nível mestras e intermediárias.



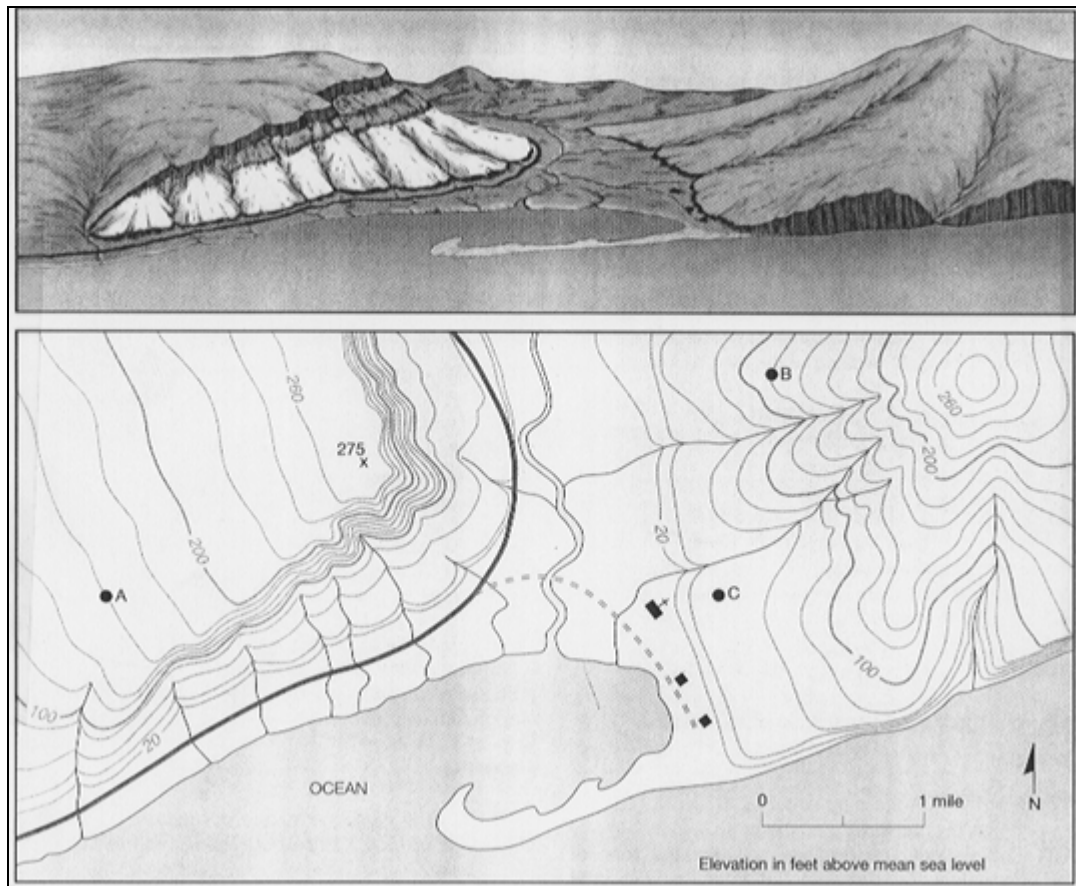
- Todas as curvas são representadas em tons de marrom ou sépia (plantas coloridas) e preto (plantas monocromáticas).
- As curvas mestras são representadas por traços mais espessos e são todas cotadas.
- Como mostra a figura a seguir (GARCIA, 1984), curvas muito afastadas representam terrenos planos.



- Da mesma forma, a figura a seguir (GARCIA, 1984) mostra que curvas muito próximas representam terrenos acidentados.



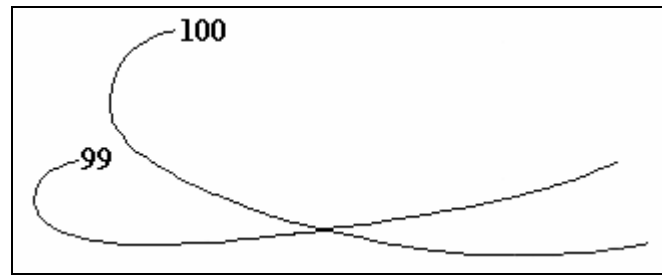
- Como indicado na figura a seguir, a maior declividade (d%) do terreno ocorre no local onde as curvas de nível são mais próximas e vice-versa.



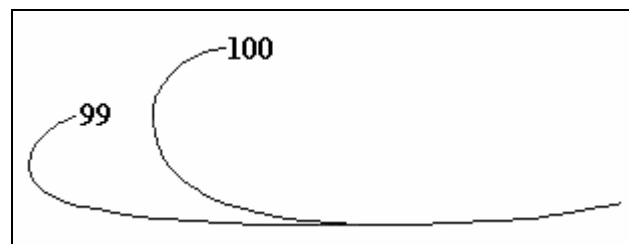
- Para o traçado das curvas de nível os pontos *notáveis* do terreno (aqueles que melhor caracterizam o relevo) devem ser levantados altimetricamente. É a partir destes pontos que se interpolam, gráfica ou numericamente, os pontos definidores das curvas.
- Em *terrenos naturais* (não modificados pelo homem) as curvas tendem a um paralelismo e são isentas de *ângulos vivos* e *quebras*.

#### 14.4.2. Normas para o Desenho das Curvas de Nível

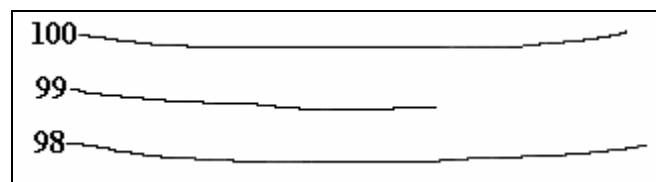
- Duas curvas de nível jamais devem se cruzar. Figura de GARCIA e PIEDADE (1984).



- Duas ou mais curvas de nível jamais poderão convergir para formar uma curva única, com exceção das paredes verticais de rocha. Figura de GARCIA e PIEDADE (1984).



- Uma curva de nível inicia e termina no mesmo ponto, portanto, ela não pode surgir do nada e desaparecer repentinamente. Figura de GARCIA e PIEDADE (1984).



- Uma curva pode compreender outra, mas nunca ela mesma.
- Nos *cumes* e nas *depressões* o relevo é representado por pontos cotados.

#### 14.4.3. O Modelado Terrestre

Segundo ESPARTEL (1987), o modelado terrestre (superfície do terreno), tal qual se apresenta atualmente, teve origem nos contínuos deslocamentos da crosta terrestre (devidos à ação de causas internas) e na influência dos diversos fenômenos externos (tais como chuvas, vento, calor solar, frio intenso) que com a sua ação mecânica e química, alteraram a *superfície estrutural* original transformando-a em uma *superfície escultural*.

Para compreender melhor as feições (acidentes geográficos) que o terreno apresenta e como as curvas de nível se comportam em relação às mesmas, algumas definições geográficas do terreno são necessárias. São elas:

**Colo:** *quebrada* ou *garganta*, é o ponto onde as linhas de talvegue (normalmente duas) e de divisores de águas (normalmente dois) se curvam fortemente mudando de sentido.

**Contraforte:** são saliências do terreno que se destacam da serra principal (*cordilheira*) formando os vales secundários ou laterais. Destes partem ramificações ou saliências denominadas *espigões* e a eles correspondem os vales terciários.

**Cume:** *cimo* ou *crista*, é a ponto mais elevado de uma montanha.

**Linha de Aguada:** ou *talvegue*, é a linha representativa do fundo dos rios, córregos ou cursos d'água.

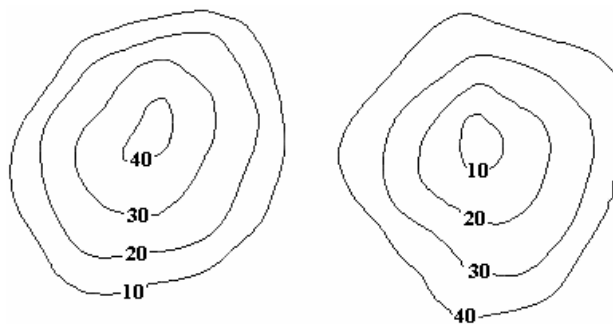
**Linha de Crista:** *cumeada* ou *divisor de águas*, é a linha que une os pontos mais altos de uma elevação dividindo as águas da chuva.

**Serra:** cadeia de montanhas de forma muito alongada donde partem os contrafortes.

**Vertente:** *flanco*, *encosta* ou *escarpa*, é a superfície inclinada que vem do cimo até a base das montanhas. Pode ser à *esquerda* ou à *direita* de um vale, ou seja, a que fica à mão esquerda e direita respectivamente do observador colocado de frente para a foz do curso d'água. As vertentes, por sua vez, não são superfícies planas, mas sulcadas de depressões que formam os vales secundários.

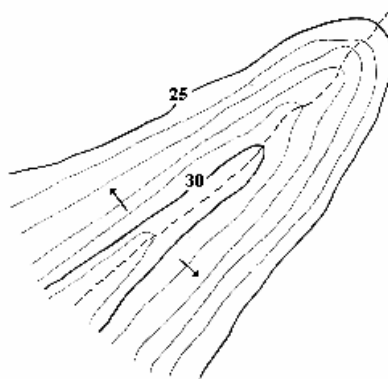
#### 14.4.4. As Curvas de Nível e os Principais Acidentes Geográficos Naturais

- *Depressão* e *Elevação*: como na figura a seguir (GARCIA, 1984), são superfícies nas quais as curvas de nível de maior valor envolvem as de menor no caso das depressões e vice-versa para as elevações.

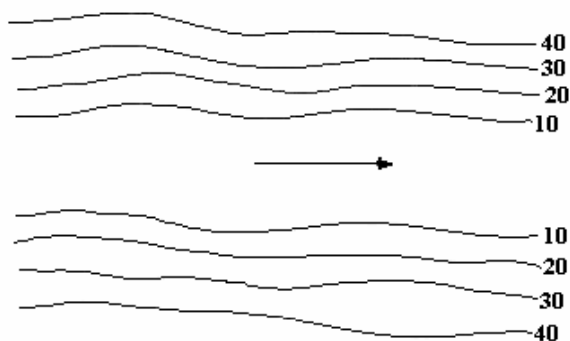


- *Colina*, *Monte* e *Morro*: segundo ESPARTEL (1987), a primeira é uma elevação suave, alongada, coberta de vegetação e com altura entre 200 a 400m. A segunda é uma elevação de forma variável, abrupta, normalmente sem vegetação na parte superior e com altura entre 200 a 300m. A terceira é uma elevação semelhante ao monte, porém, com altura entre 100 e 200m. Todas aparecem isoladas sobre o terreno.

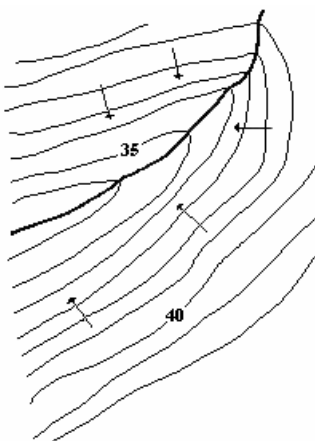
- *Espigão*: constitui-se numa elevação alongada que tem sua origem em um contraforte. Figura de DOMINGUES (1979).



- *Corredor*: faixa de terreno entre duas elevações de grande extensão. Figura de GARCIA e PIEDADE (1984).

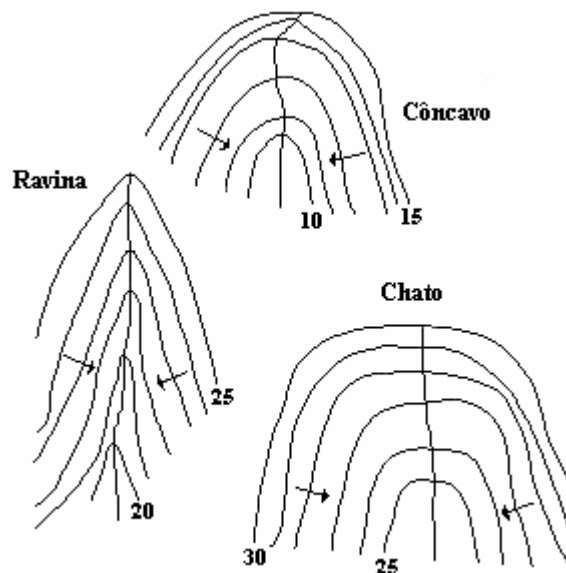


- *Talvegue*: linha de encontro de duas vertentes opostas (pela base) e segundo a qual as águas tendem a se acumular formando os rios ou cursos d'água. Figura de DOMINGUES (1979).

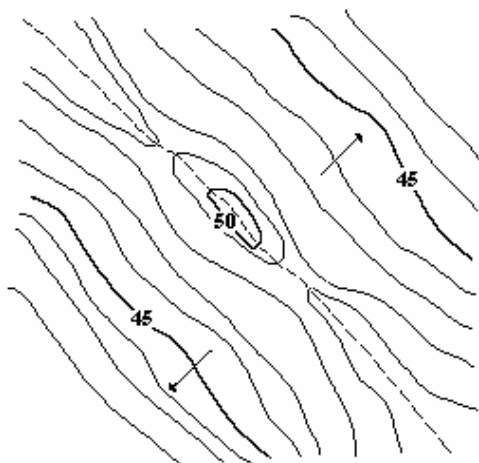


- *Vale*: superfície côncava formada pela reunião de duas vertentes opostas (pela base). Segundo DOMINGUES (1979) e conforme figura abaixo, podem ser de fundo côncavo, de fundo de ravina ou de fundo chato. Neste, as curvas de nível de maior valor envolvem as de menor.

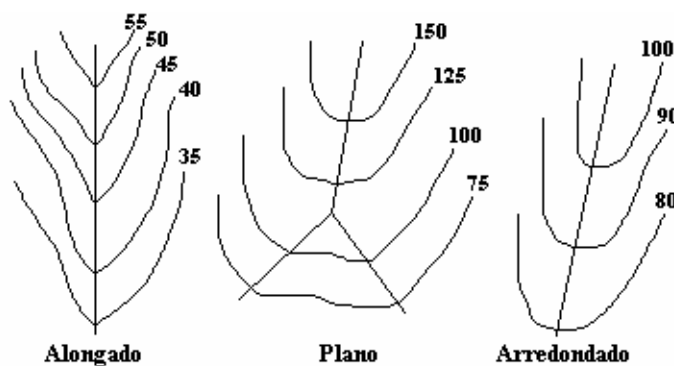




- *Divisor de águas*: linha formada pelo encontro de duas vertentes opostas (pelos cumes) e segundo a qual as águas se dividem para uma e outra destas vertentes. Figura de DOMINGUES (1979).



- *Dorso*: superfície convexa formada pela reunião de duas vertentes opostas (pelos cumes). Segundo ESPARTEL (1987) e conforme figura abaixo, podem ser alongados, planos ou arredondados. Neste, as curvas de nível de menor valor envolvem as de maior.



- O *talvegue* está associado ao *vale* enquanto o *divisor de águas* está associado ao *dorso*.

#### 14.4.5. Leis do Modelado Terrestre

Segundo ESPARTEL (1987), à ciência que estuda as formas exteriores da superfície da Terra e as leis que regem o seu modelado dá-se o nome de *Topologia*.

Por serem as águas (em qualquer estado: sólido, líquido e gasoso) as grandes responsáveis pela atual conformação da superfície terrestre, é necessário que se conheçam algumas das leis que regem a sua evolução e dinâmica, de forma a compreender melhor a sua estreita relação com o terreno e a maneira como este se apresenta.

*Leis:*

**1ª Lei:** Qualquer curso d'água está compreendido entre duas elevações cujas linhas de crista vão se afastando à medida que o declive da linha de aguada vai diminuindo.

**2ª Lei:** Quando dois cursos d'água se encontram, a linha de crista que os separa está sensivelmente orientada no prolongamento do curso d'água resultante.

**3ª Lei:** Se dois cursos d'água descem paralelamente uma encosta e tomam depois direções opostas, as linhas que separam os cotovelos indicam a depressão mais profunda entre as vertentes.

**4ª Lei:** Se alguns cursos d'água partem dos arredores de um mesmo ponto e seguem direções diversas, há, ordinariamente, na sua origem comum, um ponto culminante.

**5ª Lei:** Se duas nascentes ficam de um lado e de outro de uma elevação, existe um *cume* na parte correspondente da linha de crista que as separa.

**6ª Lei:** Em uma zona regularmente modelada, uma linha de crista se baixa quando dois cursos d'água se aproximam e vice-versa. Ao máximo afastamento corresponde um *cume*, ao mínimo, um *colo*.

**7ª Lei:** Em relação a dois cursos d'água que correm em níveis diferentes, pode-se afirmar que a linha de crista principal que os separa aproxima-se, sensivelmente, do mais elevado.

**8ª Lei:** Sempre que uma linha de crista muda de direção lança um contraforte na direção de sua bissetriz. Este contraforte pode ser pequeno, mas sempre existente.

**9ª Lei:** Quando dois cursos d'água vizinhos nascem do mesmo lado de uma encosta um contraforte ou uma garupa se lança entre os dois e os separa. Na

interseção da linha de crista desse contraforte com a linha de crista principal existe um ponto culminante.

**10<sup>a</sup> Lei:** Se um curso d'água se divide em muitos ramos sinuosos e forma ilhas irregulares, pode-se concluir que o vale é largo e a linha de aguada tem pouca inclinação. Se, ao contrário, existe um único canal, pode-se concluir que o vale é estreito e profundo e a linha de aguada é bastante inclinada.

#### 14.4.6. Obtenção das Curvas de Nível

Segundo GARCIA e PIEDADE (1984), após o levantamento planimétrico do terreno pode-se empregar um dos três métodos abaixo para a obtenção das curvas de nível:

##### a) Quadriculação

- É o mais preciso dos métodos.
- Também é o mais demorado e dispendioso.
- Recomendado para pequenas áreas.
- Consiste em quadricular o terreno (com piquetes) e nivelá-lo.
- A quadriculação é feita com a ajuda de um teodolito/estação (para marcar as direções perpendiculares) e da trena/estação (para marcar as distâncias entre os piquetes).
- O valor do lado do quadrilátero é escolhido em função: da sinuosidade da superfície; das dimensões do terreno; da precisão requerida; e do comprimento da trena.
- No escritório, as quadrículas são lançadas em escala apropriada, os pontos de cota inteira são interpolados e as curvas de nível são traçadas.

##### b) Irradiação Taqueométrica

- Método recomendado para áreas grandes e relativamente planas.
- Consiste em levantar poligonais maiores (principais) e menores (secundárias) interligadas.
- Todas as poligonais devem ser niveladas.
- Das poligonais (principal e secundárias) irradiam-se os pontos notáveis do terreno, nivelando-os e determinando a sua posição através de ângulos e de distâncias horizontais.
- Esta irradiação é feita com o auxílio de um teodolito e trena ou de estação total.
- No escritório, as poligonais são calculadas e desenhadas, os pontos irradiados são locados e interpolados e as curvas de nível são traçadas.

##### c) Seções Transversais

- Método utilizado na obtenção de curvas de nível em faixas, ou seja, em terrenos estreitos e longos.
- Consiste em implantar e levantar planialtimetricamente os pontos definidores das linhas transversais à linha longitudinal definida por uma poligonal aberta.
- No escritório, a poligonal aberta e as linhas transversais são determinadas e desenhadas, os pontos de cada seção são interpolados e as curvas de nível são traçadas.

#### 14.4.7. Interpolação

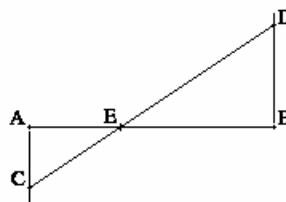
Segundo BORGES (1992) a interpolação das curvas de nível pode ser gráfica ou numérica.

##### a) Interpolação Gráfica

- Consiste em determinar, entre dois pontos de cotas fracionárias, o ponto de cota cheia ou inteira e múltiplo da equidistância vertical.
- Sejam, portanto, dois pontos **A** e **B** de cotas conhecidas e cuja distância horizontal também se conhece.
- O método consiste em traçar perpendiculares ao alinhamento **AB**, pelo ponto **A** e pelo ponto **B** respectivamente.
- Sobre estas perpendiculares lançam-se: o valor que excede a cota inteira (sentido positivo do eixo, pelo ponto **A** ou **B**, aquele de maior cota); e o valor que falta para completar a cota inteira (sentido negativo do eixo, pelo ponto **A** ou **B**, aquele de menor cota). Este lançamento pode ser feito em qualquer escala.
- Os valores lançados sobre as perpendiculares por **A** e **B** resultam nos pontos **C** e **D**, que determinam uma linha.
- A interseção desta linha (**CD**) com o alinhamento (**AB**) é o ponto de cota inteira procurado.
- Ex.: seja  $c(A) = 12,6\text{m}$ ,  $c(B) = 13,7\text{m}$  e  $DH_{AB} = 20,0\text{m}$ . Determine o ponto de cota inteira entre **A** e **B** e sua localização.

##### b) Interpolação Numérica

- O método consiste em determinar os pontos de cota inteira e múltiplos da equidistância vertical por semelhança de triângulos:
- Pela figura abaixo (BORGES, 1992), pode-se deduzir que:



$AE \otimes AB$  assim como  $AC \otimes (AC + BD)$  portanto

$$AE = \frac{AC \cdot AB}{(AC + BD)}$$

- Para o exemplo do método anterior, **AE** calculado pela relação acima corresponde a 7,27m. Isto equivale ao resultado obtido graficamente.

#### 14.4.8. Classificação do Relevo

De posse da planta planialtimétrica de um terreno ou região é possível, segundo GARCIA e PIEDADE (1984), analisar e classificar o relevo da seguinte forma:

Classificação	Relevo
Plano	Com desníveis próximos de zero
Ondulado	Com desníveis $\leq 20m$
Movimentado	Com elevações entre 20 e 50m
Acidentado	Com elevações entre 50 e 100m
Montuoso	Com elevações entre 100 e 1000m
Montanhoso	Com elevações superiores a 1000m

#### 14.4.9. Tipos de Cartas

As plantas planialtimétricas de uma região, segundo ESPARTEL (1987) podem ser classificadas como:

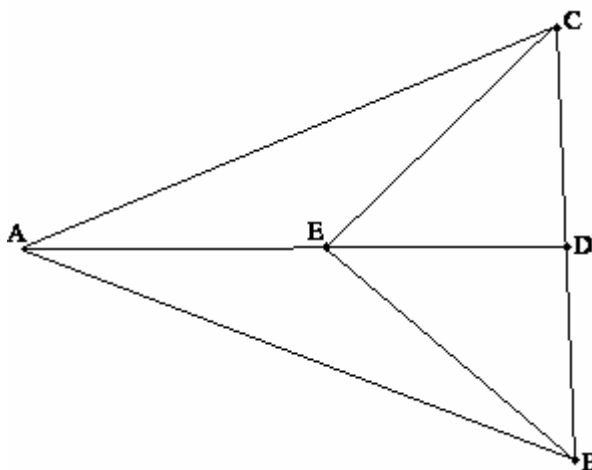
- *Hipsométricas* ou *Geográficas*: constituindo todo o conjunto de plantas, cartas e mapas planialtimétricos.
- *Batimétricas* ou *Náuticas*: constituindo todas as plantas, cartas e mapas cuja finalidade é representar o relevo marinho. Estes produtos não possuem curvas de nível, apenas pontos e linhas de profundidade. A profundidade dos pontos e linhas representados é obtida através de *ecobatímetros*, atualmente, interligados a GPS de precisão e, portanto, por processos diferenciados das curvas de nível tradicionais.

### 14.5. Exercícios

1. Determine os pontos de cota inteira para o terreno da figura abaixo, levantado pelo método da quadriculação. Interpole e desenhe as curvas de nível com equidistância vertical de 1m. As estacas estão cravadas em intervalos regulares de 20m.

	A	B	C	D	E
1	16,4	14,8	13,1	11,4	10,0
2	17,9	16,2	14,7	13,0	11,3
3	19,1	17,6	16,0	14,5	12,6
4	20,2	18,5	17,4	15,7	13,8
5	21,3	19,9	18,2	17,0	15,2
6	22,2	21,0	19,5	17,8	16,5
7	23,1	21,7	20,6	19,2	17,8

2. Seja uma porção de terreno correspondente a uma vertente isolada de um vale da qual foram determinadas, por nivelamento trigonométrico, as cotas dos pontos A (37,0m), B (28,5m), C (26,6m), D (6,0m) e E (17,5m). Sabendo-se que as distâncias AC, AE, ED, AB, CD e DB correspondem a 75m, 40m, 35m, 70m, 37.5m e 37.5m; interpolar os pontos de cota inteira com equidistância vertical de 5m e traçar as curvas de nível correspondentes.



### 15. Planialtimetria

É a representação das informações planimétricas e altimétricas, obtidas dos levantamentos já descritos anteriormente, em uma única planta, carta ou mapa.

A finalidade da planta planialtimétrica é fornecer o maior número possível de informações da superfície representada para efeitos de **estudo, planejamento e viabilização de projetos**.

Como já foi visto, a planimetria permite representar os acidentes geográficos (naturais ou artificiais) do terreno em função de suas coordenadas planas ( $x, y$ ).

A altimetria, por sua vez, fornece um elemento a mais, que é a coordenada ( $z$ ) de pontos isolados do terreno (pontos cotados) ou de planos horizontais de interseção com o terreno (curvas de nível).

Segundo GARCIA e PIEDADE (1984), a planta planialtimétrica é utilizada para:

① *Escolha do melhor traçado e locação de estradas (ferrovias ou rodovias)*

Através da planta pode-se determinar:

- ⇒ Declividade máxima das rampas
- ⇒ Mínimo de curvas necessário
- ⇒ Movimentação de terra (volumes de corte e aterro)
- ⇒ Locais sujeitos a inundação
- ⇒ Necessidade de obras especiais (pontes, viadutos, túneis...)

② *Linhas de transmissão: energia*

Através da planta faz-se o estudo:

- ⇒ Direção e largura da faixa de domínio da linha (perfis longitudinal e transversais)
- ⇒ Áreas de desapropriação
- ⇒ Melhores locais para instalação de torres, postes, centrais de distribuição, ...

③ *Dutos em geral: óleo, gás, água, esgoto, produtos químicos, etc.*

Através da planta é possível:

- ⇒ Estudar o relevo para a idealização do projeto (perfis, declividades, etc.)
- ⇒ Determinar pontos onde é necessária a utilização de bombas para recondução do escoamento

④ *Serviços de terraplanagem*

Através da planta é possível:

- ⇒ Estudar o relevo para fins de planificação
- ⇒ Determinar os volumes de corte e aterro necessários à construção de casas, edifícios, sedes de fazenda, silos, ...
- ⇒ Retificar as curvas de nível segundo os projetos idealizados

⑤ *Construção de açudes, barragens e usinas*

Através da planta é possível:

- ⇨ Determinar a área a ser ocupada pela água e o volume que será armazenado
- ⇨ Projetar o desvio provisório de cursos d'água ou rios
- ⇨ Realizar o estudo de impactos ambientais (fauna e flora)

⑥ *Planejamento do uso da terra*

Através da planta é possível:

- ⇨ Estudar e classificar os tipos de solos
- ⇨ Organizar o plantio por curvas de nível
- ⇨ Prevenir a erosão
- ⇨ Realizar estudos e idealizar projetos de irrigação (a partir de fontes naturais) e em função do tipo do terreno (plano, ondulado ...)
- ⇨ Determinar a economia mais apropriada para a região (criação de gado, plantio de arroz, cultura de café, soja ou milho)
- ⇨ Preservar áreas de interesse ecológico e ambiental

⑦ *Planejamento urbano*

Através da planta é possível:

- ⇨ Estudar e planejar a direção das vias (insolação, acesso, etc.)
- ⇨ Estudar e planejar áreas industriais (controle da poluição e de resíduos)
- ⇨ Estudar e planejar áreas comerciais
- ⇨ Estudar e planejar áreas residenciais (altura das edificações, afastamento das vias, insolação, etc.)
- ⇨ Estudar e planejar áreas de lazer e recreação (parques, jardins, praças, museus, centros históricos, etc.)
- ⇨ Estudar e planejar a distribuição de escolas, hospitais, postos de saúde, etc.
- ⇨ Estudar e planejar o tráfego
- ⇨ Estudar e planejar o transporte coletivo e o recolhimento do lixo

⑧ *Peritagem.*

Através da planta é possível, inclusive:

- ⇨ Avaliar juridicamente a propriedade, estimando preço de venda e valores de tributação

## 16. Avaliação de Áreas de Figuras Planas

Como descrito acima, de posse da planta, carta ou mapa, o engenheiro pode dar início aos estudos que antecedem às fases de planejamento e viabilização de diversos projetos.



A avaliação de áreas de figuras planas faz parte deste estudo preliminar e tem como objetivo informar ao engenheiro quais as áreas aproximadas envolvidas por um determinado projeto.

Os métodos de avaliação de áreas de figuras planas são muitos. A seguir, encontram-se os principais.

### 16.1. Método de Equivalências Gráficas

Segundo ESPARTEL (1987), são muitos os métodos que permitem, através de equivalências gráficas, determinar a área de uma figura plana. Os principais são:

#### 16.1.1. Método da Decomposição

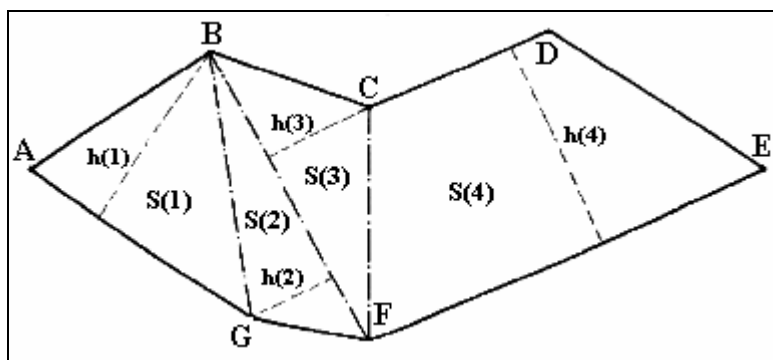
Este método é utilizado na determinação da área aproximada de uma figura qualquer de lados retilíneos, delimitada sobre o papel e em qualquer escala.

O método consiste em decompor a figura original em figuras geométricas conhecidas (triângulos, retângulos, trapézios, quadrados) e, uma vez determinada a área de todas as figuras decompostas separadamente (através de fórmulas elementares), a área da figura original será dada pelo somatório das áreas parciais.

A figura a seguir (DOMINGUES, 1979) ilustra a decomposição de uma figura irregular em quatro figuras geométricas conhecidas (três triângulos e um trapézio) cujas áreas podem ser calculadas pelas seguintes fórmulas elementares:

$$S_1 = \frac{(AG \cdot h_1)}{2} \quad S_2 = \frac{(BF \cdot h_2)}{2} \quad S_3 = \frac{(BF \cdot h_3)}{2}$$

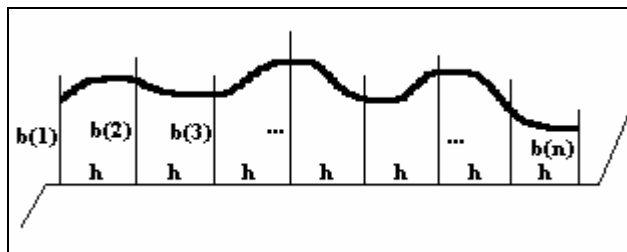
$$S_4 = \frac{(CD + FE)}{2} \cdot h_4$$



#### 16.1.2. Método dos Trapézios

O método dos *Trapézios* ou *de Bezout* é utilizado na avaliação de áreas ditas extrapolygonais, ou seja, aquelas que representam figuras decompostas de lados irregulares ou curvos (delimitados por uma estrada, rio, lago, etc.).

Como mostra a figura a seguir (DOMINGUES, 1979), o método consiste em dividir a figura decomposta em vários trapézios de alturas ( $h$ ) iguais.



Para a referida figura, a área será dada pela relação:

$$S = \frac{b_E}{2} + b_I \cdot h$$

onde,

$$b_E = b_1 + b_n \text{ (soma das bases externas: trapézios extremos)}$$

e

$$b_I = b_2 + \dots + b_{n-1} \text{ (soma das bases internas)}$$

Nestes casos, a precisão da área obtida é tanto maior quanto menor for o valor de ( $h$ ).

### 16.1.3. Método do Gabarito

Para uma avaliação rápida e eficiente de áreas de figuras quaisquer (irregulares ou não) costuma-se utilizar *gabaritos*.

Os gabaritos são normalmente construídos sobre superfícies plásticas transparentes, vidro ou papel.

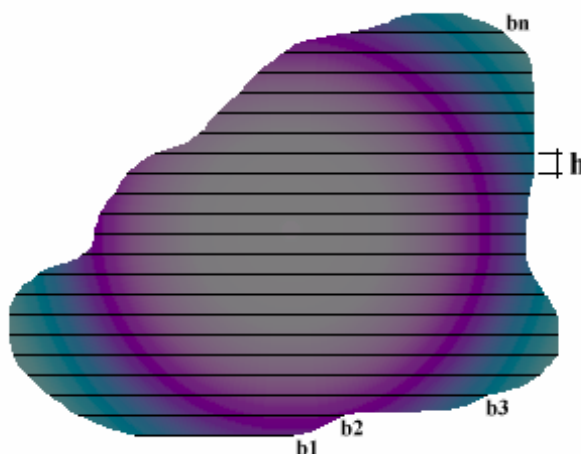
Para a avaliação de áreas, dois tipos de gabaritos podem ser utilizados. São eles:

#### 16.1.3.1. Por Faixas

Este é um gabarito que consiste de linhas horizontais traçadas a intervalos regulares, ou seja, espaçadas entre si de um mesmo valor gerando várias faixas consecutivas.

Assim, para a determinação da área de uma figura basta posicionar o gabarito sobre a mesma e, com o auxílio de uma mesa de luz e uma régua, medir o comprimento das linhas que interceptam os seus limites.

A figura a seguir ilustra os comprimentos medidos com régua referentes às linhas do gabarito que interceptaram o perímetro de uma determinada figura traçada sobre um mapa.



A área desta figura é função do espaçamento entre as linhas ( $h$ ) e do comprimento das mesmas ao interceptar os limites da figura ( $\Sigma b$ ).

Assim, para um número  $n$  de linhas medido:

$$S = h \cdot \sum_{i=1}^n b_i$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$

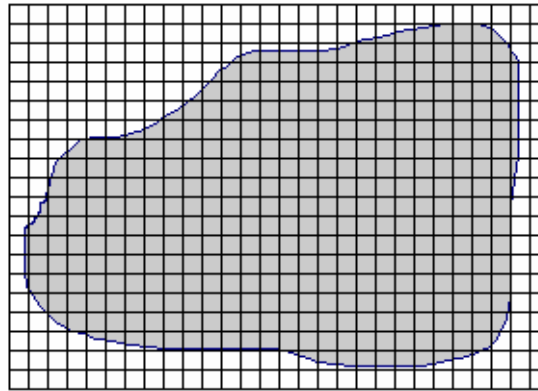
Como para o método anterior, a precisão da área obtida é tanto maior quanto menor for o valor de ( $h$ ).

### 16.1.3.2. Quadrículas

Este é um gabarito que consiste de linhas horizontais e verticais traçadas a intervalos regulares gerando um conjunto de quadrículas.

Assim como para o método anterior, a medida da área de uma figura é determinada posicionando-se o gabarito sobre a figura e, com o auxílio de uma mesa de luz, contar o número de quadrículas contidas pela mesma.

A figura a seguir ilustra o conjunto de quadrículas contidas em uma figura traçada sobre um mapa.



A área da figura é função da área da quadrícula base ( $s_Q$ ) e do número de quadrículas envolvidas ( $Q_n$ ).

$$S = s_Q \cdot Q_n$$

A precisão da área obtida por este método é tanto maior quanto menor for a área da quadrícula.

## 16.2. Método Mecânico ou Eletrônico

O método é dito mecânico ou eletrônico quando, para a avaliação da área, utilizam-se aparelhos mecânicos ou eletrônicos.

### 16.2.1. Planímetro Polar

O planímetro é um aparelho que consiste de duas *hastes articuladas*, um *pólo*, um *traçador* e um *tambor*.

Pela figura a seguir é possível visualizar que:

- Na extremidade da primeira haste encontra-se uma ponta seca presa a um peso, denominada *pólo*, utilizada para a fixação da própria haste.
- Na extremidade da segunda haste há uma lente cujo centro é marcado por um ponto ou cruzeta, denominada *traçador*.
- Na articulação das duas hastes encontra-se um *tambor* graduado conectado a um contador de voltas. A este conjunto denomina-se *integrante*.



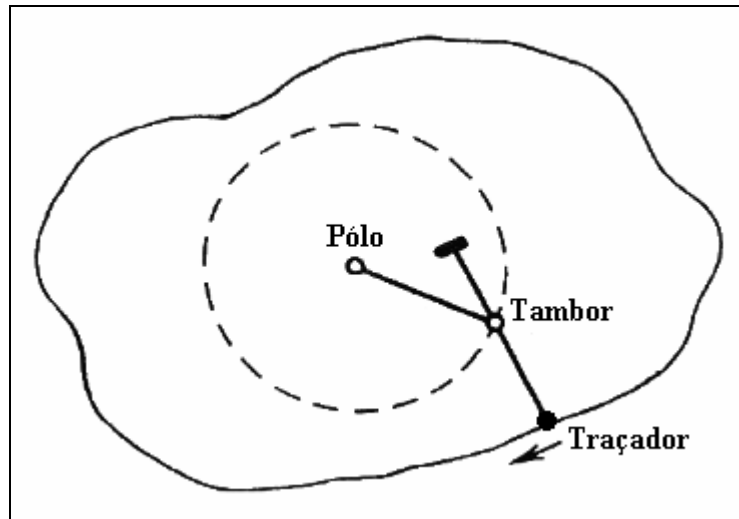
A diferença do aparelho mecânico para o eletrônico está justamente no *integrante*. Para o aparelho mecânico, há necessidade de ler o número de voltas que o aparelho deu ao percorrer o perímetro de uma determinada figura e, em função da escala da planta, calcular a área através de uma relação matemática.

O aparelho eletrônico, por sua vez, permite a entrada da escala da planta (através de digitação) e a escolha da unidade a ser trabalhada. Assim, ao terminar de percorrer a figura, este exhibe, automaticamente, o valor da área num visor de LCD (cristal líquido).

Como na figura a seguir (ESPARTEL, 1987), a utilização do planímetro se faz:

- ⇒ Sempre em superfície plana.
- ⇒ O *pólo* deve ser fixado dentro ou fora da figura a medir, dependendo do seu tamanho.
- ⇒ As *hastes* devem ser dispostas de maneira a formar um ângulo reto entre si, assim, é possível verificar se o *traçador* contornará a figura facilmente.
- ⇒ Escolhe-se um ponto de partida para as medições.
- ⇒ O aparelho deve ser zerado neste ponto.
- ⇒ Percorre-se o contorno da figura com o *traçador*, *no sentido horário*, voltando ao ponto de partida.
- ⇒ Faz-se a leitura do *tambor* (aparelho mecânico), ou, a leitura no visor (aparelho eletrônico).

- ⇒ Para a avaliação final da área, toma-se sempre a média de (no mínimo) três leituras com o planímetro.



### 16.2.2. Balança de Precisão

Este método avalia a área de uma figura em função do seu peso.

Para tanto, é necessário que se tenha à disposição uma balança de precisão (leitura entre 0,01 e 0,001g).

O método consiste em tomar como amostra uma figura cuja área seja conhecida e que esteja representada sobre papel cuja gramatura seja a mesma da figura que se quer avaliar.

Assim, para a avaliação da área de uma figura qualquer é preciso:

- Desenhar uma figura geométrica conhecida (quadrado, retângulo, triângulo, trapézio) em determinado tipo de papel.
- Recortar esta figura de área ( $s_A$ ) conhecida e pesá-la ( $p_A$ ).
- Transcrever os limites da figura a ser avaliada para o mesmo tipo de papel (utilizando mesa de luz).
- Recortar esta figura de área ( $S$ ) desconhecida e pesá-la ( $P$ ).

A área da figura que se quer avaliar poderá, então, ser facilmente obtida através de uma regra de três simples, ou, através da seguinte relação:

$$S = \frac{s_A}{p_A} \cdot P$$

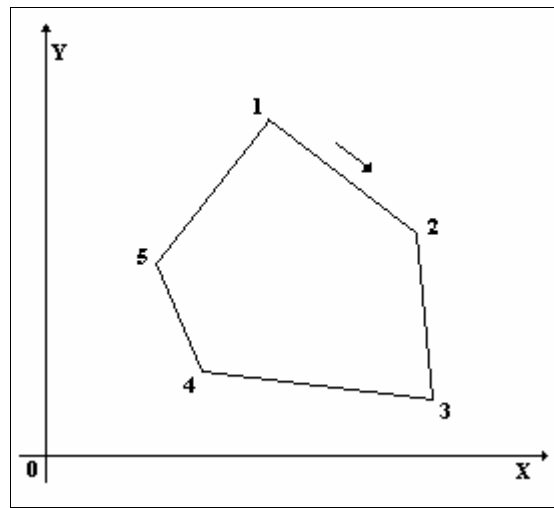
### 16.3. Método Analítico

Segundo DOMINGUES (1979) a área de uma superfície plana limitada por uma poligonal fechada pode ser determinada analiticamente quando se conhecem as coordenadas ortogonais dos seus vértices.

Dos métodos analíticos conhecidos, sem dúvida, o mais empregado para a avaliação de áreas de figuras planas é o de Gauss.

#### 16.3.1. Método de Gauss

Como na figura abaixo, consiste em, dadas as coordenadas (X,Y) de pontos de uma figura fechada qualquer, determinar a área desta figura seguindo os seguintes critérios:



- ⇒ As coordenadas do ponto de partida e de chegada devem ser as mesmas →  $X_1 = X_n$  e  $Y_1 = Y_n$ .
- ⇒ Percorrendo a poligonal no sentido horário, somam-se as ordenadas ( $\Sigma Y$ ) dos pontos, aos pares, ou seja, de duas em duas.
- ⇒ Na seqüência, porém em sentido contrário, subtraem-se as abcissas ( $\Delta X$ ) dos pontos, também aos pares.
- ⇒ Os resultados de cada soma e subtração, para um mesmo ponto, são multiplicados entre si ( $\Sigma Y \cdot \Delta X$ ).
- ⇒ Somam-se, algebricamente, todos os produtos encontrados ( $\Sigma(\Sigma Y \cdot \Delta X)$ ).
- ⇒ A área final é dada pela seguinte relação:

$$2S = \sum_1^n (Y_{i+1} + Y_i)(X_{i+1} - X_i)$$

## 16.4. Exercícios

1. Determine a área total de uma figura qualquer, em  $\text{cm}^2$ , sabendo-se que esta foi dividida em duas figuras geométricas conhecidas. São elas:

*trapézio*  $\rightarrow$  base maior(b) = 23,5cm; base menor(a) = 15,7cm; altura(h) = 5,3cm

*triângulo qualquer*  $\rightarrow$  lado(a) = 6,6cm; lado(b) = 5,3cm; lado(c) = 8,3cm

2. Determine a área de uma figura, pelo método de Gauss, sabendo que a mesma é definida por seis pontos cujas coordenadas são:

Ponto	X	Y
1	100mm	100mm
2	223mm	167mm
3	304mm	017mm
4	128mm	-79mm
5	002mm	-56mm
6	-41mm	023mm

Considerando que esta figura está delimitada sobre uma planta na escala 1:2.000, determine o valor da sua área real ( $\text{m}^2$ ).

3. Qual seria o valor da área de uma figura de 1,83g de peso sabendo-se que uma amostra de 10cm x 15cm, no mesmo tipo de papel, tem peso igual a 0,76g?

4. Calcule a área de uma poligonal triangular a partir dos dados relacionados abaixo.

$$DH(AB) = 100,320\text{m}$$

$$H_z(CAB) = 66^\circ 10'$$

$$H_z(CBA) = 41^\circ 42'$$



## 18. Fotogrametria

### 18.1. Definição de Fotogrametria

a) *Ciência e arte* de obter medidas dignas de confiança utilizando-se fotografias (American Society of Photogrammetry).

b) *Ciência, tecnologia e arte* de obter informações seguras acerca de objetos físicos e do meio, através de processos de registro, medições e interpretações de imagens fotográficas e padrões registrados de energia eletromagnética (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing).

### 18.2. Objetivo

Realizar medições sobre fotografias para a elaboração de mapas topográficos/geodésicos planialtimétricos.

### 18.3. Divisão

a) **Métrica**: realiza medidas precisas e computações para a determinação da *forma* e *tamanho* dos objetos fotografados.

b) **Interpretativa**: lida com o *reconhecimento* e a *identificação* destes mesmos objetos. Dentre elas, podemos encontrar:

b.1) **Sensoriamento Remoto**: ciência cujos aparelhos são capazes de captar e registrar características das superfícies, sub-superfícies e de corpos sobre as superfícies, abrangendo, em seu mais alto grau, instrumentos que não requerem contacto físico com estes corpos para a coleta das informações desejadas. Capta imagens através de câmaras multiespectrais, sensores infravermelho, scanners térmicos, radares, microondas ...

b.2) **Fotointerpretação**: é o estudo sistemático de imagens fotográficas para propósitos de *identificação de objetos e julgamento da sua significância*. Sua finalidade é o levantamento de mapas temáticos.

Tanto o *Sensoriamento Remoto* como a *Fotogrametria Métrica* estão sendo largamente empregados como ferramenta no planejamento e gerenciamento de projetos que envolvem o meio ambiente e/ou recursos naturais. Ambos são utilizados como base de dados gráfica para projetos de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) ou Geoprocessamento.

### 18.4. História

Embora os princípios da projeção ótica de imagens tivessem surgido 350 a.C., com Aristóteles, a Fotogrametria só foi empregada pela primeira vez em 1849, pelo exército francês e, portanto, logo após o surgimento do primeiro processo fotográfico prático, em 1839.

### 18.5. Aplicações

As principais são:

#### a)Elaboração de

- ⇨mapas topográficos (planialtimétricos)
- ⇨mapas temáticos (solos, vegetação, relevo)
- ⇨fotoíndices e mosaicos

Segundo a *finalidade* a que os mapas se destinam, define-se:

- ⇨a escala da fotografia
- ⇨o tipo de câmara a ser utilizada
- ⇨o tipo de filme
- ⇨a quantidade de pontos de apoio etc.

#### b)Projetos

- ⇨rodoviários
- ⇨ferroviários
- ⇨de obras de artes especiais como: pontes, bueiros, encanamentos, oleodutos, linhas de transmissão, barragens...
- ⇨de controle à erosão
- ⇨de controle às cheias
- ⇨de melhoramento de rios e portos
- ⇨de planejamento e desenvolvimento urbano e rural
- ⇨de restauração/conservação de patrimônios
- ⇨ambientais

#### c)Estudos

- ⇨pedológicos (ou de solos)
- ⇨florestais
- ⇨geológicos
- ⇨climáticos
- ⇨médicos e cirúrgicos (através de fotografias de raio X)

#### d)Tributação e cadastramento

- ⇨urbano

⇒rural

## 19. Classificação

Se faz segundo o *tipo e posição espacial da câmara* e segundo a sua *finalidade*.

### a) Fotogrametria Terrestre

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações fixas* sobre a superfície do terreno, com o *eixo ótico* da câmara na *horizontal*. (Fotografias horizontais)

- **Topográfica:** utilizada no mapeamento topográfico de regiões de difícil acesso.
- **Não Topográfica:** utilizada em atividades policiais, na solução de crimes e de problemas de tráfego (acidentes de trânsito); na medicina, em tratamentos contra o câncer; na indústria, na construção de barcos ou no estudo das deformações de um determinado produto; etc..

### b) Fotogrametria Aérea

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações móveis* no espaço (avião ou balão), com o *eixo ótico* da câmara na *vertical* (ou quase).

### c) Fotogrametria Espacial

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações móveis* fora da atmosfera da Terra (extraterrestres) e das medições feitas com *câmaras fixas* (também chamadas *câmaras balísticas*) na superfície da Terra e/ou da Lua.

Quando a Fotogrametria (aérea, terrestre ou espacial) utiliza-se do computador para a elaboração de mapas, ou seja, todo o processo de transformação da imagem fotográfica em mapa é realizado matematicamente pelo computador, diz-se que aquela é *Numérica*.

Atualmente, além do processo de transformação da imagem fotográfica em mapa ser realizado pelo computador, o produto que gerou o mapa, no caso a fotografia, e o próprio mapa gerado, podem estar armazenados em meio magnético na forma de imagem. Neste caso, a Fotogrametria passa a ser denominada *Digital*.

## 20. Problemas da Fotogrametria

Estão relacionados com:

- a) As **condições de obtenção e preservação** dos negativos e seus produtos.

- ⇒ posição do avião (linha e altura);
- ⇒ distorção das lentes e imperfeições óticas;
- ⇒ estabilidade da câmara (inclinação e choques);
- ⇒ invariabilidade do filme (material);
- ⇒ condições atmosféricas;
- ⇒ processos e produtos da revelação.

b) A **transferência das informações** contidas nos negativos (originais) para o papel (carta ou mapa).

- ⇒ equipamentos;
- ⇒ operadores.

c) A **superfície terrestre**, que não é plana, horizontal e lisa.

- ⇒ modelo matemático utilizado (elipsóide);
- ⇒ a imagem fotográfica, distorcida, não representa a realidade.

## 21. Câmaras Fotogramétricas

### 21.1. Considerações Gerais

Toda câmara fotográfica constitui uma imitação grosseira do olho humano e, como tal, está sujeita a limitações quando da obtenção de informações, registrando apenas a faixa visível do espectro eletromagnético.

A concepção básica de qualquer câmara é a mesma.

Trata-se simplesmente de uma caixa com uma de suas faces internas sensibilizada quimicamente, tendo, na face oposta a esta, um pequeno orifício. Esta abertura é feita de forma a permitir que a luz refletida/emitida por uma cena entre na caixa e atinja a face sensível (filme), registrando assim a imagem.

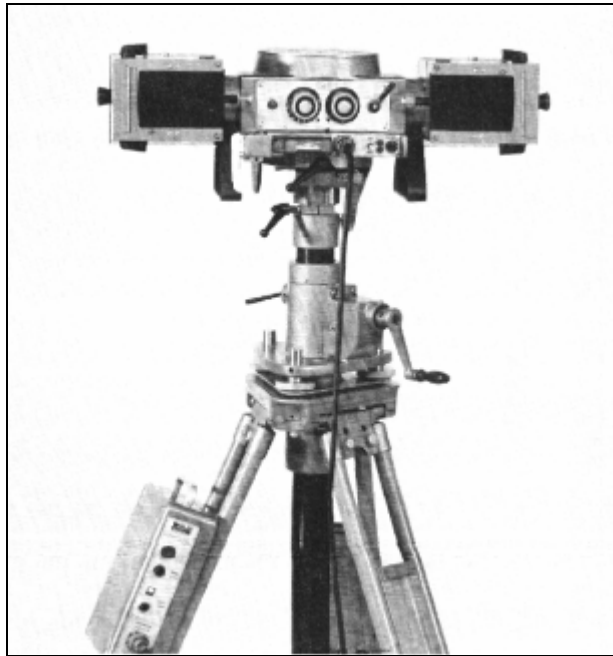
Existem dois tipos de câmaras fotogramétricas: a terrestre e a aérea.

### 21.2. Câmara Terrestre

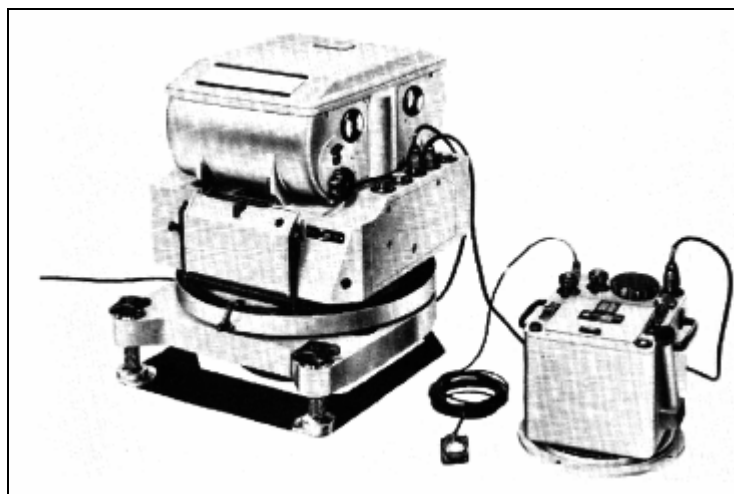
Características:

- ⇒ permanece fixa durante o tempo de exposição;
- ⇒ o objeto fotografado geralmente está fixo;
- ⇒ o tempo de exposição do filme é relativamente longo e só diminui quando o objeto a ser fotografado estiver em movimento;
- ⇒ utiliza emulsão de baixa sensibilidade e de granulação fina;

- ⇒ o formato do filme é pequeno;
- ⇒ seu funcionamento pode ser manual ou automático.



### 21.3. Câmara Aérea



Características:

- ⇒ está em movimento (velocidade constante) durante o tempo de exposição;
- ⇒ o objeto fotografado pode ser fixo ou móvel;
- ⇒ o tempo de exposição é bastante curto;
- ⇒ o obturador é de altíssima eficiência (95%);
- ⇒ utiliza emulsão de altíssima sensibilidade;

- ⇒ apresenta grande capacidade de armazenamento de filme;
- ⇒ o formato do filme é grande;
- ⇒ o filme é planejado durante o tempo de exposição;
- ⇒ seu funcionamento é todo automático.

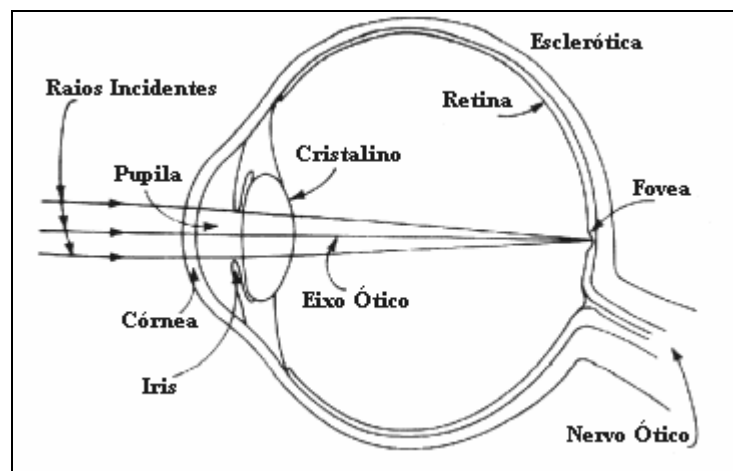
#### 21.4. Comparação entre uma Câmara e o Olho Humano

##### Câmara:

- ⇒ imitação grosseira do olho humano;
- ⇒ registra a informação luminosa através do filme;
- ⇒ o registro é feito num pequeno intervalo de tempo, quase que instantaneamente (1/2000 s);
- ⇒ o raio luminoso passa por uma proteção que é o filtro;
- ⇒ o diâmetro do feixe luminoso, conforme sua intensidade, é controlado pelo diafragma;
- ⇒ para a formação da imagem, utiliza-se de um sistema de lentes convergente;
- ⇒ todo mecanismo mencionado acima está envolvido por uma *armação*.

##### Olho Humano:

- ⇒ câmara fotográfica perfeita;
- ⇒ registra a informação luminosa através da retina (cujo ponto principal é a *fovea*);
- ⇒ o registro é feito continuamente e ao mesmo tempo;
- ⇒ a interpretação da informação, feita pelo cérebro, é instantânea;
- ⇒ o raio luminoso passa por uma proteção que é a córnea;
- ⇒ o diâmetro do feixe luminoso, conforme sua intensidade, é controlado pela membrana íris;
- ⇒ para a formação da imagem, utiliza-se do cristalino;
- ⇒ está envolvido pela esclerótica.

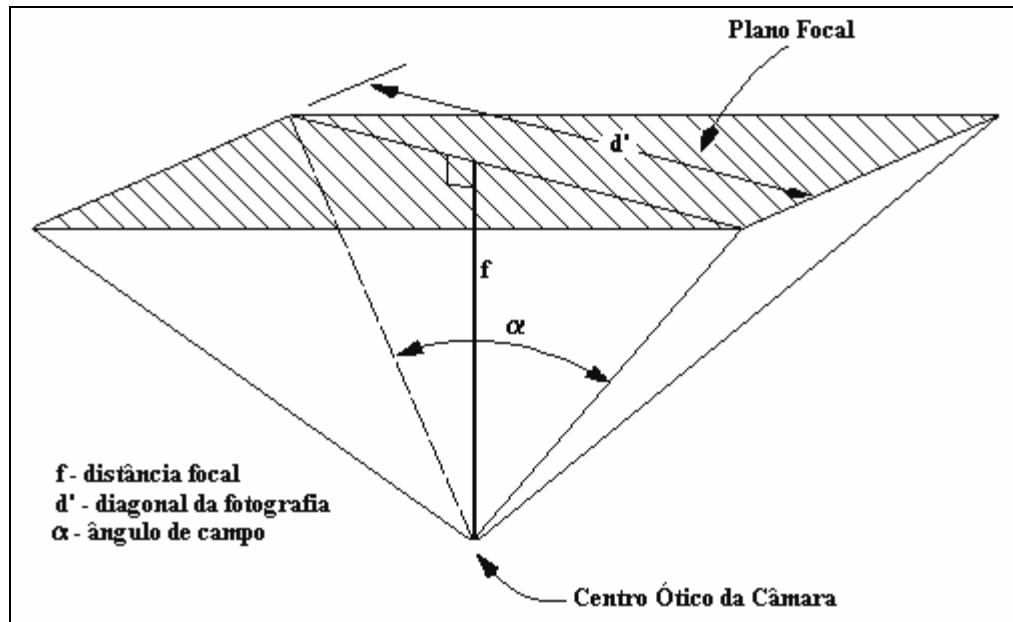


#### 22. Câmaras Aéreas

As câmaras aéreas, já mencionadas anteriormente, estão classificadas em relação:

### 22.1. Ângulo de Campo

Ângulo de Campo ( $\alpha$ ) é o ângulo de abrangência da câmara.



Tipos de câmaras:

a) **Pequeno:**  $\alpha < 50^\circ$

Obtém fotografias de ângulo pequeno.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos de reconhecimento com fins militares.
- ⇨ Vôos muito altos, para a confecção de mapas de áreas urbanas densas.
- ⇨ Confecção de ortofotomapas e mosaicos de áreas urbanas com construções muito altas.

b) **Normal:**  $50^\circ \leq \alpha < 75^\circ$

Obtém fotografias de ângulo normal.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos cartográficos (confecção de mapas básicos).

- ⇒ Confecção de mosaicos e ortofotomapas de áreas urbanas não muito densas.
- ⇒ Mapeamento de regiões com muita cobertura vegetal.

**c) Grande-angular:**  $75^\circ \leq \alpha < 100^\circ$

Obtém fotografias de ângulo grande.

Empregada em:

- ⇒ Trabalhos cartográficos com maior economia.
- ⇒ Serviços de aerotriangulação.
- ⇒ Confecção de mapas topográficos.
- ⇒ Confecção de mapas em escalas grandes.
- ⇒ Medições fotográficas.

**d) Super-grande-angular:**  $\alpha \geq 100^\circ$

Obtém fotografias de ângulo muito grande.

Empregada em:

- ⇒ Trabalhos cartográficos com a vantagem de uma cobertura fotográfica muito maior.

## 22.2. Distância Focal

**a) Pequena:**  $55 \leq f \leq 100\text{mm}$ .

Associada a uma câmara super-grande-angular.

Emprego: cartografia convencional.

**b) Normal:**  $152 \leq f \leq 210\text{mm}$ .

Associada a uma câmara grande-angular ou normal.

Emprego: cartografia convencional.

**c) Grande:**  $305 \leq f \leq 610\text{mm}$ .

Associada a uma câmara de ângulo pequeno.

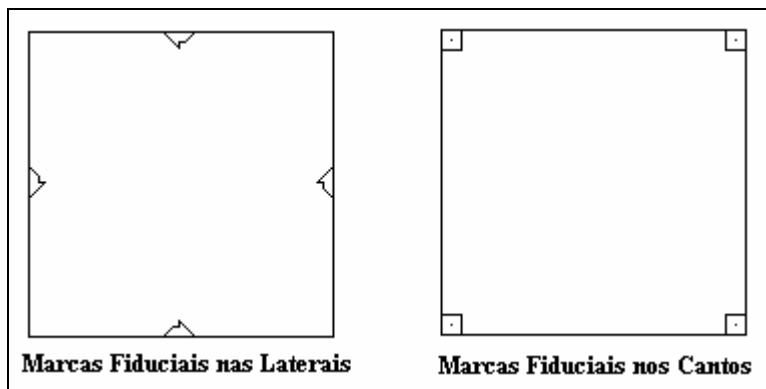
Emprego: militar (trabalhos de reconhecimento).



### 22.3. Formato

#### a) Com Formato:

- ⇒ os filmes são marcados de modo a permanecerem fixos durante o tempo de exposição;
- ⇒ estas marcas podem ter: 18x18cm, 12x18cm, 6x9cm e 23x23cm, ou ainda, 23x46cm (formato especial).



#### b) Sem Formato:

São de dois tipos:

##### b.1) Faixa Contínua:

- ⇒ a passagem de luz é contínua e é feita através de uma fenda;
- ⇒ o avanço do filme é sincronizado com a velocidade da imagem.

Obtém fotografias de faixa contínua.

##### b.2) Panorâmica:

- ⇒ utiliza um sistema de varredura lateral (abertura de até 180°) que é perpendicular à linha do vôo;
- ⇒ utiliza-se de mecanismos óticos giratórios para a varredura.

Obtém fotografias panorâmicas.

### 22.4. Inclinação do Eixo Ótico

#### a) Verticais:

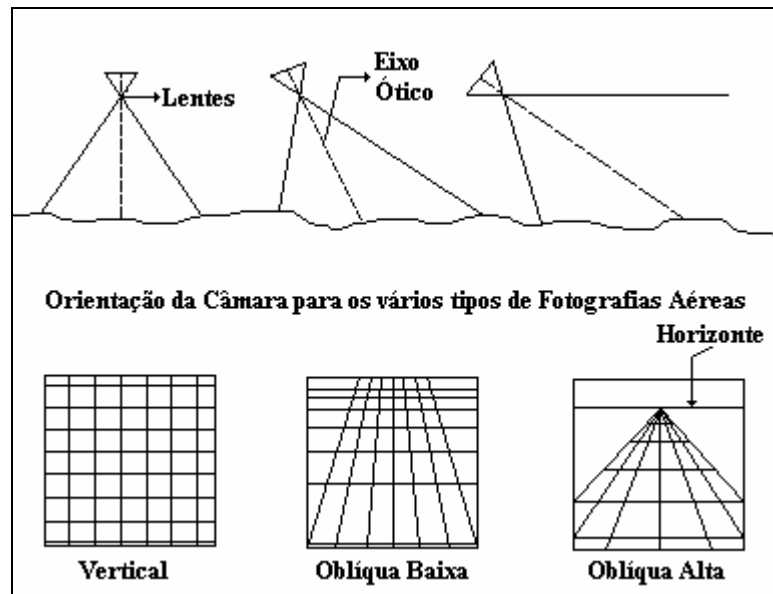
⇒o eixo ótico da câmara pode estar inclinado entre  $0^\circ$  e  $3^\circ$ .

Obtém fotografias verticais.

### b)Oblíquas:

⇒o eixo ótico da câmara possui uma inclinação entre  $3^\circ$  e  $90^\circ$ .

Obtém fotografias oblíquas **Altas** (na qual aparece o horizonte) e fotografias oblíquas **Baixas** (na qual não aparece o horizonte).



## 22.5. Uso ou Finalidade

### a)Cartográfica ou Métrica:

⇒seus elementos de orientação interna são perfeitamente conhecidos e de alta precisão.

Obtém fotografias cartográficas.

### b)Reconhecimento:

⇒seus elementos de orientação interna não são conhecidos com exatidão.

Obtém fotografias de reconhecimento.

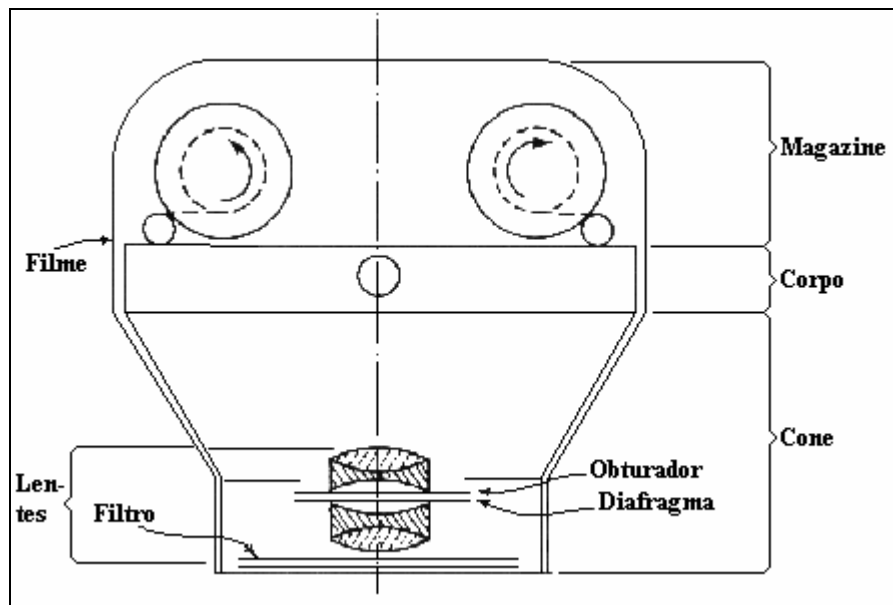
### c)Especial:

- ⇒ são câmaras modificadas para a obtenção de fotografias especiais. Ex.: fotografias **Trimetrogon**, **Multiespectrais**, **Convergentes Simétricas e Assimétricas**, e **Transversais**.

### 23. Principais Elementos da Câmara Métrica Aérea

Das câmaras métricas são exatamente conhecidos os valores: da *distância focal*, da *posição das marcas fiduciais*, do *eixo ótico*, do *plano focal* e do *formato*.

Os elementos principais desta câmara são:



#### 23.1. Corpo

- ⇒ pode ser parte integrante do cone ou ser independente;
- ⇒ contém um mecanismo-guia (manual ou automático) que fornece e controla a energia destinada a operar a câmara;
- ⇒ este mecanismo obedece a um ciclo que envolve, entre o término de uma exposição e o início de outra os seguintes passos:

- 1º. Interromper o sistema de vácuo (liberar o filme)
- 2º. Avançar filme
- 3º. Acionar o sistema de vácuo (planificar o filme)
- 4º. Fazer nova exposição (acionar o obturador)

#### 23.2. Magazine

- ⇒ compartimento fechado onde estão acondicionados os rolos de filme (expostos e não expostos) e também os mecanismos de planificação e avanço do mesmo;
- ⇒ o filme pode ser planificado por: tensão, peso, pressão e vácuo;
- ⇒ os filmes podem ser de 120m e  $\varnothing = 0,13\text{mm}$  ou de 150m e  $\varnothing = 0,10\text{mm}$ .

### 23.3. Cone

- ⇒ compartimento hermeticamente fechado que suporta:

#### a) Objetiva ou Sistema de Lentes

Lentes: estabelecem a convergência dos raios luminosos procedentes de um número infinito de pontos objetivos da superfície terrestre, projetando-os sobre o plano focal.

#### Algumas definições básicas:

• *Eixo Principal ou Eixo Ótico*: a reta determinada pelos centros de curvatura das superfícies esféricas que formam as faces da lente. Este passa pelo centro da fotografia ou ponto principal (**PP**).

• *Centro Ótico*: o ponto (no sistema de lentes) onde os raios incidem e não sofrem desvios (**H**).

• *Ponto Focal*: ponto de convergência dos raios incidentes paralelos ao eixo ótico e situado sobre este eixo. Todos os raios se cruzam neste ponto, também chamado de *Foco* (**F**).

• *Plano Focal*: plano perpendicular ao eixo ótico e que passa pelo ponto focal. Também chamado de *plano imagem* ou *plano de foco infinito*.

• *Distância Focal*: distância entre o ponto focal (no plano focal) e o centro ótico (do sistema de lentes) (**f**).

#### Fórmula das Lentes

A lei fundamental das lentes, aplicada a objetos situados a uma distância finita das lentes, nos diz que: "A recíproca da distância focal é igual à soma das recíprocas das distâncias entre a imagem e o objeto".

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

onde

**i** é a distância imagem (das lentes ao plano focal)

o é a distância objeto (das lentes ao objeto)

Para as câmaras métricas, o objeto fotografado se encontra praticamente no infinito e, em decorrência disso,  $1/o$  tende a um valor nulo. Portanto, seguindo a lei,  $i = f$ .

Desta forma, por estar o objeto fotografado a uma distância muito grande das lentes, consideram-se os raios de luz por ele emitidos/refletidos como praticamente paralelos.

Conclusão: a) O plano de exposição do filme (onde o mesmo é planificado) coincide com o plano focal das lentes da objetiva, ou seja, as imagens se formam neste plano focal; b) Quanto mais distante o objeto da câmara, mais próximo das lentes estará o ponto focal.

### Qualidade das Lentes

As lentes, por não serem perfeitas, produzem uma imagem imprecisa. Estes defeitos da imagem recebem o nome de *aberrações*.

A combinação de lentes e de alguns elementos adicionais podem minimizar estes defeitos. Entre eles:

⇒ aberração esférica

causa: polimento das lentes

⇒ coma

causa: polimento das lentes

⇒ astigmatismo ou curvatura de campo

causa: polimento das lentes

⇒ aberração cromática

causa: diferentes características refrativas das várias cores que compõem a luz branca.

⇒ distorção radial

causa: polimento das lentes

⇒ distorção tangencial

causa: não centragem das lentes

As quatro primeiras aberrações prejudicam a nitidez da imagem fotográfica (círculo de confusão), enquanto que as distorções prejudicam a geometria (posição) dos objetos na imagem.

O valor da distorção deve ser corrigido pois varia de 2 a 50 micras, dependendo da câmara utilizada.

Exemplos de objetivas usadas em câmaras métricas:

1)  $f = 88\text{mm}$ , distorção de 7 micras.

- 2)f = 152mm, distorção de 2 micras.
- 3)f = 210mm, distorção de 4 micras.
- 4)f = 305mm, distorção de 3 micras.
- 5)f = 610mm, distorção de 50 micras.

O poder de resolução das lentes é um aspecto importante e é definido como a medida da capacidade da lente em separar detalhes pequenos e próximos uns dos outros ou objetos de maior ou menor nitidez.

Diafragma: é o elemento que controla a quantidade de luz que atinge o filme durante o tempo de exposição, isto é, determina a abertura física da lente permitindo maior ou menor iluminação da imagem.

A iluminação da imagem está relacionada à distância focal e à abertura (circular) do diafragma.

É proporcional à quantidade de luz que passa através da abertura das lentes (diafragma) e à área de abertura ( $\pi d^2/4$ ) e, portanto, proporcional a  $d^2$ .

A iluminação da imagem também é afetada pela distância imagem na seguinte proporção:

$$1/i^2 = \text{iluminação}$$

Para o objeto situado no infinito,  $i = f$ , portanto:

$$1/f^2 = \text{iluminação}$$

De onde deduz-se que:

$$d^2/f^2 = \text{diâmetro do diafragma} / \text{distância focal} = \text{iluminação}$$

$$d/f = \text{fator de iluminação ou brilho}$$

$$f/d = \text{índice do diafragma ou "f-stop"}$$

Os valores mais comuns de "f-stop" são: 4,0; 5,6; 8,0 e 11,3.

Quanto menor for o valor de "f-stop", maior será a abertura do diafragma e, conseqüentemente, maior será a iluminação da imagem.

Obturador: controla o tempo de exposição da imagem, ou seja, o tempo durante o qual a luz passa através da lente. Medido em fração de segundos, deve variar em relação à velocidade do avião, à altura de vôo e à iluminação da imagem.

Os intervalos de um obturador, quanto ao tempo de exposição, variam de 1/100 a 1/2000 do segundo.

Nenhum obturador possui, na prática, 100% de rendimento. Este rendimento é influenciado pelos seguintes fatores:

- ⇨ Diâmetro de abertura
- ⇨ Ajuste da velocidade (abertura e fechamento)
- ⇨ Modelo e posição do obturador

Assim, a EXPOSIÇÃO TOTAL da imagem é dada pela relação:

área diafragma x tempo exposição

$$\frac{pd^2}{4} = t$$

**Filtros:** permitem reduzir os efeitos da bruma atmosférica (poeira), fazem a distribuição homogênea da luz, protegem a lente contra partículas em suspensão durante a decolagem e o pouso do avião e permitem a absorção de cores para evidenciar contrastes entre os objetos fotografados.

Os filtros, assim como os objetos, absorvem algumas cores da luz, deixando passar outras.

O tempo de exposição da imagem deve ser maior quando se utilizam filtros.

A tabela abaixo indica o tipo e a finalidade dos filtros empregados em aerofotogrametria.

<b>Filtro</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Vermelho</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o azul, o vermelho e o ultravioleta</li> <li>⇨ clareia objetos vermelhos e amarelos, escurece o azul da água e do céu, elimina a névoa</li> </ul>
<b>Verde</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o azul, o vermelho e o ultravioleta</li> <li>⇨ escurece o céu e clareia a vegetação</li> </ul>
<b>Azul</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o vermelho, o amarelo, o verde e o ultravioleta</li> <li>⇨ clareia os objetos azuis e acentua a névoa e a bruma</li> </ul>
<b>Amarelo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o azul e o ultravioleta</li> <li>⇨ escurece o azul do céu e destaca as nuvens.</li> </ul>

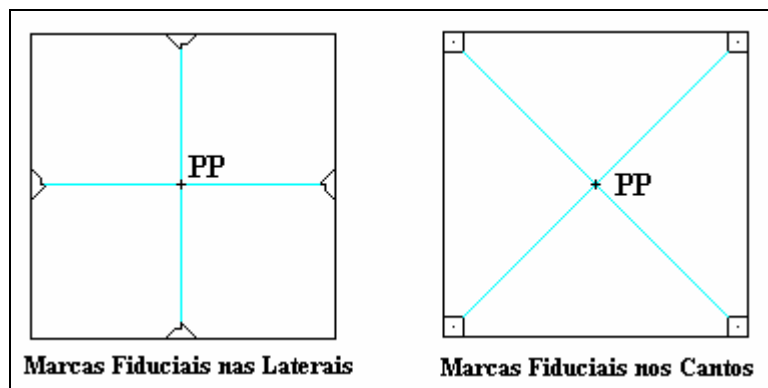
<b>Ciano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o vermelho</li> <li>⇨ resalta objetos azuis e verdes</li> </ul>
<b>Magenta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o verde</li> <li>⇨ resalta objetos vermelhos e azuis</li> </ul>
<b>Polarizador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ elimina reflexos e brilhos causados pelo ultravioleta e pelo azul</li> <li>⇨ escurece o céu, clareia as nuvens e elimina o brilho das superfícies aquáticas</li> </ul>

### b)Cone Interno

Sua função é servir de suporte à objetiva (sistema de lentes) e ao marco (plano focal). O material com que é fabricado possui um coeficiente de dilatação térmica bem pequeno a fim de manter as lentes, seu eixo óptico e o marco em posição rígida (calibrada).

O marco, além de definir o plano focal, contém outros elementos que ficam registrados na imagem do negativo durante a exposição. São eles:

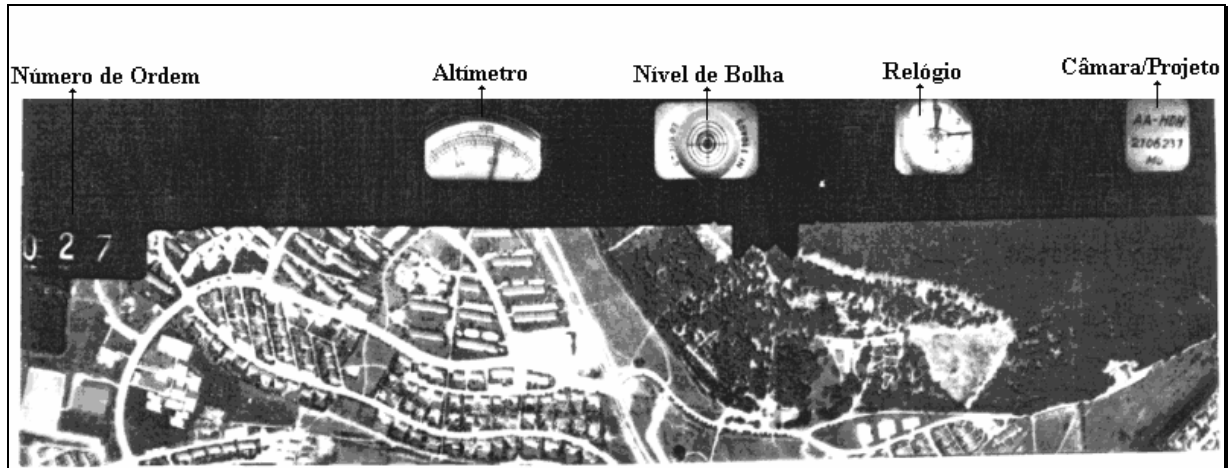
- ⇨ altímetro: registra a altitude de vôo num intervalo de 0 a 9000 metros.
- ⇨ relógio: registra o instante da tomada da fotografia. Utilizado para determinar a altura de objetos verticais (árvores, edifícios) pelo método da altura do sol e outros.
- ⇨ nível de bolha: registra a inclinação da câmara no instante da tomada da fotografia. A inclinação registrada pode variar até 5°.
- ⇨ identificação da câmara: registra a distância focal, a marca, o tipo e o número de série da câmara utilizada. Serve para controle dos intervalos de calibração.
- ⇨ marcas fiduciais: normalmente quatro, definem o formato (tamanho) da imagem. Podem estar localizadas no centro das bordas do plano focal ou nos cantos deste. A interseção destas marcas define o ponto principal da fotografia (**PP**).





⇨ número de ordem das fotografias: registra um número seqüencial em cada fotografia, para controle posterior das faixas e blocos.

⇨ indicador do sistema a vácuo: registra uma letra na borda da fotografia se o sistema a vácuo da câmara estiver funcionando perfeitamente, caso contrário, não registra nada.



#### 23.4. Acessórios

⇨ servem para garantir o correto posicionamento da câmara e facilitar a navegação aérea. Os principais são:

##### a) Sistema de Suspensão

Também chamado de "berço" da câmara, é o dispositivo sobre o qual a câmara é apoiada, mantendo os seus graus de liberdade de rotação no espaço, minimizando os efeitos da vibração do avião e conservando o eixo ótico o mais vertical possível.

Quanto ao apoio da câmara sobre o berço, temos:

Montagem fixa: a câmara é fixada no avião através de marcos metálicos e isolada com borracha ou esponja para protegê-la das vibrações.

Montagem azimutal: a câmara é fixada como para a montagem anterior, adicionando-se ao conjunto um anel que irá permitir uma rotação da mesma em torno do próprio eixo, de  $\pm 30^\circ$ .

Montagem sobre plataforma estabilizada: permite que sempre haja a coincidência do eixo ótico da câmara com a direção vertical (vertical do lugar).

##### b) Sistema de Controle

Permite controlar todos os fatores que afetam a tomada das fotografias aéreas, entre eles:

- ⇨ o funcionamento da câmara;
- ⇨ o sistema de vácuo;
- ⇨ o avanço do filme;
- ⇨ a quantidade de filme usado;
- ⇨ o tempo de exposição;
- ⇨ a abertura do diafragma;
- ⇨ a iluminação e as condições atmosféricas.

### c) Instrumentos Auxiliares de Orientação

Os principais são:

Giroscópio: mantém a câmara na posição vertical dentro de certos limites.

Apr: ou "analytical profile recorder", é um instrumento baseado na emissão de ondas eletromagnéticas que tocam o solo e são refletidas para o aparelho situado a bordo do avião. O intervalo de tempo decorrido desde a emissão até o retorno da onda é registrado e a altura do avião determinada com uma precisão de  $\pm 3$  metros.

Intervalômetro: controla o recobrimento longitudinal das fotografias entre estações de exposição sucessivas com base na velocidade do avião e na escala.

Visor: é uma janela através da qual o operador da câmara observa a região que está sendo fotografada e, entre outras coisas, consegue identificar se o vôo está sendo realizado como planejado.

### 23.5. Relação entre os Elementos da Câmara

O ângulo de campo ( $\alpha$ ) é dado pela seguinte relação:

$$\alpha = 2 \cdot \text{arc. tg.} (d'/2 f)$$

onde

$d'$  = diagonal da fotografia

(não confundir com  $-d-$  diâmetro do diafragma)

Para uma fotografia quadrada, teremos:

$$d' = l\sqrt{2}$$

Para uma fotografia retangular, teremos:

$$d' = \sqrt{b^2 + h^2}$$

O rendimento de um obturador obedece a seguinte relação:

$$R_t = \frac{t_2}{t_0} \quad \text{e} \quad R_e = \frac{t_e}{t_0}$$

onde

$R_t$  = rendimento teórico

$R_e$  = rendimento efetivo ou Eficiência

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3$$

onde

$t_0$  = tempo total de exposição

$t_e$  = tempo decorrido desde o início da abertura até o final

do fechamento do obturador

$t_1$  = tempo que o obturador leva para abrir-se

$t_2$  = tempo que o obturador permanece aberto

$t_3$  = tempo que o obturador leva para fechar-se

### 23.6. Calibração da Câmara Aérea

Quando é fabricada e antes de ser posta em uso a câmara deve passar por um processo de calibração.

A calibração permite a determinação precisa de certas constantes da câmara que servirão para orientar os aparelhos que irão restituir (transformar em mapa) a imagem fotografada.

Os métodos utilizados na calibração de câmaras aéreas são:

1) De laboratório

2) De campo

3) Estelar

### 23.7. Exercícios

1. Qual é a distância imagem de um objeto situado a 50m de uma câmara com distância focal de 75mm?

2. Qual é a distância imagem de um objeto situado a 5000m de uma câmara com distância focal de 75mm?

3. Considerando-se uma câmara aérea de distância focal igual a 152mm com um formato de negativo de 23cmx23cm, calcular a abertura do ângulo de campo e, em função deste, determinar qual o tipo de câmara utilizado.

## 24. Câmara Terrestre

As câmaras terrestres podem ser de dois tipos:

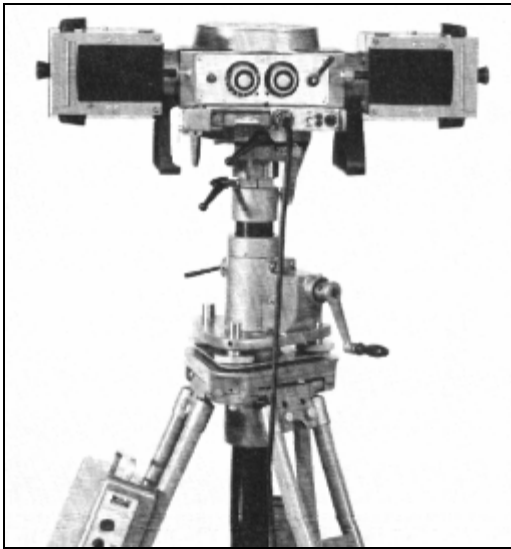
a) *Métricas*: permitem determinar a forma e a posição de um objeto com precisão.

b) *Não métricas*: obtêm uma imagem fotográfica de qualidade, não dando importância à precisão geométrica dos objetos fotografados.

### Câmara Métrica

Pode ser de dois tipos:

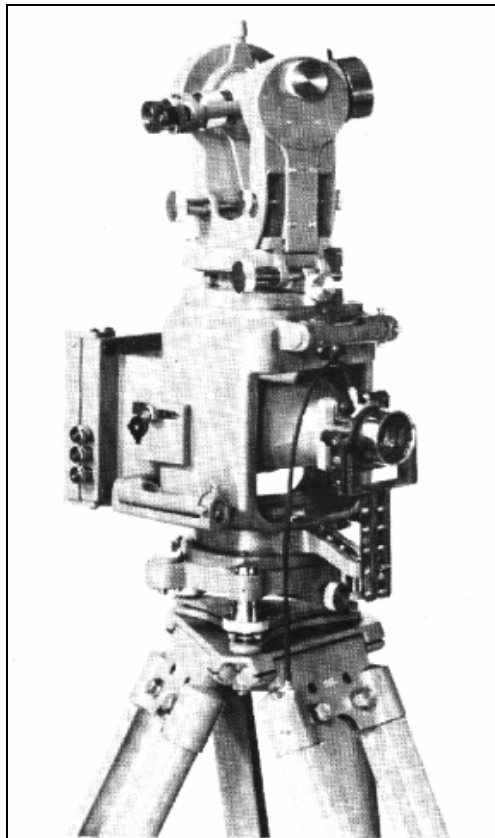
a) *Estereométrica*: consiste de duas câmaras métricas acopladas e fixadas sobre uma base rígida de 0,4; 1,0 ou 1,2m de comprimento.



Destas câmaras pode-se determinar com precisão:

- ⇨ as marcas fiduciais e o ponto principal das fotos;
- ⇨ a distância focal;
- ⇨ as coordenadas do ponto principal das fotos;
- ⇨ a distorção das lentes.

b) *Fototeodolito*: nome dado ao conjunto teodolito & câmara.



## 25. Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas, antes de mais nada, são um sistema de informações. Estas informações são captadas pelas câmaras fotográficas e servem de base para a determinação da localização de objetos no espaço, valendo-se da observação estereoscópica. Estas informações são passíveis, ainda, de reconhecimento e interpretação. Para tanto, é necessário que se conheça alguns aspectos importantes. São eles:

### 25.1. Características da Fotointerpretação

Os problemas detectados durante a interpretação das informações contidas nas fotografias são os seguintes:

a) *Geométricos*: devido à forma e ao tamanho dos objetos.

b) *Físicos*: devido à propagação da luz nos diversos meios.

c) *Fisiológicos*: relativos à visão binocular (acuidade) do observador.

d) *Psicológicos*: relativos à percepção imediata, pelo observador, do objeto analisado de forma ordenada e lógica.

A fotografia registra a imagem do terreno em relação aos aspectos fisiográficos, ou seja, topografia, vegetação e drenagem, que aparecem diferenciados na forma, no tamanho, na tonalidade (fotos preto/branco) ou na cor (fotos coloridas), na sombra, na textura ou no padrão e, nas adjacências.

- Forma: permite distinguir, por exemplo: estrada de ferro de uma rodovia ou de um rio.
- Tamanho: permite distinguir uma residência de um edifício ou de uma indústria, embora a forma do objeto também tenha de ser levada em consideração.
- Tonalidade: permite distinguir uma cultura de trigo de uma cultura de arroz.
- Textura: permite distinguir, *pelo aspecto e tonalidade de grupos de objetos iguais*, entre campo ou cultura, mata/floresta ou reflorestamento.
- Padrão: permite distinguir, por exemplo, um pomar de um cafezal.
- Sombra: permite distinguir uma igreja de uma residência ou edifício, uma ponte de um viaduto, etc.
- Adjacências: permite concluir o significado de objetos em função da existência ou não de outros objetos na sua vizinhança. Por exemplo: pilhas de madeira podem indicar presença de serraria ou indústria de papel.

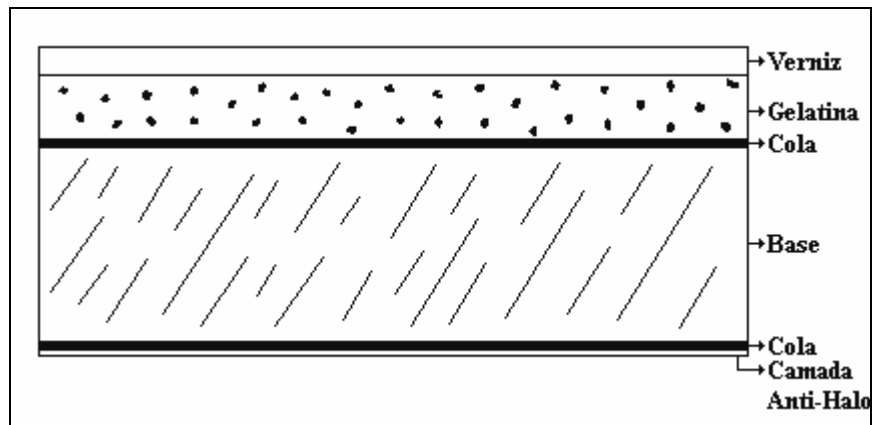
## 25.2. Densidade Fotográfica

A densidade de uma fotografia é função:

- ⇨ da quantidade e qualidade de luz incidente no plano imagem;
- ⇨ da relação entre o tempo de exposição e a abertura do diafragma;
- ⇨ da sensibilidade espectral da emulsão usada;
- ⇨ do procedimento e das substâncias químicas utilizados na revelação.

## 25.3. Material Fotográfico

O material fotográfico é constituído de:



### a) Base

- ⇨ pode ser de polietileno (espessura entre 0,1 e 0,25 mm), de placa de vidro ou de papel (espessura entre 0,1 e 0,5 mm);
- ⇨ deve ser: quimicamente estável; flexível e forte (polietileno ou papel); resistente e dura (placa de vidro);
- ⇨ pode ser composta de uma camada *anti-halo*, efeito que torna difusa certas partes do negativo, e, ainda, de uma camada adesiva.

### b) Emulsão

- ⇨ cobre a base e é formada por cristais ou grãos de brometo de prata, de iodeto de prata e gelatina;
- ⇨ os cristais variam de tamanho até um máximo de 5 microns, pois, quanto maior o grão maior é a sensibilidade da emulsão;

Sensibilidade é a maior ou menor facilidade do filme em gravar imagens.

- ⇒ a gelatina mantém os grãos de prata sobre a base;
- ⇒ pode ser: ortocromática, pancromática, infravermelha ou colorida.

#### 25.4. Resolução Fotográfica

A resolução espacial de uma fotografia aérea é expressa em linhas/mm e é definida como a medida de linhas brancas e pretas, intercaladas e paralelas entre si, que podem ser observadas sobre a fotografia numa faixa de 1 milímetro de largura.

Portanto, se uma fotografia possui uma resolução de 100 linhas/mm, isto significa que podem ser observadas, no espaço de 1 milímetro, 100 linhas brancas intercaladas a 100 linhas pretas.

Esta contagem das linhas é feita com o auxílio de um microscópio.

A resolução da fotografia aérea depende da combinação *lente-filme-filtro* e, desta combinação, pode-se concluir:

a) **Resolução** (em segundos de arco)

$$R'' = \frac{4,5}{dl}$$

onde

**dl** = diâmetro da lente em polegadas

b) **Resolução** (em linhas/mm)

$$R_{l/mm} = \frac{1500}{\text{"f - stop"}}$$

c) **Resolução Real** (em metros)

$$R_m = \frac{E}{1000 \cdot R_{l/mm}}$$

onde

**E** = módulo da escala da fotografia

**R<sub>l/mm</sub>** = resolução da combinação *lente-filme-filtro* da câmara usada,

em linhas/mm.



Com base na resolução fotográfica podemos determinar qual o menor objeto *detectável* em uma fotografia, o que não significa, necessariamente, determinar o tamanho do menor objeto *identificável* ou *reconhecível*.

O menor objeto *identificável* é, pelo menos, 5 vezes maior que o menor objeto *detectável* e, portanto, a relação entre eles é a seguinte:

$$I = 5 \cdot R_m$$

onde

**I** = tamanho mínimo identificável

A *resolução* de uma fotografia não é sinônimo de *nitidez visual da imagem*, que é grandemente influenciada pelos seguintes fatores:

- ⇨ qualidade do sistema de lentes da câmara;
- ⇨ precisão mecânica da câmara;
- ⇨ qualidade e sensibilidade da emulsão;
- ⇨ natureza do objeto fotografado.

Imagens de pouco contraste, geralmente, são de elevada resolução e vice-versa.

## 25.5. Comparação entre Fotografia Aérea e Mapa

### a) Fotografia Aérea

- ⇨ é uma projeção central ou cônica;
- ⇨ a escala varia em função da inclinação da foto e das diferenças de nível;
- ⇨ a representação geométrica dos objetos é afetada por deslocamentos devido ao terreno, à inclinação do eixo ótico e às distorções da lente;
- ⇨ todos os objetos são visíveis
- ⇨ a representação da imagem é tridimensional.

### b) Mapa

- ⇨ é uma projeção ortogonal;
- ⇨ a escala é a mesma para todos os pontos;
- ⇨ a representação geométrica dos objetos é a correta;
- ⇨ os objetos a serem representados são selecionados e generalizados através do uso de símbolos e convenções, muitas vezes, exagerados para a escala utilizada;
- ⇨ a representação da imagem é bidimensional.

## 25.6. Exercícios

1. Qual a resolução, em linhas/mm, de uma imagem fotográfica obtida por uma câmara de distância focal igual a 50mm e diafragma com diâmetro de 12,5mm.

2. Foi registrada uma imagem fotográfica na escala 1:15.000 com resolução (lente-filme-filtro) igual a 100 linhas/mm. Qual a dimensão real do menor objeto detectável na foto? Qual a dimensão do menor objeto identificável?

3. Foram obtidas fotografias em que se podiam identificar e contar objetos de 60cm e 90cm. A resolução da câmara é de 25 linhas/mm. Determinar a escala da fotografia para ambos os casos.

## 26. Conceitos Básicos para o Trabalho com Fotografias

*Estereoscopia*: é um fenômeno natural que ocorre quando se observam duas imagens fotográficas de uma mesma cena, tomadas de pontos diferentes.

*Paralaxe*: é o deslocamento aparente da posição de um objeto estacionário que se encontra a uma certa distância de um observador em movimento. Quanto mais próximo estiver o objeto do observador, maior será o deslocamento aparente deste.

*Visão Estereoscópica*: é a sensação de profundidade que pode ser obtida através de processo *Binocular* ou *Método Estereoscópico*, capaz de fornecer uma sensação bastante precisa da profundidade.

*Visão Monoscópica*: é a sensação de profundidade que pode ser obtida através de processo *Monocular* ou *Método Monoscópico*, no qual as diferentes formas de percepção da profundidade são observadas com um único olho. Permite reconhecer nos objetos as cores, a tonalidade, o tamanho (por comparação ou pela altura da sombra) e a forma.

## 27. Elementos Geométricos da Visão Binocular

*Ângulo Paralático* ou *de Convergência*: é aquele formado pelos eixos óticos visuais convergentes no objeto observado ( $f$ ).

Quanto maior a distância do observador ao objeto, menor é o ângulo paralático.
--

*Base Ocular* ou *Distância Interpupilar*: é a distância entre os centros óticos dos olhos (média de 65mm - 63 a 69mm é o intervalo) e designada por ( $b$ ). Dada sempre em milímetros.

*Raio de Percepção Estereoscópica*: é o nome dado à distância limite ou máxima com que o olho humano permite a sensação de profundidade (**RPE**). Dada em metros.

Segundo estudos, a diferença mínima de profundidade entre objetos, ou seja, a *acuidade visual estereoscópica do observador*, depende da diferença entre os ângulos de convergência dos objetos observados. Esta percepção da profundidade não é possível se a diferença entre os ângulos for inferior a 20" de arco.

O raio de percepção estereoscópica pode ser expresso em função da distância interpupilar e dos ângulos de convergência na seguinte relação:

$$\boxed{\text{RPE} = \frac{b}{\text{tg}(\beta)}} \quad \text{onde} \quad \boxed{b = f_1 - f_2}$$

Portanto, para  $b=65\text{mm}$  e  $\beta=20''$ , RPE equivale a 670 metros. Isto nos mostra que, a partir desta distância, não é possível perceber a profundidade dos objetos.

Ainda em relação ao ângulo convergente, podemos determinar a profundidade de um objeto, ou seja, a sua altura, pela seguinte relação:

$$\boxed{\text{Dh} = \frac{R_2 \cdot \hat{e}_1}{\hat{e}} - \frac{\text{tg}(f_1) \cdot \hat{u}}{\text{tg}(f_2) \cdot \hat{u}} = \frac{R_1 \cdot \hat{e}}{\hat{e}} \frac{\text{tg}(f_1)}{\text{tg}(f_2)} - \frac{\hat{u}}{\hat{u}}}$$

onde

$f_1$  e  $f_2$  são os ângulos convergentes do topo e da base do objeto.

A maneira mais simples de se conhecer os ângulos convergentes de um objeto é através do uso das fotografias aéreas, pois, a distância entre *pontos homólogos* nas fotografias, é diretamente proporcional ao ângulo convergente no objeto sobre a superfície terrestre.

## 28. Princípio da Terceira Dimensão

A terceira dimensão forma-se no cérebro pela diferença das imagens formadas em cada retina. Cada olho observa e transmite ao cérebro duas dimensões, que somadas, perfazem um total de quatro dimensões. Mas, como uma delas é comum aos dois olhos, a fusão das imagens traduz-se na formação da imagem em 3D.

Assim, para a visualização da 3D através de fotografias, é necessário que se tenha um par de fotos de uma mesma cena ou região, tomadas de pontos distintos no espaço.

*Par Estereoscópico*: é o nome dado ao par de fotografias aéreas consecutivas, tomadas a partir de uma distância constante entre as estações de exposição e capazes de reproduzir o modelo espacial do terreno fotografado. Também denominado *estereograma*.

*Par Pseudoscópico*: é um par estereoscópico cujas fotografias são observadas em posições trocadas e invertidas, ou seja, a fotografia da direita toma o lugar da fotografia da esquerda e vice-versa. A profundidade do par original também fica invertida.

## 28.1. Maneiras de Observar um Par Estereoscópico

### a) Eixos Óticos Cruzados

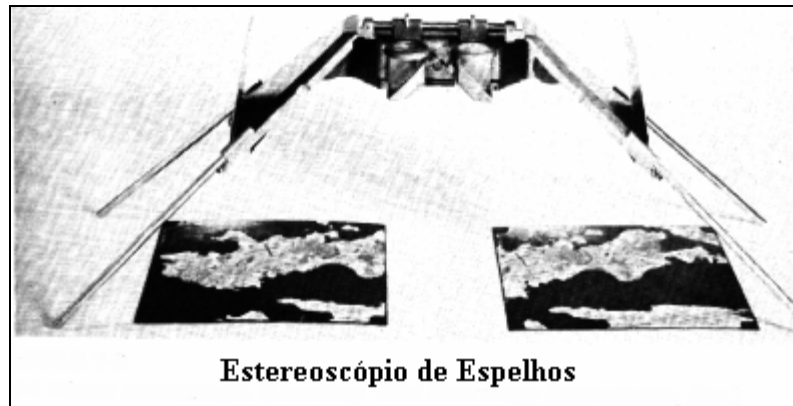
Observa-se a foto da direita com o olho esquerdo e a foto da esquerda com o olho direito e sem auxílio de equipamento. Exige muito esforço.

### b) Eixos Óticos Convergentes

A observação da imagem se faz de maneira natural. Métodos: anaglifo, luz polarizada e luz intermitente.

### c) Eixos Óticos Paralelos

Observa-se a foto da direita com o olho direito e a foto da esquerda com o olho esquerdo, com ou sem o auxílio do estereoscópio de espelhos. Exige certo esforço.



## 28.2. Processos para Obter a Visão Estereoscópica

### a) Estereoscopia Voluntária

⇨ *Sem instrumento*: com os eixos óticos paralelos, através da fusão das imagens fotográficas colocadas a  $\pm 25$ cm de distância dos olhos.

⇨ *Com instrumento*: a fusão das imagens se dá através de processo ótico (duas lentes, espelhos, prismas...).

### b) Estereoscopia de Anaglifo

⇨ *Por impressão de imagens coloridas*: uma das fotos do par é impressa em vermelho e a outra em azul e ambas são superpostas com um pequeno deslocamento sobre um papel branco. Este deslocamento é sempre no sentido da linha de tomada das fotos. O par é examinado através do uso de filtros, um vermelho para a foto azul e outro azul para a foto vermelha. A imagem tridimensional é obtida em preto e branco.

⇨ *Por projeção de imagens coloridas*: os diapositivos, em preto e branco, são projetados sobre uma mesma tela através de projetores dotados de dois filtros, um verde e um vermelho, e as imagens são observadas com um óculos de lentes nestas duas cores. A imagem tridimensional também é obtida em preto e branco.

### c) **Estereoscopia por Polarização da Luz**

O processo consiste em fazer com que a luz projetada através de um par estereoscópico passe por filtros polarizadores com planos de polarização ortogonais. O observador irá perceber, com cada olho, apenas a imagem projetada por um dos diapositivos. A fusão das imagens se fará no cérebro. Este é o processo usado no cinema ou em telas de computador.

### d) **Estereoscopia por Cintilamento ou Luz Intermitente**

Este processo baseia-se em estudos do olho humano, que afirmam que uma imagem é gravada e retida no cérebro por um período de tempo de 1/20s a 1/8s, mesmo após esta imagem ter sido ocultada.

Desta forma, projetando-se alternadamente as imagens de um par estereoscópico durante cerca de 1/60s e, em sincronia, alternando-se a ocultação do campo visual de cada olho, o cérebro percebe continuamente uma imagem tridimensional. Isto se deve por ser a frequência das projeções sucessivas muito alta .

### e) **Estereoscopia por Holografia**

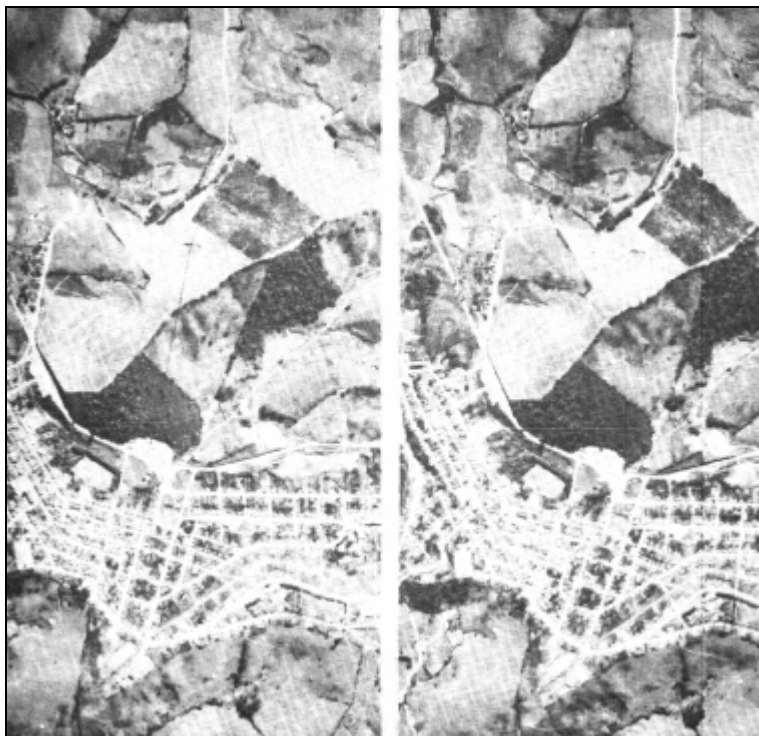
A *holografia* é a ciência e arte de registrar informações tridimensionais de um objeto, através da luz.

*Holograma* é o nome dado ao registro da informação obtida holograficamente. (Matriz de Interferência)

Diferente da fotografia convencional, que utiliza a luz refletida de um objeto e registra-a sobre um filme comum, a *holografia* usa a luz, dividida em feixes luminosos (referência e objeto), e grava-os sobre um filme especial. O *holograma* obtido não guarda qualquer semelhança visível com o objeto original, mas, quando um feixe de referência é projetado através do *holograma*, a luz curva-se pela difração e recria a imagem tridimensional. A luz utilizada para projetar os *hologramas* é o raio laser.

### 28.3. Exercícios

1) Tente, através do estereograma abaixo, visualizar a profundidade do terreno nele registrado. Para tanto, utilize-se do processo de estereoscopia voluntária (não há necessidade de aparelhos).



### 29. Geometria Básica da Fotografia Aérea

A figura a seguir apresenta o esquema da geometria de uma fotografia aérea *perfeitamente* vertical.

Desta, conclui-se que a fotografia é uma projeção *cônica* ou *central* em que a imagem de um objeto é formada num plano (que é o filme ou negativo) após os raios de projeção terem passado pelo centro perspectivo (ou ótico) da objetiva.

#### Definições básicas

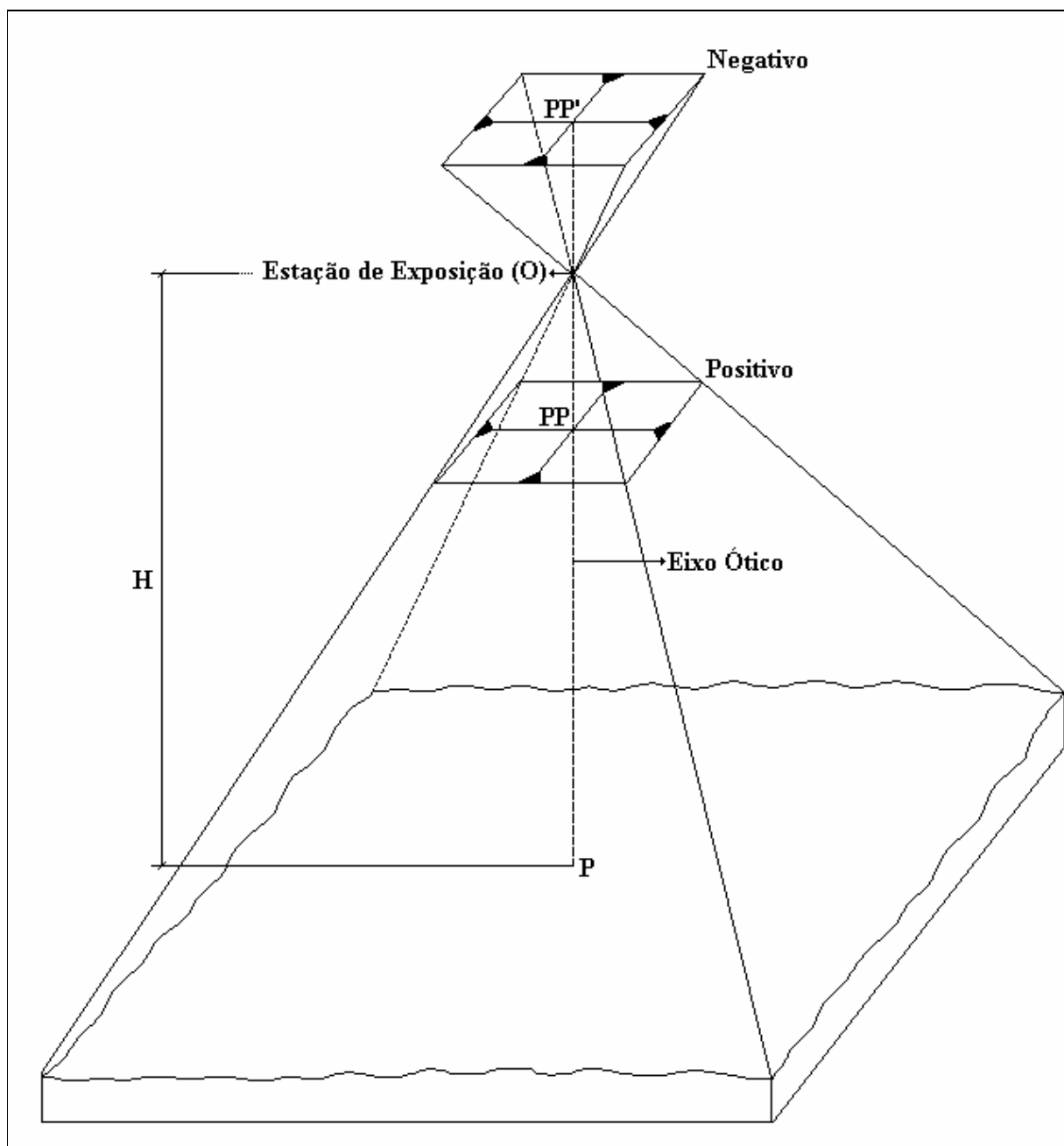
a) **Estação de Exposição:** é o nome dado à posição do centro perspectivo (ponto nodal ou centro ótico) no instante da tomada da fotografia. Designado por (**O**).

b) **Altitude de Vôo:** é a distância vertical, em metros, entre a estação de exposição e o Geóide (nível médio do mar). Designado por (**H<sub>0</sub>**).

c) **Altura de Vôo:** é a distância vertical, em metros, entre a estação de exposição e um plano qualquer de referência do terreno. Designada por (**H**).

d) **Aerobase ou Base Aérea:** é a distância horizontal, em metros, entre as estações de exposição de fotografias consecutivas. Designada por (**B**).

e) **Ponto Principal da Fotografia:** é o ponto formado pela projeção ortogonal do centro perspectivo no plano do filme, do negativo ou da fotografia (**PP**). É definido pela interseção das linhas que unem as marcas fiduciais opostas da foto.

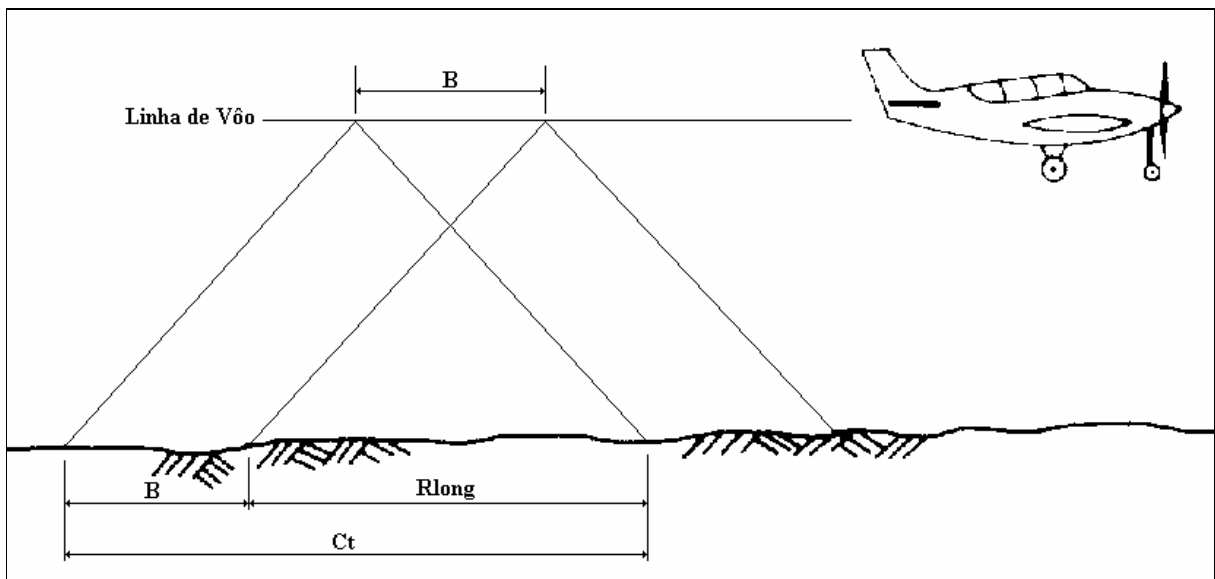


f) **Sistema de Coordenadas Fotográficas:** é um sistema de coordenadas cartesianas, cujo ponto de origem coincide com o ponto principal da fotografia. O eixo **x** é definido pela linha que une o ponto principal da fotografia esquerda com o ponto principal da fotografia direita, projetado sobre a fotografia esquerda (homólogo). Esta linha, também representa a direção seguida pela avião, durante a tomada das fotografias (linha de vôo). Já, o eixo **y**, é definido pela linha perpendicular ao eixo **x**, passando pelo centro da fotografia.

g) **Fotobase ou Base Fotográfica:** é a distância horizontal, em mm, medida sobre a fotografia, entre as projeções de duas estações de exposição consecutivas. Designada por **(b)**.

### 29.1. Recobrimento entre Fotos e Faixas de Fotos

#### a) Recobrimento entre Fotos



Para que se tenha uma cobertura fotográfica correta de determinada região da superfície terrestre é necessário que as fotos consecutivas, tiradas em uma direção (linha de vôo), registrem porções iguais do terreno. Para que isso ocorra, entre uma foto e a sua consecutiva, deve haver uma zona de recobrimento ou superposição denominada *Zona de Superposição Longitudinal* (figura acima). Esta é necessária para a visualização, em 3D, das fotografias (ou pares) obtidas. Para isso, o recobrimento entre uma foto e outra, deve ser, no mínimo, de 60%.

#### Superposição Longitudinal:

$$S_{\text{long}} = R_{\text{long}} = \frac{C_t - B}{C_t} \cdot 100$$

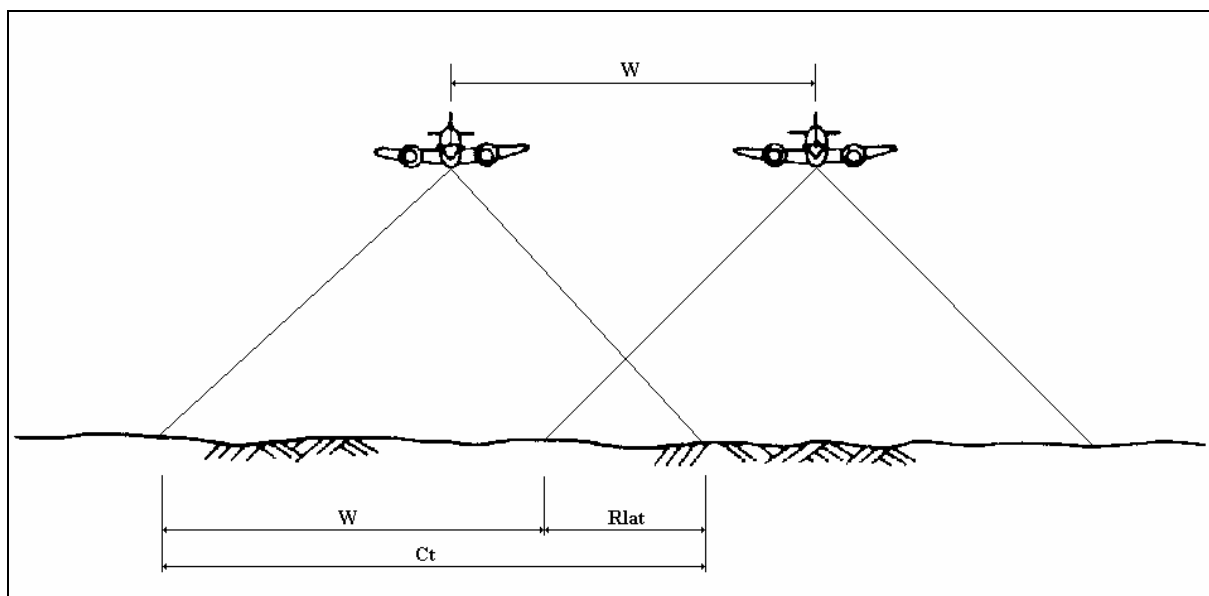


onde

$$C_t = I.E$$

**b)Recobrimento entre Faixas**

No caso de uma região muito grande, a cobertura fotográfica deve ser realizada em várias direções paralelas, portanto, seguindo várias linhas de vôo. Para cada uma destas linhas há um conjunto de fotografias consecutivas ao qual denominamos *faixa*. Entre uma e outra faixa deve haver uma zona de recobrimento ou superposição denominada *Zona de Superposição Lateral* (figura abaixo). Esta é necessária para evitar falhas na cobertura do terreno. Para isso, o recobrimento entre uma faixa e outra, deve ser, no mínimo, de 30%.



**Superposição Lateral:**

$$S_{lat} = R_{lat} = \frac{C_t - W}{C_t} \cdot 100$$

onde

$$W = D_{faixa} = (1 - R_{lat}) \cdot C_t$$

Em função dos seguintes elementos:

- a)Área fotografada
- b)Escala das fotos (pré definida no projeto ou plano de vôo)

- c) Tamanho das fotos
- d) Recobrimentos lateral e longitudinal

Podemos determinar:

- a) O número de faixas necessário para a cobertura da região que se quer levantar.
- b) O número de fotos em cada faixa.
- c) O número total de fotos.

**Número de Faixas:**

$$N_{\text{faixa}} = \frac{\hat{e} \cdot \text{Comp}_y - 2 \cdot (0,5 \cdot C_t - R_{\text{lat}} \cdot C_t) \cdot \hat{u}}{\hat{e} \cdot W} + 1$$

onde

**Comp<sub>y</sub>** é o comprimento da região a ser fotografada, tomado perpendicularmente à linha de vôo.

**Número de Fotos por Faixa:**

$$N_{\text{fot/faixa}} = \frac{\hat{e} \cdot \text{Comp}_x \cdot \hat{u}}{\hat{e} \cdot B \cdot \hat{h}} + 4$$

onde

$$B = (1 - R_{\text{long}}) \cdot C_t$$

e

**Comp<sub>x</sub>** é o comprimento da região a ser fotografada, ao longo da linha de vôo.

**Número Total de Fotos:**

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{fot/faixa}} \cdot N_{\text{faixa}}$$

## 29.2. Paralaxe de Imagens

A visualização em 3D de um par de fotografias consecutivas, só é possível, através do efeito que a paralaxe de pontos, que aparecem em ambas as fotos, provoca.

A *paralaxe absoluta de um ponto*, portanto, é o deslocamento aparente que este ponto sofre, ao ser fotografado consecutivamente, de posições distintas no espaço.

A **paralaxe absoluta** de pontos na fotografia, é dada por:

$$\boxed{px(i) = x(i) - x(i')}$$

onde

$x(i)$  é o deslocamento sobre o eixo x, medido na foto esquerda.

$x(i')$  é o deslocamento sobre o eixo x, medido na foto direita.

A paralaxe em  $x$  existirá sempre que houver variações de altitude na superfície fotografada.

A paralaxe em  $y$ , pelo contrário, não deve existir, pois, prejudica sensivelmente a visão estereoscópica. Para evitar a paralaxe em  $y$ , é necessário que as retas que unem os pontos homólogos de um par estereoscópico, sejam paralelas à linha de vôo. Desta forma, as ordenadas de pontos medidas na foto esquerda, devem ser iguais às ordenadas de seus homólogos, na foto direita.

A **diferença de paralaxe** entre dois pontos quaisquer ( $a$  e  $b$ ) será dada por:

$$\boxed{\Delta px = |px(a) - px(b)|}$$

A **diferença de nível** ( $Dh$ ) entre estes mesmos dois pontos, para terrenos relativamente planos, é obtida em função da diferença de paralaxe, através da relação:

$$\boxed{Dh = \frac{H \cdot Dpx}{b}}$$

A **diferença de nível** entre os dois pontos já referidos anteriormente, levando em consideração que o terreno é acidentado, também é obtida em função da diferença de paralaxe, através da relação:

$$\boxed{Dh = \frac{H \cdot Dpx}{(b + Dpx)}}$$

Estas leituras de paralaxe, podem ser obtidas através de uso do escalímetro ou de um instrumento denominado *barra de paralaxe*. A precisão das leituras deve ser de 1/100mm.

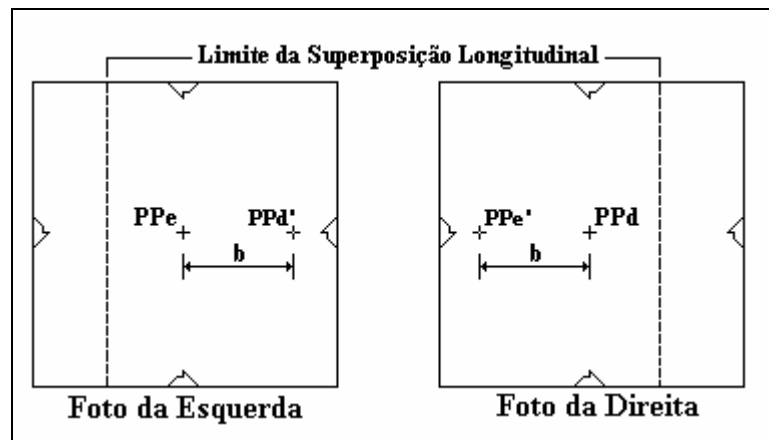
A **fotobase (b)** (figura abaixo), pode, ao invés de ser medida com escalímetro, ser determinada pela seguinte relação:

$$b = l \cdot (1 - R_{\text{long}})$$

onde

*l* é o lado da fotografia, em mm.

$R_{\text{long}}$  é o recobrimento longitudinal da fotografia, *não* expresso em %.



A **altitude** de um ponto, em função da paralaxe, pode ser obtida através da relação:

$$h(P) = H_0 - \frac{B \cdot f}{px(p)}$$

A **altitude** de um ponto (**A**) pode ainda ser determinada, conhecendo-se a altitude de um segundo ponto (**B**), através da relação:

$$h(B) = h(A) \pm \left[ \frac{H_0 - h(A)}{px(b)} \right] \cdot \Delta px$$

pois

$$Dh = h(B) - h(A)$$

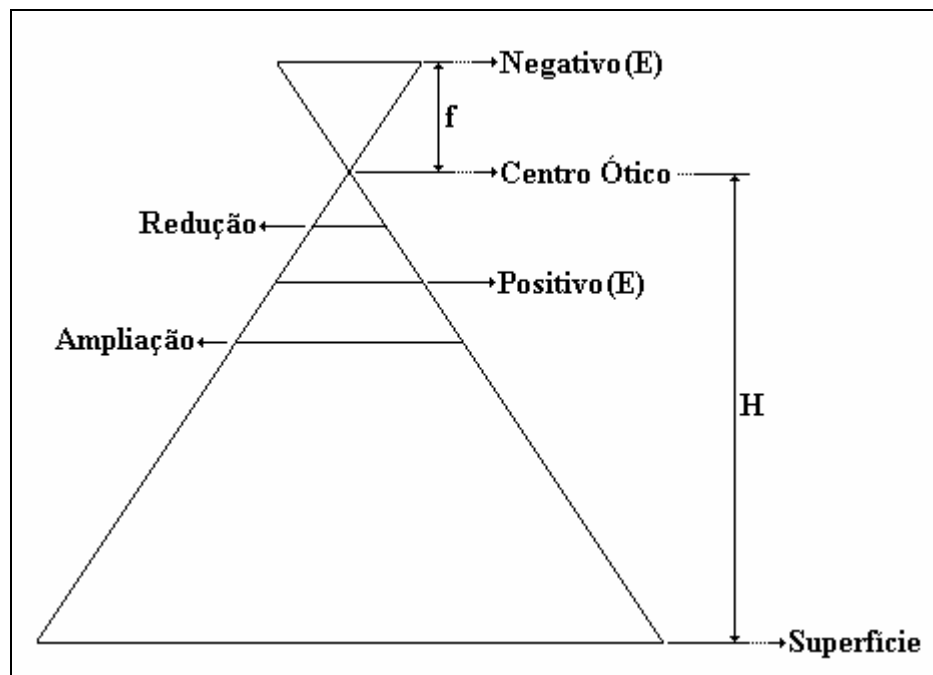
### 29.3. Escala de uma Fotografia Aérea Vertical

A **escala (E)** de um conjunto de fotografias aéreas verticais, normalmente, é determinada antes do vôo, durante o planejamento do mesmo, e é o resultado da relação entre a distância focal da câmara utilizada e a altura de vôo:

$$E = \frac{f}{H}$$

A escala (E) de uma fotografia pode ainda ser determinada pelas relações entre: a) uma distância no terreno e sua correspondente na fotografia; b) a base aérea e a base fotográfica.

$$E = \frac{d_{AB}}{D_{AB}} \quad \text{ou} \quad E = \frac{b}{B}$$



Já, a **escala de pontos (E(p))** distintos de uma única fotografia, é função da altitude do ponto (**h(P)**), que é dada pela relação:

$$E(p) = \frac{f}{H_0 - h(p)}$$

Portanto, a **escala média (E<sub>m</sub>)** de um conjunto de pontos de uma mesma foto, é função da média das altitudes (**h<sub>m</sub>**) destes pontos, que é dada por:

$$\mathbf{E}_m = \frac{f}{\mathbf{H}_0 - \mathbf{h}_m}$$

#### 29.4. Coordenadas Terrestres e Aerobase

As coordenadas de um ponto P qualquer no terreno, podem ser obtidas em função das coordenadas fotográficas deste mesmo ponto, medidas sobre uma fotografia. A relação entre o sistema de coordenadas terrestre e o fotográfico é a seguinte:

$$\mathbf{X}(\mathbf{P}) = \mathbf{x}(\mathbf{p}) \cdot (\mathbf{H}_0 - \mathbf{h}(\mathbf{P})) \quad \text{ou} \quad \mathbf{X}(\mathbf{P}) = \mathbf{x}(\mathbf{p}) \cdot \mathbf{E} \quad \text{ou ainda} \quad \mathbf{X}(\mathbf{P}) = \mathbf{B} \cdot \frac{\mathbf{x}(\mathbf{p})}{\mathbf{px}(\mathbf{p})}$$

e

$$\mathbf{Y}(\mathbf{P}) = \mathbf{y}(\mathbf{p}) \cdot (\mathbf{H}_0 - \mathbf{h}(\mathbf{P})) \quad \text{ou} \quad \mathbf{Y}(\mathbf{P}) = \mathbf{y}(\mathbf{p}) \cdot \mathbf{E} \quad \text{ou ainda} \quad \mathbf{Y}(\mathbf{P}) = \mathbf{B} \cdot \frac{\mathbf{y}(\mathbf{p})}{\mathbf{py}(\mathbf{p})}$$

A **aerobase** ou base aérea, pode ser calculada em função das coordenadas fotográficas de dois pontos, conhecendo-se a distância horizontal terrestre entre eles:

$$\mathbf{B} = \sqrt{\frac{\mathbf{D}_{AB}^2}{\left( \frac{\hat{e} \mathbf{x}(\mathbf{b})}{\hat{e} \mathbf{px}(\mathbf{b})} - \frac{\mathbf{x}(\mathbf{a})}{\mathbf{px}(\mathbf{a})} \right)^2 + \left( \frac{\hat{e} \mathbf{y}(\mathbf{b})}{\hat{e} \mathbf{py}(\mathbf{b})} - \frac{\mathbf{y}(\mathbf{a})}{\mathbf{py}(\mathbf{a})} \right)^2}}$$

onde

$$\mathbf{D}_{AB} = \sqrt{((\mathbf{X}(\mathbf{B}) - \mathbf{X}(\mathbf{A}))^2 + (\mathbf{Y}(\mathbf{B}) - \mathbf{Y}(\mathbf{A}))^2)}$$

#### 29.5. Distorção Radial

Todos os pontos de uma fotografia aérea vertical, com exceção do ponto central desta, estão sujeitos a vários tipos de deformações ou distorções. Entre estas distorções, destaca-se como relevante o deslocamento que a imagem de um ponto da fotografia sofre, devido à sua altitude. Este deslocamento é denominado *distorção radial* (**d**) do ponto, é ocorre sempre no sentido radial, ou seja, do centro da foto para fora. A distorção radial de um ponto pode ser determinada pela seguinte relação:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{h}(\mathbf{p})}{\mathbf{H}_0} = \mathbf{r} - \mathbf{r}'$$

onde

$\mathbf{r}$  é a distância do ponto principal à imagem do *topo* de P.

$\mathbf{r}'$  é a distância do ponto principal à imagem da *base* de P.

### 29.6. Exercícios

1. Determine a diferença de nível entre os pontos A e R utilizando a fórmula aproximada (para terrenos planos) e sabendo-se que:

$$\begin{aligned} b &= 9,2 \text{ cm} \\ f &= 152,0 \text{ mm} \\ px(a) &= 15,23 \text{ mm} \\ px(r) &= 14,42 \text{ mm} \\ H &= 3040 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Com os mesmos dados do exercício anterior, determine a diferença de nível entre os pontos utilizando a fórmula para terrenos acidentados e considerando o ponto R como sendo o centro da fotografia esquerda.

3. Num par estereoscópico, após sua orientação, obtiveram-se os seguintes dados:

$$\begin{aligned} x(a) &= 90,51 \text{ mm} & x(b) &= 5,32 \text{ mm} & x(c) &= 54,16 \text{ mm} \\ x(a') &= 15,40 \text{ mm} & x(b') &= -62,47 \text{ mm} & x(c') &= -20,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

Determine as paralaxes absolutas dos pontos A, B e C.

4. Sabe-se que para a foto do exercício anterior a altitude de vôo é de 3800m, a distância focal da câmara é de 152mm e a base aérea é de 1320m. Determine as altitudes dos pontos A, B e C.

5. Ainda em relação aos dois últimos exercícios, determine a escala de cada um dos pontos da fotografia.

6. Determine a diferença de nível entre dois pontos A e B sabendo-se que a escala da foto é 1:20.000, a paralaxe do ponto A é 15,23mm, a paralaxe do ponto B é 14,42mm, a distância focal da câmara é 152mm, o lado da foto é 23cm e o recobrimento longitudinal é de 60%.

7. Um par de fotogramas foi obtido com uma câmara de distância focal de 210,42mm. A escala dos fotogramas foi determinada através da distância entre dois pontos que no terreno é de 1828m e que, na fotografia, equivale a 152,33mm. O ponto principal desta mesma foto tem altitude igual a 581,0m. As paralaxes de outros três pontos nela identificados

são:  $px(1)=13,56\text{mm}$ ,  $px(2)=15,68\text{mm}$  e  $px(3)=14,01\text{mm}$ . Determine as altitudes destes pontos sabendo-se que a paralaxe do ponto central (PP) da foto é  $15,24\text{mm}$ .

8. Sobre um par de fotogramas verticais, tiradas de uma altitude de  $1200\text{m}$ , com aerobase de  $380\text{m}$  e câmara de distância focal de  $152,4\text{mm}$ , foram efetuadas as seguintes leituras:

$$\begin{array}{lll} x(1) = 53,41\text{mm} & x(2) = 88,92\text{mm} & x(3) = 50,84\text{mm} \\ x(1') = -38,26\text{mm} & x(2') = -7,06\text{mm} & x(3') = -46,69\text{mm} \end{array}$$

Determine:

- as altitudes de A, B e C.
- as diferenças de paralaxe entre os pontos.
- a escala de cada um dos pontos.

9. Para um ponto B de altitude  $1300\text{m}$  temos uma leitura de paralaxe de  $12,57\text{mm}$ . Calcular a leitura de paralaxe para um outro ponto, de altitude  $1320\text{m}$ , sabendo-se que a altura de vôo foi de  $3000\text{m}$  e que a fotobase é de  $88\text{mm}$ .

10. De um par estereoscópico foram obtidos os seguintes dados:

$$\begin{array}{l} H = 2700\text{m} \\ b = 88\text{mm} \\ px(a) = 15,47\text{mm} \\ px(b) = 13,47\text{mm} \end{array}$$

Determine a diferença de nível entre os pontos A para B.

11. Um par estereoscópico, tomado com uma câmara de distância focal igual a  $152,4\text{mm}$  e cuja aerobase é de  $527,3\text{m}$  foi devidamente orientado para ser medido com a barra de paralaxe. Sabendo-se que a altitude de um ponto A (de controle) é  $224,02\text{m}$ , determine as altitudes dos pontos da tabela abaixo, conhecendo-se as paralaxes absolutas correspondentes.

Ponto	Paralaxe	Ponto	Paralaxe
A	90,82	6	94,31
1	92,24	7	92,45
2	89,11	8	90,53
3	89,22	9	87,96
4	91,76	10	88,72
5	93,35		

12. Determine a escala de uma fotografia sabendo-se que entre as imagens de dois pontos A e B temos  $9,5\text{mm}$  e que suas coordenadas terrestres são:

$$\begin{array}{lll} E(A) = 493,802\text{m} & N(A) = 289,065\text{m} & H(A) = 37,5\text{m} \\ E(B) = 511,955\text{m} & N(B) = 197,885\text{m} & H(B) = 16,8\text{m} \end{array}$$



13. Numa foto vertical tomada com câmara de distância focal de 152,6mm aparece a imagem dos pontos A e B de altitudes 177 e 262 metros respectivamente. A distância terrestre entre eles é de 1200 metros e suas coordenadas fotográficas são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = -54,7\text{mm} & y(a) = 84,3\text{mm} \\ x(b) = 49,6\text{mm} & y(b) = -2,6\text{mm} \end{array}$$

Determine a altitude de vôo.

14. Dois pontos M e N estão a altitudes de 760 e 850 metros respectivamente. Ambos aparecem numa foto vertical tomada de uma altitude de vôo de 2200 metros e com câmara de distância focal de 90mm. Determine a escala dos pontos M e N e a escala média da foto.

15. Dois objetos situados a uma altitude aproximada de 640 metros e que coincide com a altitude média do terreno estão, entre si, a uma distância de 1455 metros. Numa fotografia vertical, a distância entre estes objetos é de 58,2mm. Qual a escala média da foto? Para uma distância focal de 90mm, qual a altitude de vôo?

16. Para as coordenadas fotográficas abaixo:

$$\begin{array}{ll} x(c) = 42,1\text{mm} & y(c) = -12,5\text{mm} \\ x(d) = -20,0\text{mm} & y(d) = -64,7\text{mm} \end{array}$$

Determine a distância CD no terreno, sabendo-se que a escala da foto é 1:25.000.

17. Os pontos A, B e C estão, respectivamente, a 680m acima do nível do mar, 40m abaixo do nível do mar e 700m acima do nível do mar. Suas imagens distam do ponto principal da fotografia de 82, 60 e 12mm. Determine os deslocamentos destas imagens em relação ao relevo, suas direções e sentidos, para uma altitude de vôo de 1800m.

18. Sobre um par de aerofotos verticais tomadas de uma altitude de 1200m, com base aérea de 380m e câmara de distância focal de 152,4mm, foram efetuadas as seguintes leituras:

$$\begin{array}{lll} x(a) = 53.41\text{mm} & x(a') = -38.26\text{mm} & y(a) = 50.84\text{mm} \\ x(b) = 88.92\text{mm} & x(b') = -7.06\text{mm} & y(b) = -46.69\text{mm} \end{array}$$

Determine as altitudes de A e B e a distância entre eles no terreno.

19. Tomando os dados do exercício anterior, determine em relação a um ponto C de altitude 590m e paralaxe 95,0mm, as altitudes de A e B.

20. Uma área de 10.000m (E-O) por 6.500m (N-S) está para ser coberta por fotografias aéreas verticais na escala 1:12.000. Sabe-se que o recobrimento longitudinal e lateral das fotos deve ser de 60% e 30% respectivamente. Se a distância focal da câmara a ser utilizada para a cobertura é de 152,4mm e o formato do negativo é de 23cmx23cm, determine:

a) número de fotos por faixa.

- b) número de faixas.
- c) número total de fotografias necessárias para uma perfeita cobertura da região.

### 29.7. Altitude de Vôo

A altitude de vôo é determinada, basicamente, através dos seguintes processos:

#### a) Por instrumentos

- ⇨ Altimetro
- ⇨ Giroscópio
- ⇨ APR (Air Profile Recorder)

#### b) Por relações matemáticas

- ⇨ através da fórmula da escala;
- ⇨ através de uma equação do 2o. grau;
- ⇨ por um processo iterativo.

### 29.8. Exercícios

1. A distância terrestre entre dois pontos A e B com altitudes de 410 e 520 metros respectivamente, é de 619 metros. As coordenadas fotográficas destes pontos são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = 35.2\text{mm} & x(b) = -15.1\text{mm} \\ y(a) = -41.5\text{mm} & y(b) = 5.4\text{mm} \end{array}$$

Para uma distância focal de 152mm, determine a altitude de vôo através da fórmula da escala.

2. Numa foto vertical tomada com uma distância focal de 152,6mm aparece a imagem de um ponto A e de um ponto B de altitudes 177 e 262 metros respectivamente. A distância terrestre entre A e B é de 2600 metros. As coordenadas fotográficas das imagens são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = -15.7\text{mm} & x(b) = 19.6\text{mm} \\ y(a) = 44.3\text{mm} & y(b) = -8.6\text{mm} \end{array}$$

Determine a altitude de vôo pela fórmula da escala.

### 29.9. Outros Tipos de Deslocamentos de Imagens

As causas mais frequentes do deslocamento da imagem de pontos, numa fotografia aérea vertical, são devidas:

a) *À inclinação do plano da fotografia*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ positivas para fora e negativas para dentro;
- ⇨ as devidas correções devem ser efetuadas em fotos com inclinação superior a  $1^\circ$ ;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

b) *Ao movimento do relevo ou à altitude dos pontos*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ positivas para fora e negativas para dentro;
- ⇨ diretamente proporcional às diferenças de nível entre os pontos;
- ⇨ minimizado para grandes altitudes de vôo;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{h}(\mathbf{p})}{\mathbf{H}_0} = \mathbf{r} - \mathbf{r}'$$

c) *Ao arrastamento*

- ⇨ na direção da linha de vôo;
- ⇨ é diretamente proporcional à velocidade do avião ( $\mathbf{V}$ ), expressa em Km/h;
- ⇨ é diretamente proporcional ao tempo de exposição ( $\mathbf{t}$ ), expresso em horas;
- ⇨ é diretamente proporcional à distância focal ( $\mathbf{f}$ ), expressa em mm;
- ⇨ é inversamente proporcional à altura de vôo ( $\mathbf{H}$ ), expressa em Km;

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{f}}{\mathbf{H}}$$

- ⇨ o tempo de exposição deve ser tal, que o deslocamento não pode exceder a 0,05mm. A partir deste valor haverá, necessariamente, um arrastamento da imagem.

d) *À curvatura da Terra*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ é diretamente proporcional à altura de vôo ( $\mathbf{H}$ ), expressa em Km;
- ⇨ é diretamente proporcional ao ângulo de campo ( $\alpha$ ), expresso em graus;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{H}}{12.800} \cdot \mathbf{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \mathbf{sen}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

e) *À refração atmosférica*

- ⇨ é função do índice de refração atmosférica, pois, a camada atmosférica é composta de várias camadas distintas, cada uma com um índice de refração específico;
- ⇨ este índice de refração depende: da temperatura, da pressão, da umidade e da quantidade de gás carbônico no ar;
- ⇨ é diretamente proporcional à altura de vôo (H), expressa em Km;
- ⇨ é diretamente proporcional à distância focal (f), expressa em mm;
- ⇨ é diretamente proporcional ao ângulo de campo ( $\alpha$ ), expresso em graus.

$$d = \frac{a \cdot H \cdot f}{2} \cdot \hat{e}_1 + \frac{4b}{3a} \cdot H \cdot \hat{u} \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \hat{e}_1 + \text{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \hat{u}$$

onde

$$a = -2.560.E-08$$

$$b = 75.E-08$$

f) *À distorção das lentes*

- ⇨ podem ser radiais ou tangenciais;
- ⇨ as radiais são produto de imperfeições na fabricação das lentes e são influenciadas pela posição do diafragma;
- ⇨ as tangenciais são causadas por defeito na centragem das lentes da objetiva;
- ⇨ estas, nunca são eliminadas completamente.

g) *À deformação do material sensível*

- ⇨ que não é uniforme;
- ⇨ que sempre ocorre em função da temperatura, da umidade e do tratamento físico-químico que é dado ao material;
- ⇨ só é minimizada quando se trabalha com material especial ou quando a câmara utiliza placa de vidro reticulada.

h) *Ao olho humano*

- ⇨ a nitidez da imagem fica prejudicada por problemas de miopia, hipermetropia, presbiopia e astigmatismo.

29.10. **Exercícios**

1. Uma catedral com altura ( $h$ ) se encontra a 500m acima do nível do mar. Esta catedral aparece numa fotografia aérea tomada de uma altitude de vôo de 11.648m e com uma câmara de distância focal de 88,5mm. O ângulo de inclinação da foto é de  $1^\circ$  e o deslocamento do topo da catedral, devido a esta inclinação, é de 2,5mm. O deslocamento da imagem entre o topo e a base da catedral foi medido na fotografia e é de 1,0mm. Calcular a altura da catedral e o deslocamento radial total sabendo-se que a distância do ponto principal à base da imagem é de 8,85cm e que a câmara é uma grande-angular.

2. Considerando-se  $f$  igual a 152,4mm,  $H$  igual a 4.000m e  $\alpha$  igual a  $94^\circ$  determine o deslocamento da imagem de um ponto A de uma fotografia, em mm, devido à curvatura da Terra.

3. Com os dados do problema anterior, determine o deslocamento da imagem do ponto A devido à refração atmosférica.

4. Fotografa-se, a partir de uma altitude de 5.000m e com uma distância focal de 152mm um terreno cuja altitude varia de 400m a 2200m. Qual a escala nos pontos mais baixos e mais altos do terreno e quais os deslocamentos devido ao relevo para as imagens a e b situadas, respectivamente, a 2 e a 10cm do centro da fotografia?

5. Uma imagem está a 90mm do centro da fotografia. Sua elevação é de 2000m e a altura de vôo foi de 10.000m em referência a um Datum. Calcular o deslocamento da imagem devido ao relevo.

6. Num planejamento aerofotogramétrico o vôo de mapeamento indica que a posição da base de uma montanha de 1.500m de altura aparecerá a 75mm do ponto principal de uma fotografia de escala previamente determinada. Se a altitude de vôo é de 6.000m, a que distância da posição da base estará o topo da montanha? E a que distância da margem da fotografia, que mede 228,6 x 228,6mm, estará a imagem?

### 30. Planejamento de Vôo

Todo projeto fotogramétrico, envolve um planejamento de vôo fotogramétrico.

Um vôo fotogramétrico nada mais é que um vôo tecnicamente executado, com o objetivo de obter a cobertura aerofotográfica de uma determinada região do terreno, que será levantado, através da aerofotogrametria.

A cobertura aerofotográfica, portanto, é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas verticais, tecnicamente obtidas de uma aeronave e que representam correta e completamente a superfície do terreno a ser estudado.

Os fatores que devem ser levados em consideração, durante o planejamento de um vôo fotogramétrico são:

⇒ Finalidade das fotografias: se quantitativa (medição) ou se qualitativa (interpretação).

- ⇨ Produto final desejado: se mapas, dados numéricos, mosaicos, fotoíndices, ortofotos etc.
- ⇨ Precisão exigida pelo projeto: se é um vôo de reconhecimento, detalhado ou semi-detalhado. Quanto maior a precisão, maior a escala da foto e maior o custo do levantamento.
- ⇨ Forma e tamanho da área que será fotografada: para isso, utiliza-se um mapa da região, de onde serão extraídas as informações: limites da área do projeto, as cidades mais importantes, a localização e o número de pontos de apoio terrestre, a direção do vôo (se N-S ou L-O), o número de linhas de vôo, a quantidade de fotografias, o recobrimento longitudinal e recobrimento lateral, etc.
- ⇨ Tipo de relevo que a área apresenta: para prever e planejar uma ou mais alturas de vôo, em função das diferenças de nível entre os pontos, que afetam significativamente a escala das fotos.  
  
obs.: a 3D só é possível em fotos com diferença de escala de até 15%, porém, para trabalhos que exigem observação constante, diferenças superiores a 5% são prejudiciais à visão.
- ⇨ Escala da fotografia em função do produto final desejado: é função das limitações físicas e óticas do equipamento de restituição que será utilizado.
- ⇨ Escala da fotografia em função da altura de vôo e da distância focal: para evitar distorções acentuadas.
- ⇨ Pontos de apoio horizontais(X,Y) e verticais(Z) necessários à aerotriangulação: são pontos terrestres constituídos por vértices pertencentes às redes de 1ª, 2ª e 3ª ordem, e suas coordenadas (geodésicas, geográficas ou planas) são determinadas através da Geodésia, Astronomia ou Topografia.
- ⇨ Características dos equipamentos de restituição disponíveis para o projeto: são levados em consideração elementos tais como: distância de projeção ótima, distância focal, base, tamanho do negativo etc.
- ⇨ Características das câmaras métricas disponíveis: distância focal, poder de resolução das lentes, formato, tempo de exposição, ângulo de campo etc.
- ⇨ Características do avião: velocidade de cruzeiro (250 a 960Km/h), altura de cruzeiro (8500 a 10000m), autonomia de vôo (3 a 6h), estabilidade, manejo, etc.
- ⇨ Características dos filmes e filtros: dependendo da finalidade do projeto.
- ⇨ Período ou época propícia para a tomada das fotografias: condições atmosféricas normais (dias claros, sem nuvens, pouco vento), altura mínima (30°) e máxima do sol (45°), etc.

obs.: para os interessados no cálculo (técnico-financeiro) de um planejamento de vôo completo, recorrer à bibliografia indicada no início do ano letivo.

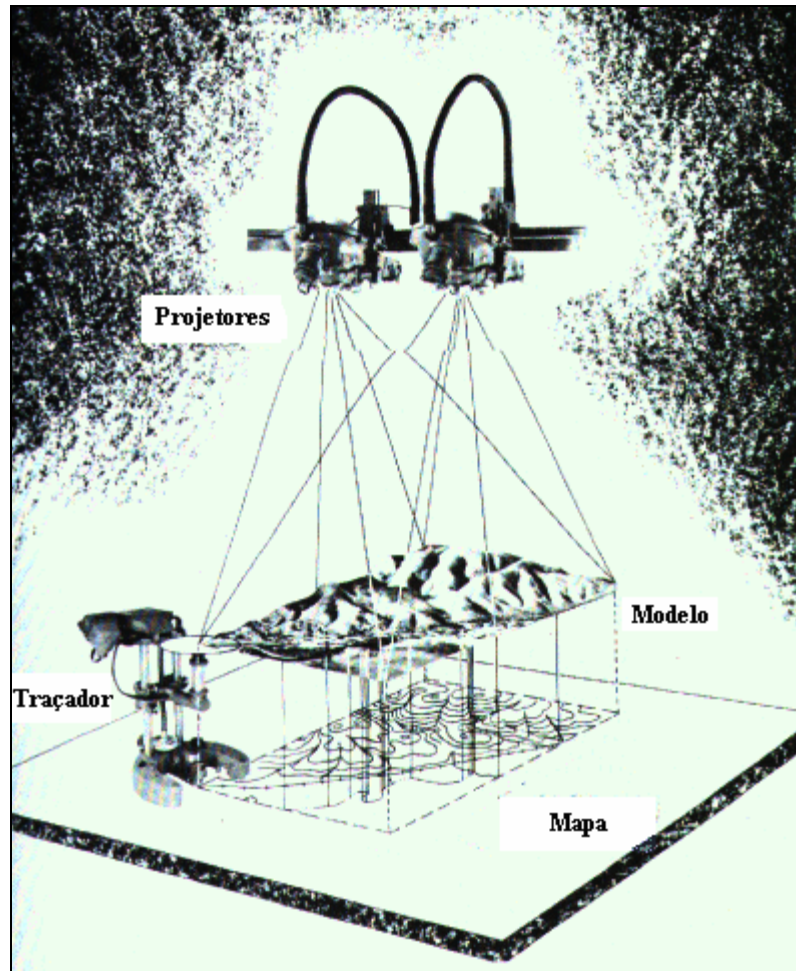
### 31. Restituição Fotogramétrica

É o nome dado à operação que visa obter o original fotogramétrico (carta ou mapa obtido através de fotografias).

Consiste em, através de instrumentos e técnicas específicas, transformar a *projeção cônica* do fotograma (ou par fotográfico) em uma *projeção ortogonal* (carta ou mapa), onde serão desenhados os pormenores planialtimétricos do terreno, após ter sido restabelecida a equivalência geométrica entre as fotografias aéreas, no instante em que foram tomadas, e o par de diapositivos que se encontra no projetor.

Esta transformação pode ser:

- ⇨Gráfica
- ⇨Analógica
- ⇨Analítica ou numérica
- ⇨Digital



As transformações analógicas e analíticas envolvem as seguintes etapas de operação do aparelho restituidor:

- ⇒ Orientação interior: este é o momento em que os pontos principais do fotograma são determinados, através das marcas fiduciais, e, em que é realizado o ajuste da distância focal do projetor (que deve ser proporcional à da câmara utilizada).
- ⇒ Orientação exterior ou relativa: é o momento em que são determinados os principais movimentos (num total de seis) que afetaram a fotografia no instante de sua tomada. Três destes, são movimentos de translação e os outros três, movimentos de rotação. É nesta fase, também, que se elimina a paralaxe (distorções) dos pontos fotografados.
- ⇒ Orientação absoluta: é o momento em que se determina a escala do modelo estereoscópico (imagem 3D), formado pelas duas imagens projetadas, e, em que se determina a altura deste modelo, segundo o nível de referência pretendido.

### 32. Produtos Aerofotogramétricos mais comuns



- ⇨ Fotoíndice: é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas de uma determinada região. Estas fotografias estão em escala aproximada, ligadas e montadas umas às outras através de suas zonas de superposição (entre fotos e faixas) e reduzidas fotograficamente. Sua finalidade é a de identificar falhas existentes nos recobrimentos, derivas do vôo, quantidade de pontos de apoio existentes, etc.
- ⇨ Mosaico: é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas, em que as fotos são montadas e ajustadas (cortadas e coladas) sistematicamente umas às outras, através dos detalhes do terreno, possibilitando uma visão global (completa) de toda a região fotografada. Sua finalidade é possibilitar o estudo preliminar de geologia, solos, vegetação, recursos hídricos e naturais, etc.
- ⇨ Fotocarta: é o nome dado a um mosaico, sobre o qual são impressas as seguintes informações: quadriculado ou malha de coordenadas, moldura, nomes de rios, de cidades, de acidentes geográficos importantes, legenda, etc.
- ⇨ Ortofotocarta: é o nome dado a uma fotografia retificada, ampliada em papel indeformável e completada com as seguintes informações: símbolos, quadriculado ou malha de coordenadas, legenda, podendo ainda conter informações planialtimétricas ou somente planimétricas. A vantagem de se produzir uma ortofoto, ao invés de um mapa, está na riqueza de detalhes que a foto pode registrar e que, necessariamente, o mapa, não tem condições de informar.

## **Bibliografia**

**PAREDES**, Evaristo A.. *Introdução à Aerofotogrametria para Engenheiros*. UEM, 1987.

**WOLF**, Paul R.. *Elements of Photogrammetry*. McGraw-Hill Book Company, 1974.