

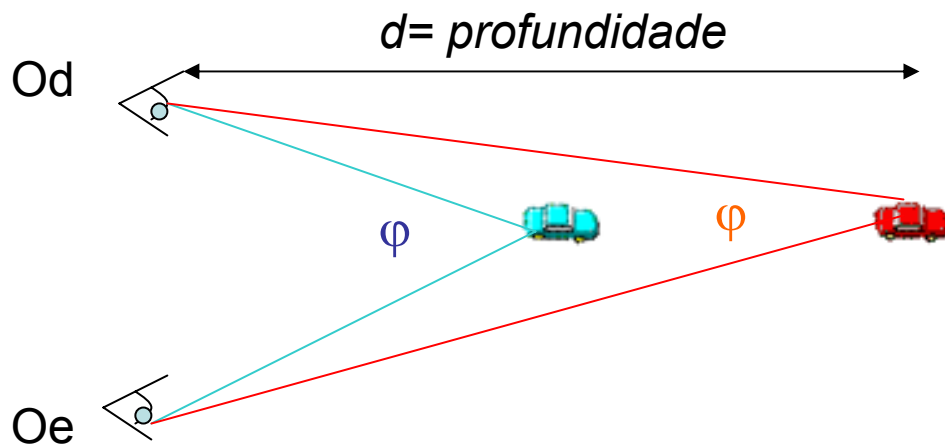
## 4- ESTEREOSCOPIA

A percepção de profundidade é facilmente realizada com a utilização simultânea do dois olhos, quando se obtém a visão da terceira dimensão;

A percepção de profundidade monoscópica permite apenas uma sensação de desnível, enquanto a percepção binocular possibilita um grau de acurácia muito maior.

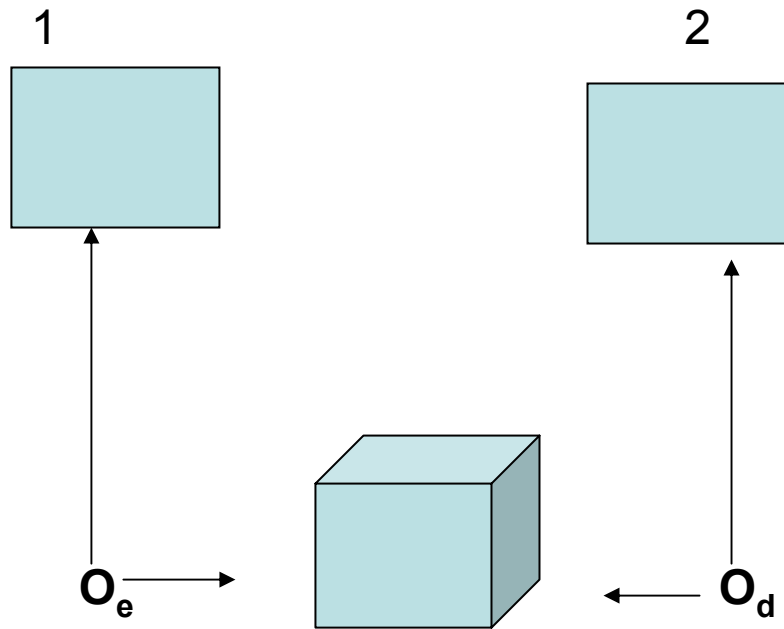
*A FOTOGRAMETRIA & FOTOINTERPRETAÇÃO* é de importância fundamental para permitir modelos em 3D.

$\varphi$  = Ângulo paralático



- O intervalo médio para visão de profundidade varia de 25 cm a 600 metros;

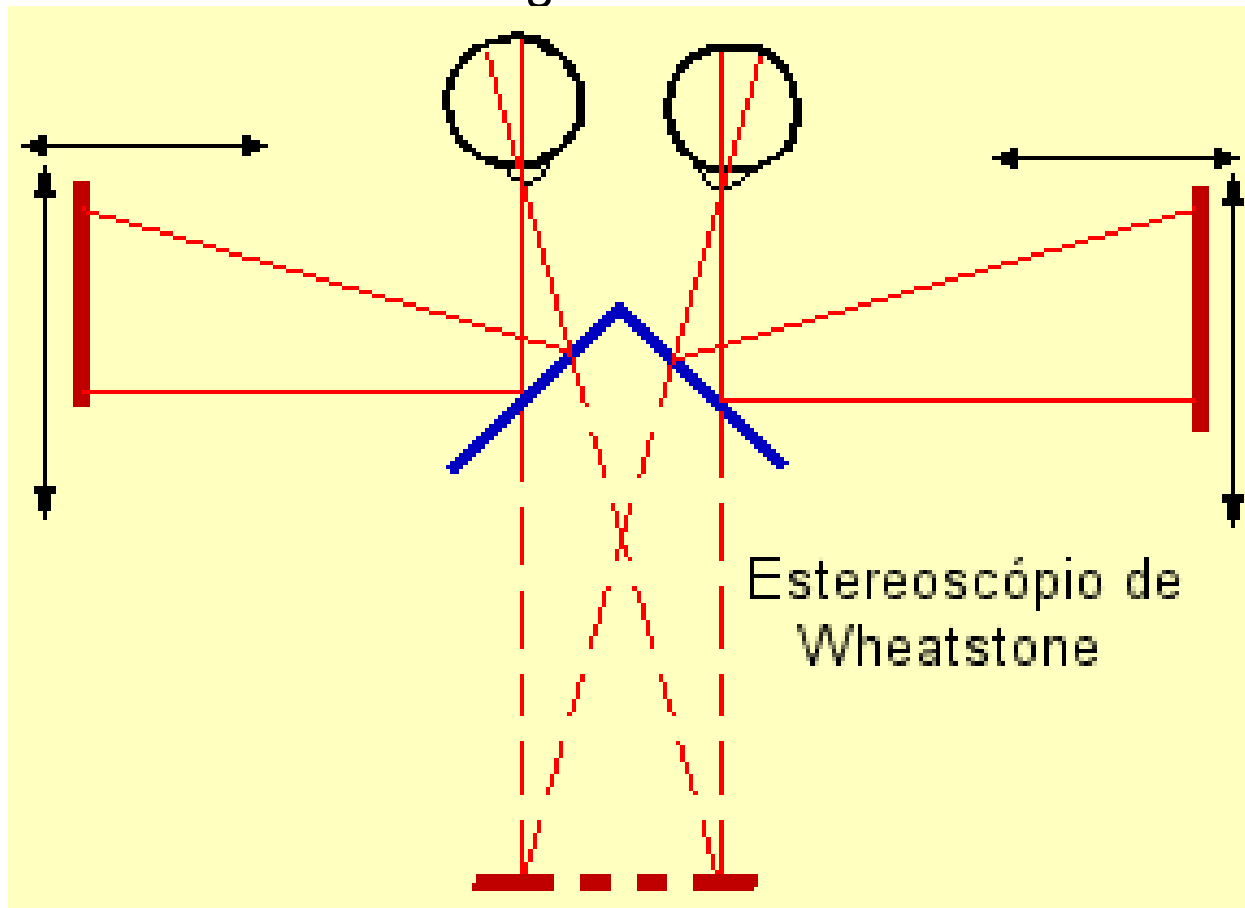
A visão tridimensional pode também ser obtida a a partir de duas imagens de um mesmo objeto, tomadas de pontos de vista distintos ( posição da câmara Diferente). Se cada uma das fotografias for simultaneamente observada por apenas Um dos olhos, suas imagens serão enviadas ao cérebro, produzindo a visão estereoscópica

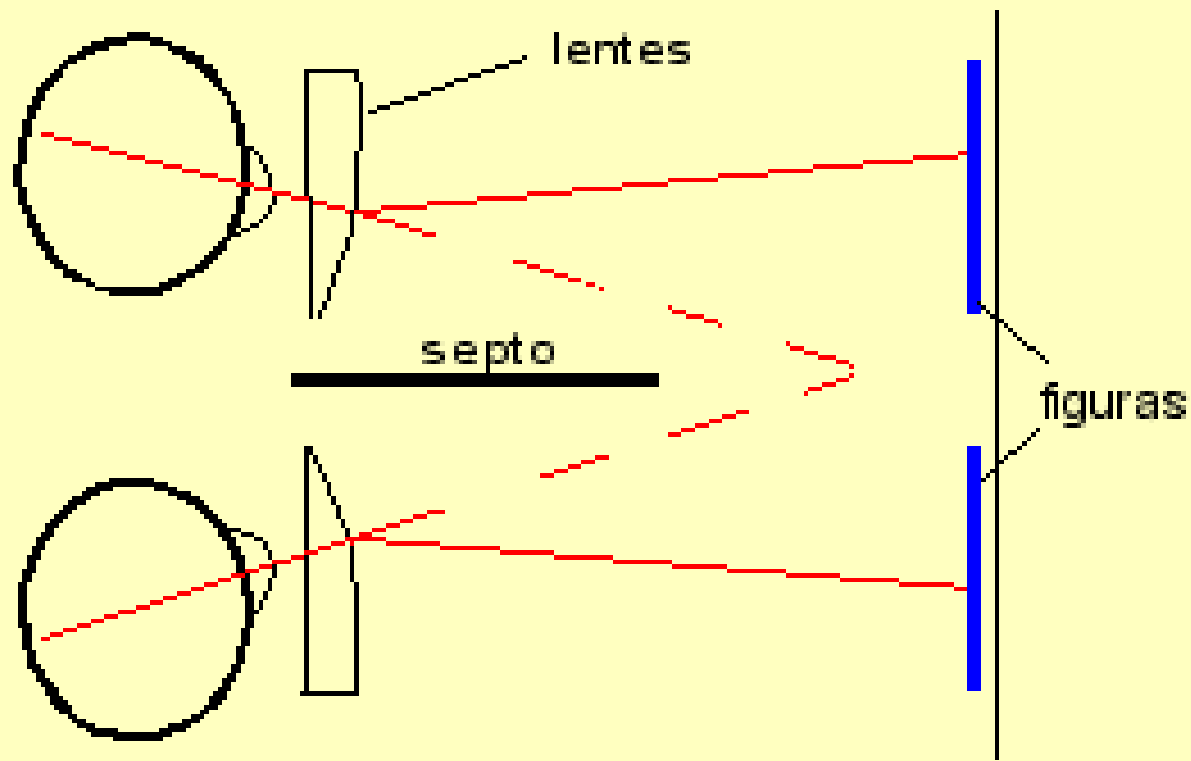


## Visão estereoscópica de IMAGENS

**Par estereoscópico** : duas aerofotos ou imagem que recubram a mesma área

**Estereoscópio**: permite a manutenção de eixos óticos paralelos a fim de obter imagem 3D.





Esquema de um Estereoscópio

Além do par de aerofotos e estereoscópio, existem métodos mecânicos ou óticos tais como:

*Anaglifo*

*Polarização da Luz*

*Cintilamento*

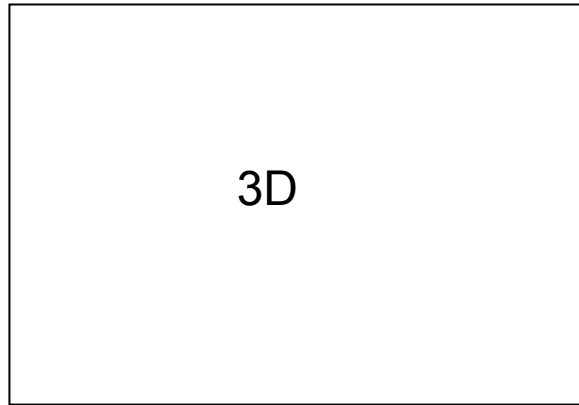
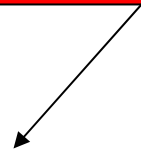
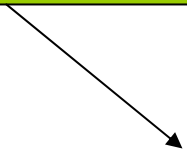
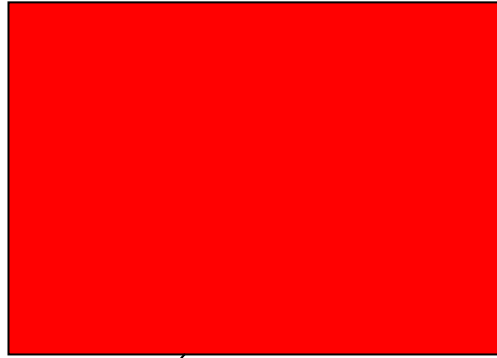
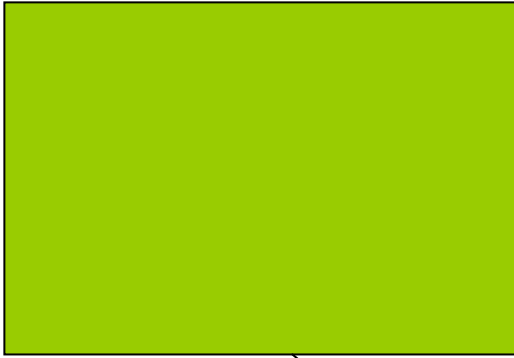
*Encadeamento ótico*

### **ANAGLIFO:**

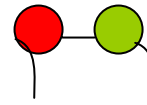
Anáglifos não requerem o uso de estereoscópios mas apenas de um par de óculos com filtro verde e vermelho. Em um anáglifo, as duas imagens da visão binocular são montadas em um mesmo suporte, mas desenhadas com cores diferentes: a que deve ser vista por um dos olhos é impressa em vermelho e a outra é impressa em verde. O princípio da visão estereográfica de um anáglifo é o mesmo das Luzes de Worth: a quebra de fusão e a complementaridade das cores.

- O olho submetido ao filtro vermelho verá apenas o desenho traçado em verde (que aparecerá enegrecido), pois o traçado vermelho ficará indistinguível do fundo branco avermelhado pelo filtro; de modo similar, o desenho traçado em vermelho será visível apenas pelo olho filtrado pelo verde. Nas aplicações em ortóptica, o filtro vermelho cobre o olho direito. Assim, a imagem a ser vista pelo olho esquerdo é desenhada em vermelho e a do olho direito em verde
- Os anáglifos previstos para avaliação da estereopsia são formados por pares de imagens com as discrepâncias necessárias à criação da sensação de profundidade.
- No anáglifo de letras que se segue, a distância entre cada letra e sua contraparte da outra cor é a mesma (requerendo portanto mesma convergência) exceto para uma delas onde essa distância é maior (o que demandará maior convergência para a fusão). Assim, a rigor não é possível uma fusão exata das duas figuras devido a esta discrepância.
- No entanto, a maior convergência necessária à fusão de uma das letras fará com que ela se destaque à frente das demais criando a sensação de uma maior proximidade dessa letra. Esse exemplo mostra além disso que é possível com anáglifos trabalhar com defasagens menores que a largura das figuras. vergenciais quando baixos valores podem ser indicados.

*pares*



3D



*óculos*



## Visão Estereoscópica 3D

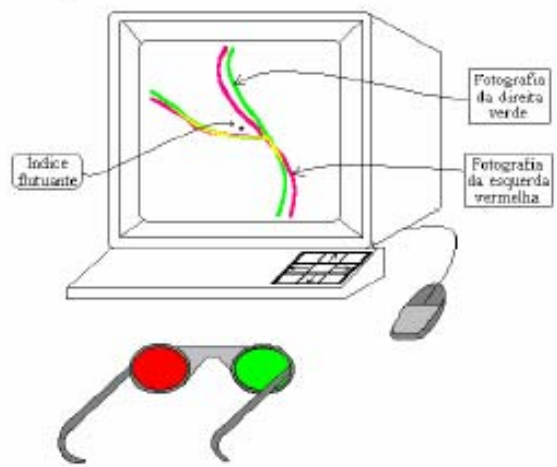
Muitos trabalhos da fotogrametria digital exigem a visão 3D da cena, principalmente na marcação de pontos para a aerotriangulação, no traçado de estradas, limites de feições terrestres, auxiliar na confecção de DTM, etc.

Existem, atualmente 4 formas de obtenção da visão estereoscópica nos monitores das Estações Fotogramétricas:

- 1-processo de Anaglifo (óculos de cores complementares);
- 2- estereoscópio de prisma (espelho) (“*split-screen*”);
- 3- polarização passiva (tela de cristal líquido na frente do monitor e óculos) e**
- 4- polarização ativa (óculos de cristal líquido, oscilando a 120 Hz).**

Parece haver uma forte tendência de dominar o 3º ou o 4º processo. O primeiro, de Anaglifo, só permite o uso de fotografias P&B, há sempre problemas com os diversos tipos de monitor e atrapalha o monitor quando este tem que olhar para as janelas dos comandos do software; o segundo, *split-screen*, permite o uso de imagens coloridas, mas o operador se cansa devido ficar sempre numa só posição, não permite visualização simultânea de várias pessoas e atrapalha um pouco quando o operador tem que olhar para as janelas dos comandos do software;

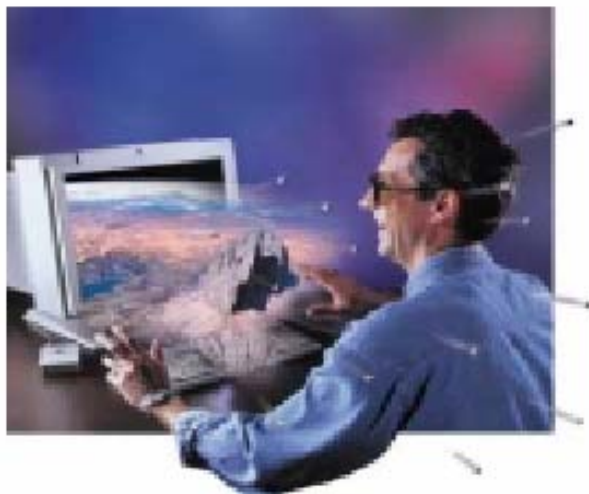
O terceiro e quarto processos não apresentam nenhuma dificuldade, principalmente o 3º de polarização passiva. Seu único inconveniente está no alto preço da tela de cristal líquido, polarizante do monitor e ainda, tanto para o processo de polarização ativa quanto o de polarização passiva exigem monitores que tenham taxa de atualização (“*vertical refreshing rate*”) de 120 Hz, que ainda são relativamente caros no mercado.



Anaglifo



*Split-screen* (estereoscópios espelhos)



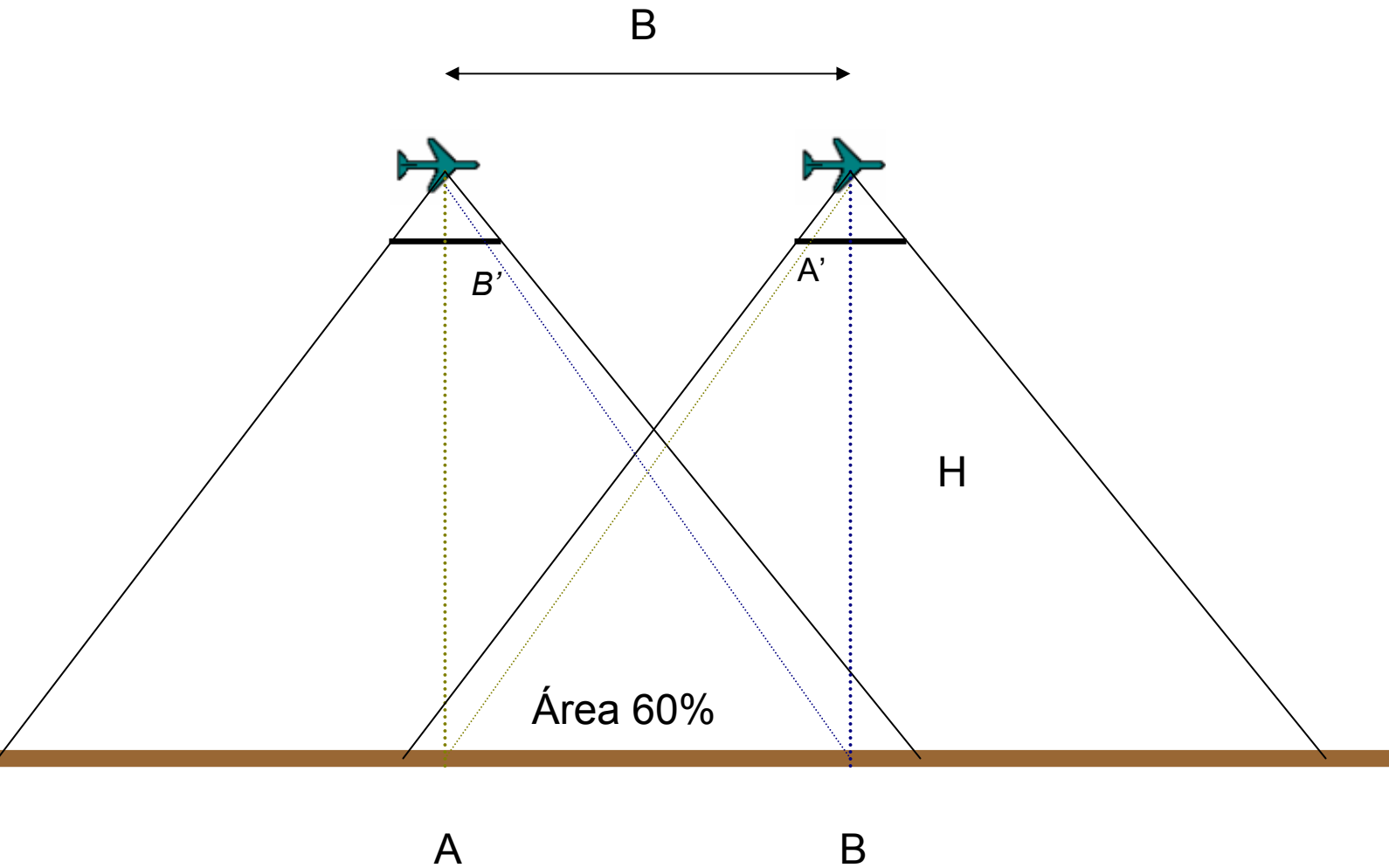
Polarização passiva



Polarização ativa

## 5- Estereopar: visão tridimensional

- Para que haja visão estereoscópica muito importante à fotogrametria e fotointerpretação é necessário que uma mesma porção do terreno seja fotografada de dois diferentes ângulos de visada. Em geral num vôo fotogramétrico um *estereopar* possui um recobrimento longitudinal de 60%.
- Um *estereograma* pode ser definido como um par estereoscópico de fotografias corretamente montados e orientados para observação em 3D.

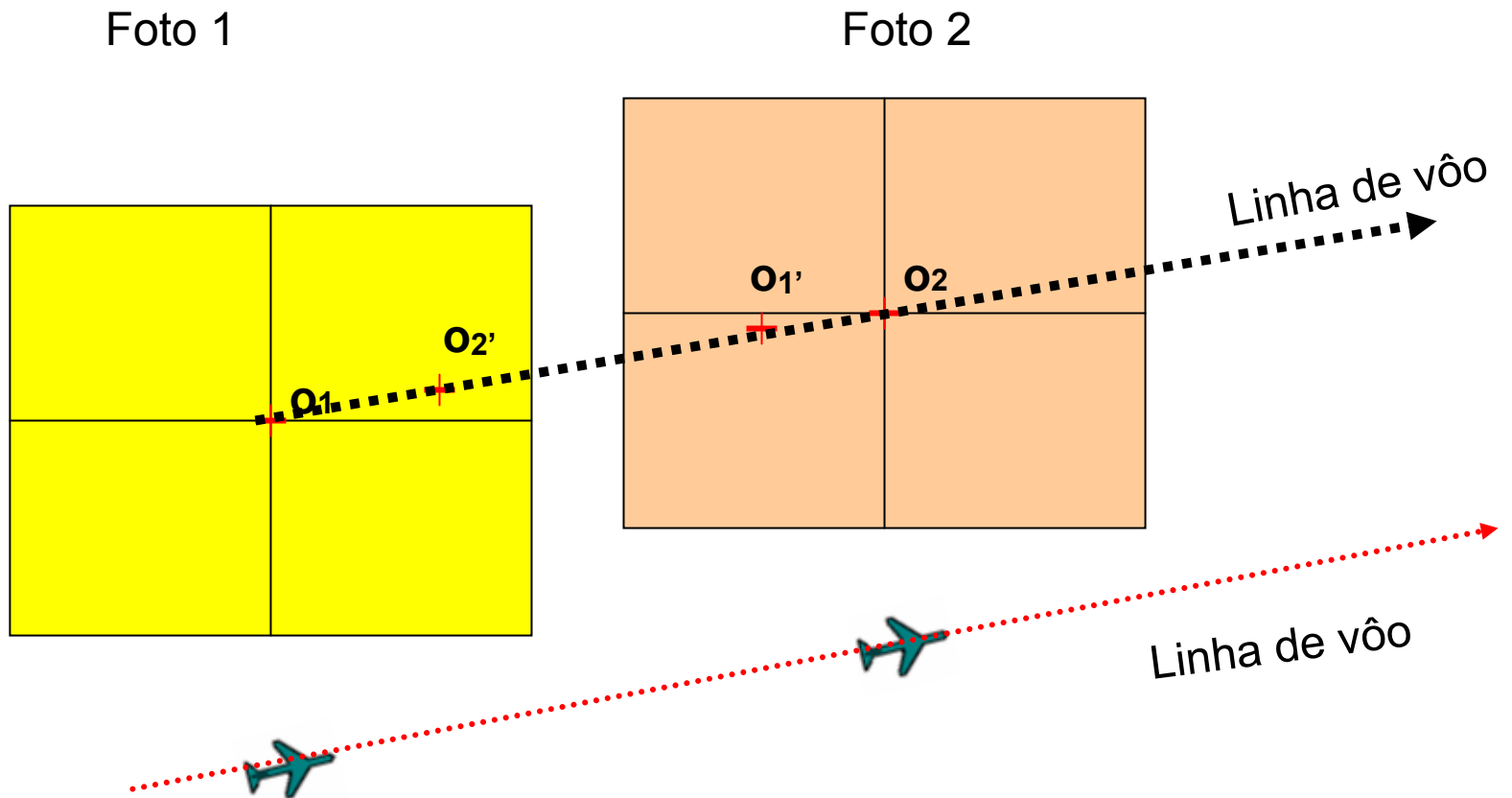


$B$  = base aérea distância entre duas exposições

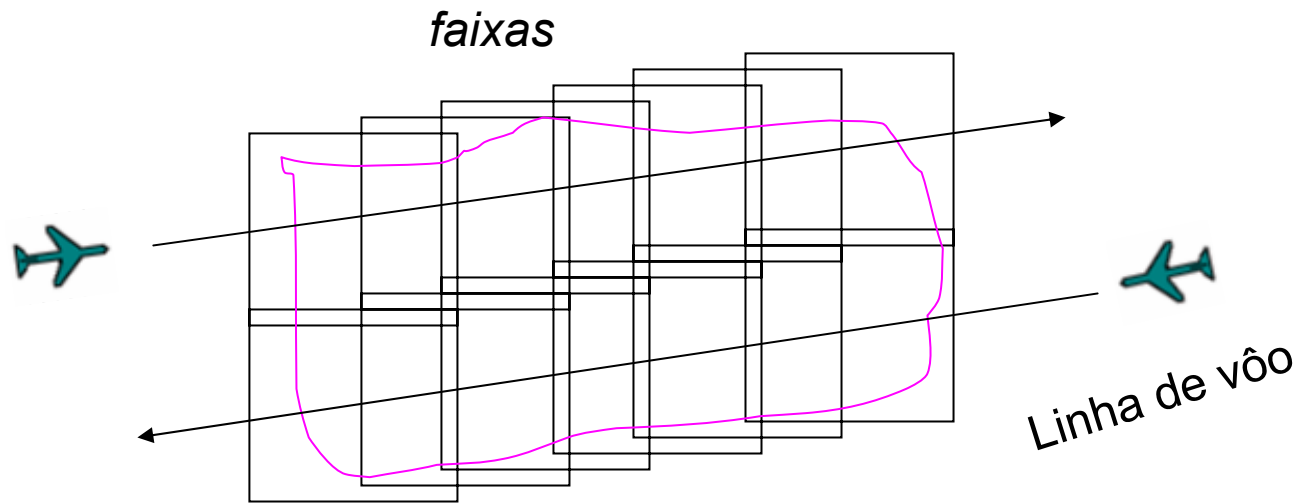
$B'$  e  $A'$  pontos homólogos

## *Linha de vôo*

Pode ser definida em cada foto do estereopar pela linha que passa pelo centro fiducial ( $O_1$ ) desta foto pelo homólogo na outra foto ( $O_{1'}$ ) e vice e versa.

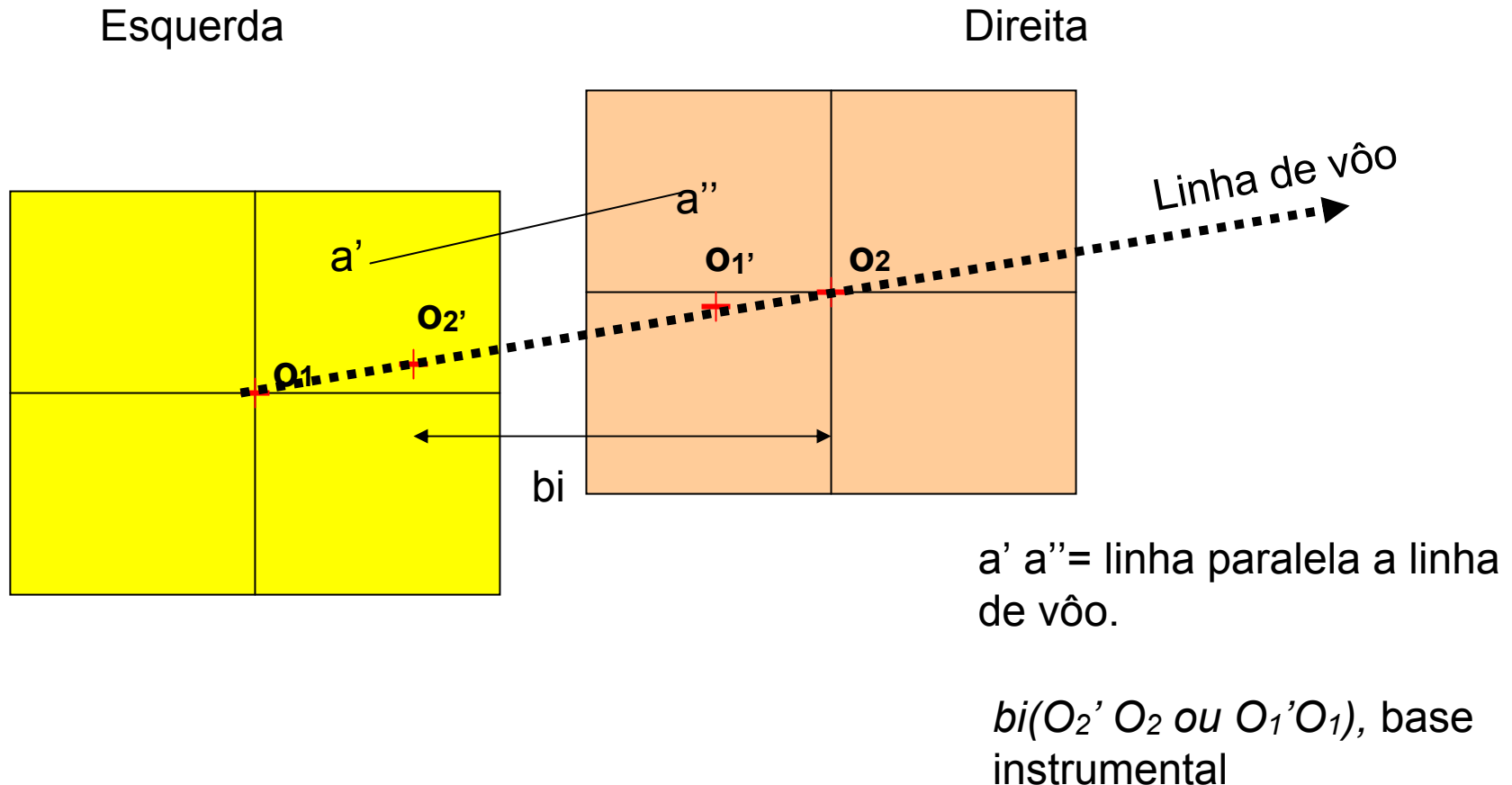


# Faixa aerofotogramétrica



## Orientação do estereopar (visão 3D)

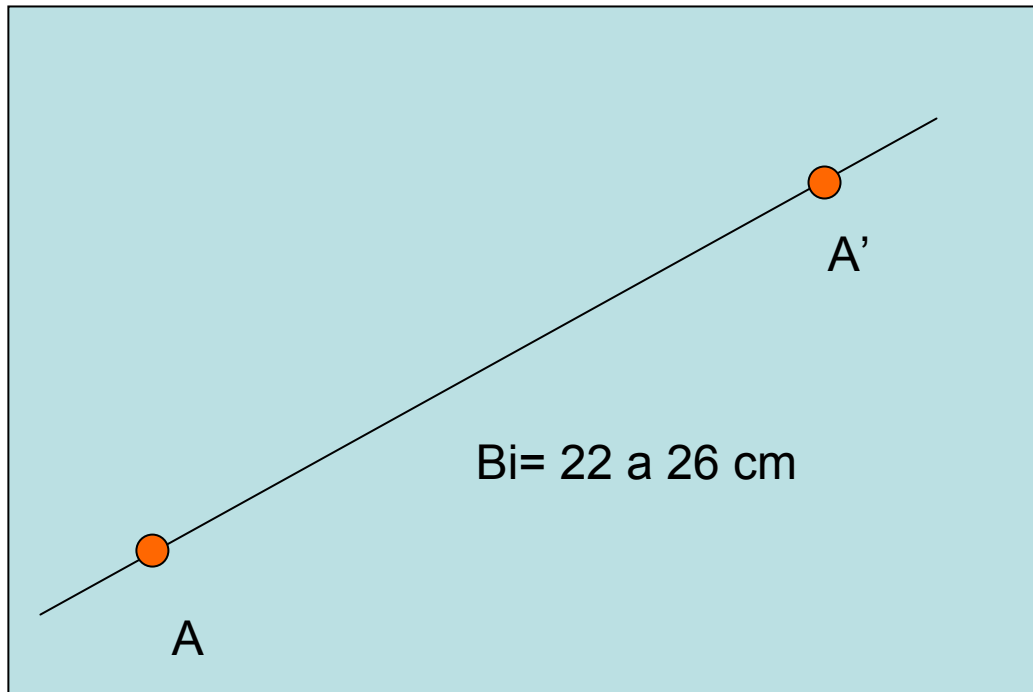
Antes de se obter a visão estereoscópica ou 3D de um par estereoscópico é necessário orientar corretamente as fotografias sob o mesmo.





## Exercício 1: determinação da Linha de vôo

- Determine a sua base instrumental: coloque uma folha A4 com uma reta desenhada a lápis com um ponto A do lado esquerdo, sob um estereoscópio de espelho, com a ocular direita fechada. Agora com as duas oculares, tente determinar o homólogo do ponto A, sob o estetoscópio e marque o homólogo A'.
- Determine a distancia entre A e A', base instrumental, que permite ver em 3D confortavelmente.

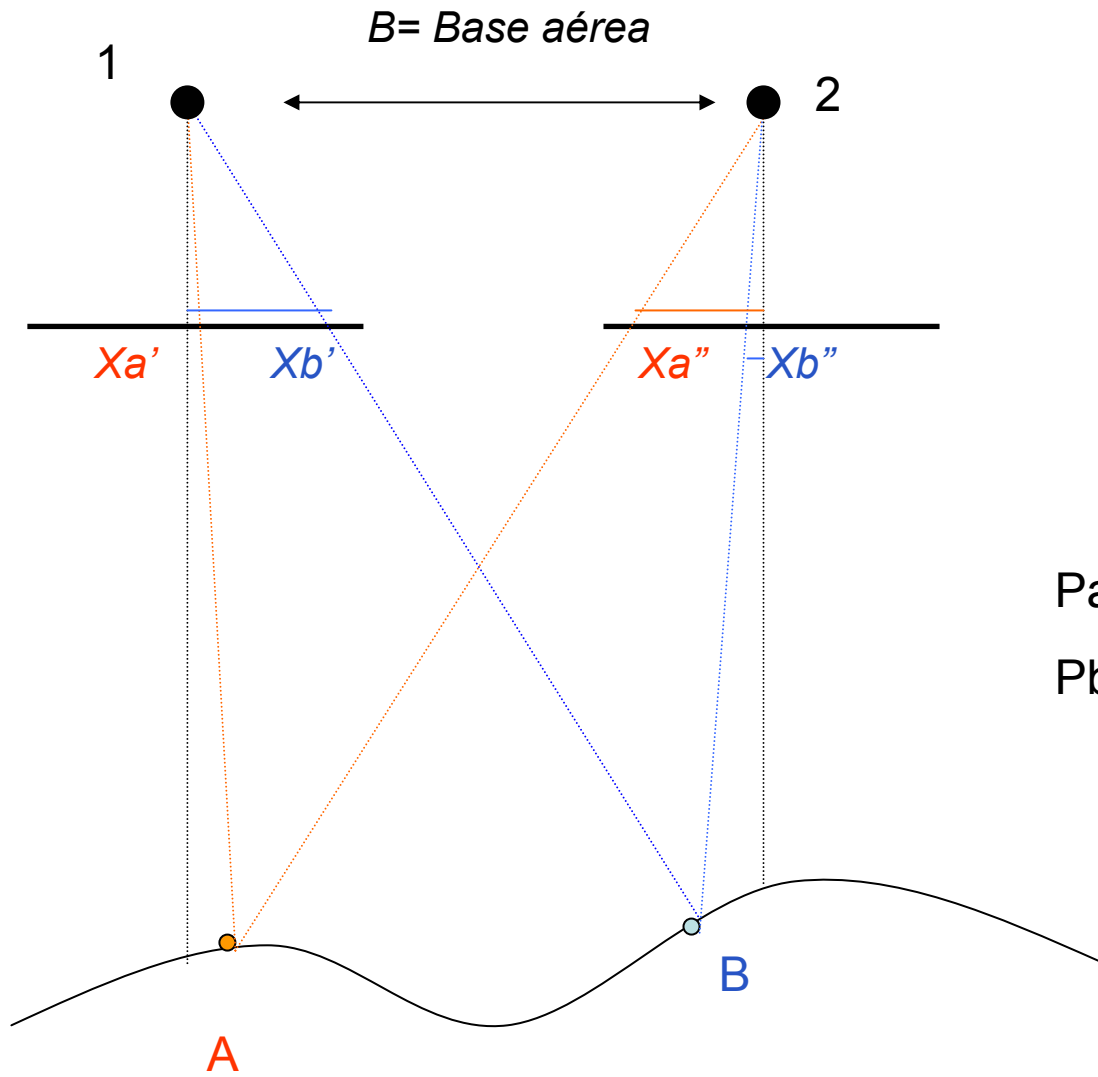


*folha*

## 5.2- Paralaxe e suas medidas

- A paralaxe é definida como o deslocamento aparente da posição de um objeto causada pela mudança do ponto de observação, tendo como referencia uma linha ou a um ponto. A paralaxe é medida ao longo do eixo X nas aerofotos de recobrimento;
- A Paralaxe é tanto maior quanto mais próximo estiver o objeto do observador móvel(avião).

*Exemplo: Ao se observar o peso de um objeto através da fiel de uma balança poderá ter uma leitura diferente conforme o observador se mova para esquerda e/ou para direita*



$B = \text{Base aérea}$

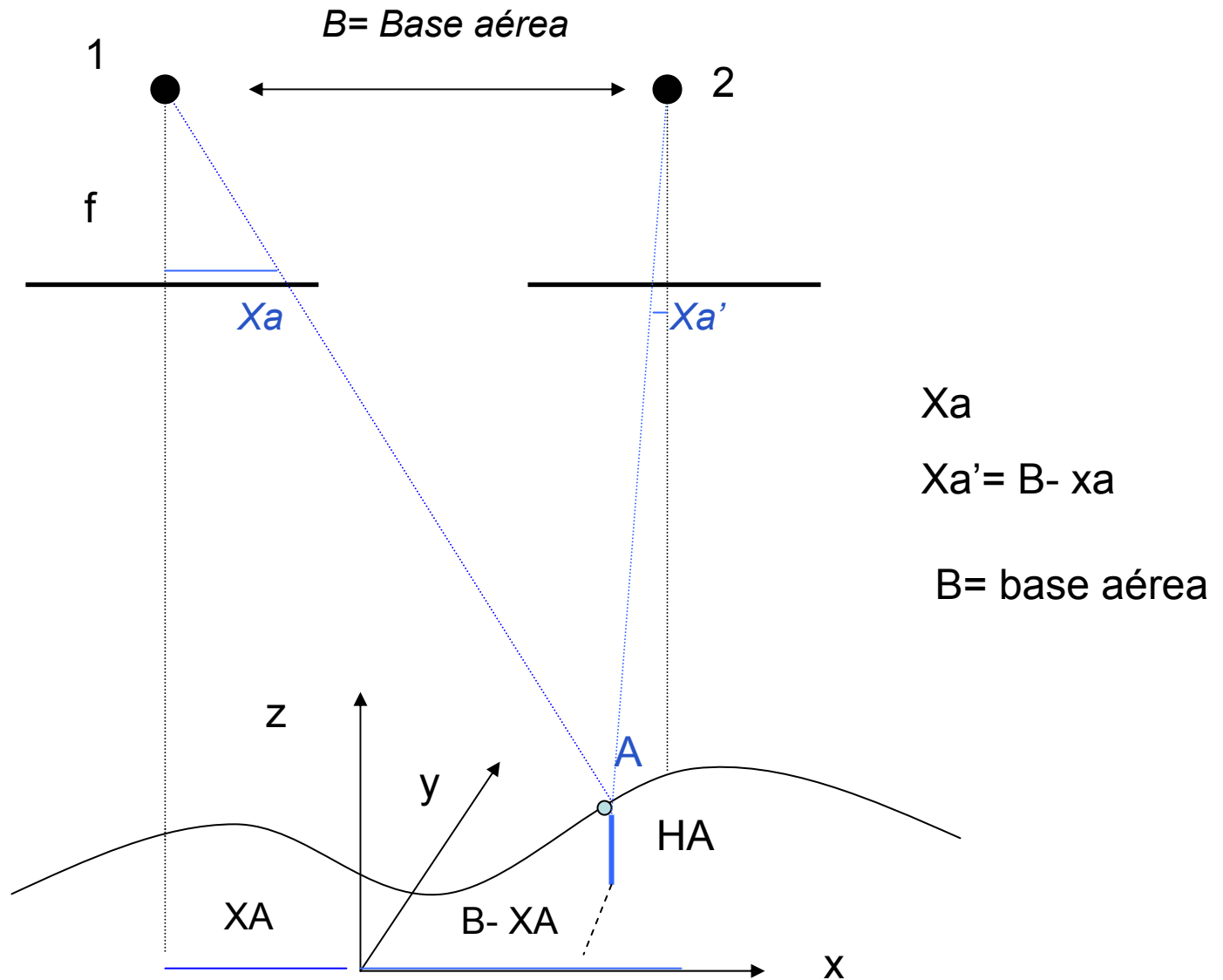
Paralaxe é baseada na diferença de coordenadas x em relação as abscissas do par

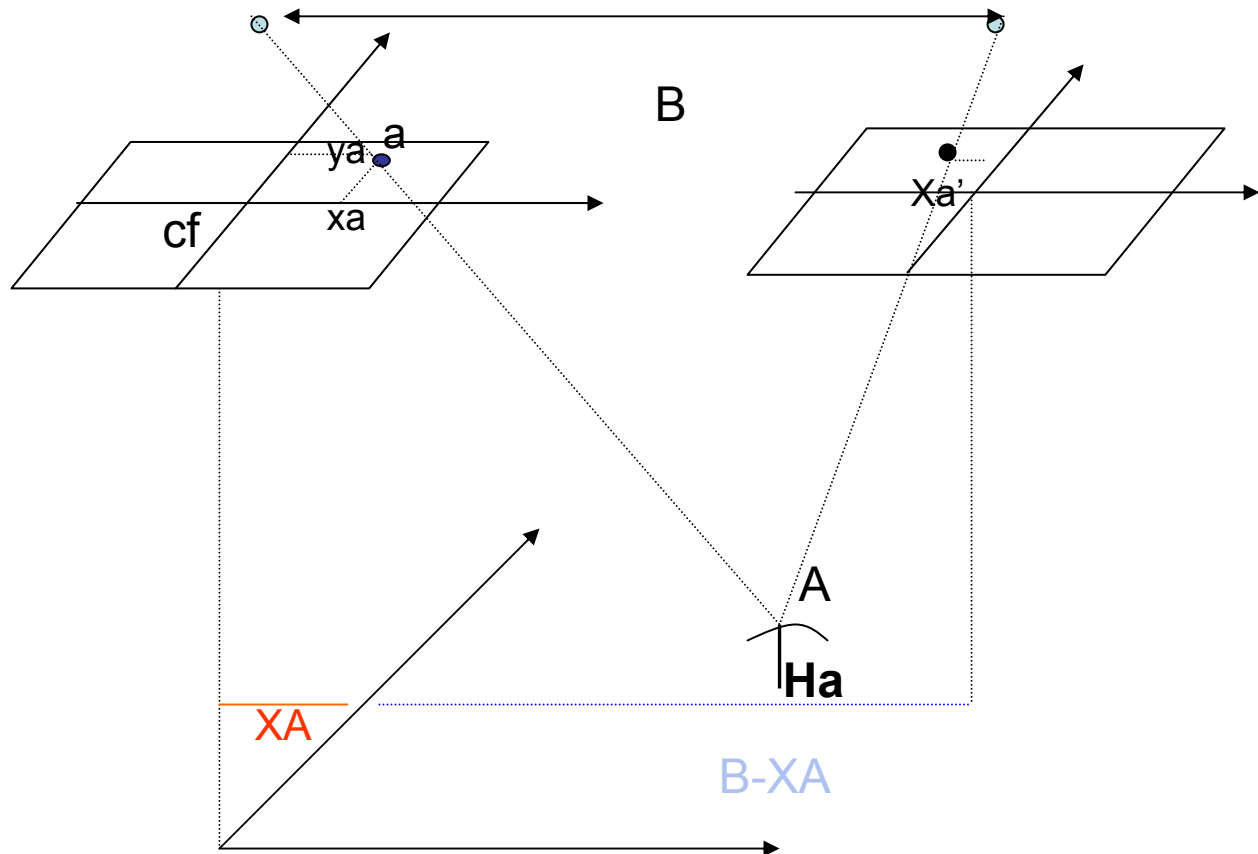
$$Pa = xa' - xa''$$

$$Pb = xb' - xb''$$

## Equação Geral da Paralaxe

A equação da paralaxe é bastante a fotointerpretação pois permite determinar desníveis entre pontos na aerofoto.





$$\frac{f}{H - H_a} = \frac{-x_{a'}}{B - X_a}$$

$$X_a = B + \frac{(H - H_a) x_{a'}}{f}, \text{ ainda } X_a = \frac{(H - H_a) \cdot x_a}{f}$$

Igualando as formulas

$$\frac{(H - HA).x_a}{f} = \frac{B}{f} + \frac{(H - HA).x_{a'}}{f}$$

tem-se:

$$(H - HA).x_a = Bf + (H - HA).x_{a'};$$

$$Bf = (H - HA)(x_a - x_{a'});$$

$$\text{Seja } P_a = x_a - x_{a'}$$

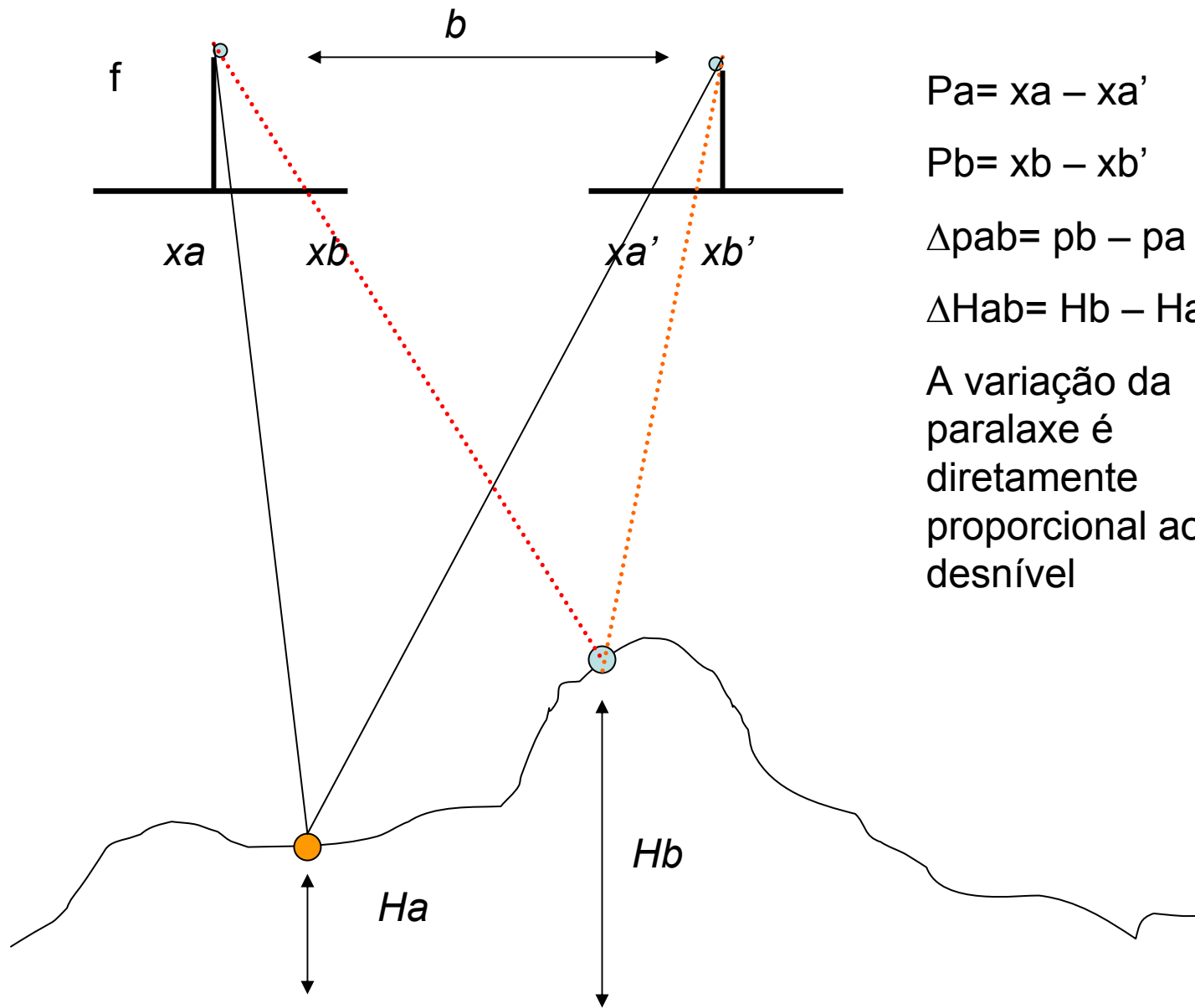
$$Bf = (H - HA)P_a$$

$$\mathbf{HA = H - \frac{B f}{P_a}}$$

(1)

multiplicando as equações por f,

Esta fórmula permite o cálculo da altitude de um ponto baseado em H, B e f.



$$Pa = xa - xa'$$

$$Pb = xb - xb'$$

$$\Delta p_{ab} = pb - pa$$

$$\Delta H_{ab} = Hb - Ha$$

A variação da paralaxe é diretamente proporcional ao desnível

## DESNÍVEL ENTRE DOIS PONTOS

Sejam dois pontos na foto A e B

$$H_A = H - \frac{B \cdot f}{P_a} \qquad H_B = H - \frac{B \cdot f}{P_b}$$

Seja  $\Delta H = H_B - H_A$

$$\Delta H = \left( H - \frac{B \cdot f}{P_a} \right) - \left( H - \frac{B \cdot f}{P_b} \right)$$

$$\Delta H = \frac{B \cdot f (P_b - P_a)}{P_b \cdot P_a}$$

Seja  $\Delta p = P_b - P_a$  e  $P_b = P_a + \Delta p$

$$\Delta H = \frac{B \cdot f \cdot \Delta p}{P_a(P_a + \Delta p)} \quad (2)$$

*B = base aérea*

*P<sub>a</sub> = paralaxe em a*

*Δp = diferença de paralaxe entre a e b*

*ΔH = desnível entre a e b*



Equação Baseada na altitude de um ponto

$$\frac{b (o_1 o_2')}{B (o_1 o_2)} = \frac{f}{HA} \quad \text{ou} \quad B = \frac{bHA}{f}$$

Substituindo (2) na equação (1)

$$\Delta H = \frac{b HA f \Delta p}{Pa(Pa + \Delta p)}, \text{ seja } Pa = \text{base fotogr\u00e1fica}$$

$$\Delta H = \frac{HA \Delta p}{b + \Delta p}$$

Ou ainda :

$$HB = HA + \frac{(H' \Delta p)}{b + \Delta p} \quad (3)$$

Ainda uma outra forma de se determinar o desnível entre dois pontos seria:

Seja  $B_f = (H - H_A)P_a$ , logo

$P_a = B_f / (H - H_a)$  e um ponto b,  $P_b = B_f / (H - H_b)$

$\Delta p_{ab} = p_b - p_a = [B_f / (H - H_b)] - [B_f / (H - H_a)];$

Donde desenvolvendo chega-se a:

$$\Delta H_{ab} = \frac{\Delta p_{ab}(H - H_b)}{p_a} \quad (4)$$

Simplificando: seja  $P_a =$  base fotográfica b e  $H - H_b = H'$ , tem-se:

$$\Delta H_{ab} = \frac{\Delta p_{ab} H'}{b} \quad (5)$$

A equação (5) é uma aproximação

## 5.2.1 Métodos de determinação a paralaxe

A)- Método das foto-coordenadas (monoscópico)

Exemplo: foram medidas as coordenadas de dois pontos num aeropar sendo:

$$xa = 90,51 \text{ mm}$$

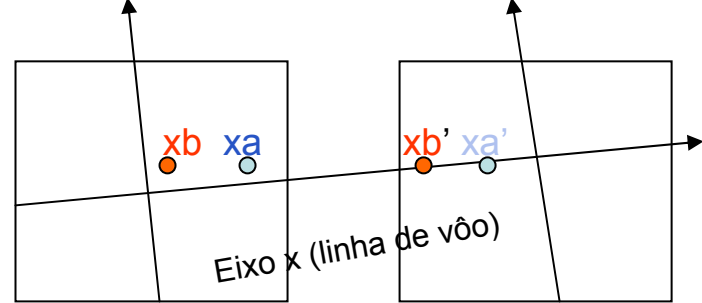
$$xa' = 15,40 \text{ mm}$$

$$xb = 05,32 \text{ mm}$$

$$xb' = -62,47 \text{ mm}$$

Dados  $H = 3800 \text{ m}$ ,  $f = 152 \text{ mm}$  e base aérea  $1320 \text{ m}$ .

Determinar  $\Delta H_{ab}$  .



Cálculo da paralaxe

$$Pa = xa - xa' = 90,51 - 15,40 = 75,11 \text{ mm}$$

$$Pb = xb - xb' = 05,32 + 62,47 = 67,79 \text{ mm}$$

$$Ha = H - Bf/Pa \text{ e } Hb = H - Bf/Pb$$

$$\Delta Hab = Hb - Ha$$

Assim:

$$Ha = 3800 - (1320 \text{ m} \times 152 \text{ mm}) / 75,11 \text{ mm} = 1128,72 \text{ m}$$

$$Hb = 3800 - (1320 \text{ m} \times 152 \text{ mm}) / 67,79 = 840,27 \text{ m}$$

$$\Delta Hab = 840,27 - 1128,72 = -288,45 \text{ m}$$

Usando uma outra expressão :

$$\Delta H_{ab} = \frac{B f \Delta p}{Pa(Pa + \Delta p)}$$

$$\Delta p_{ab} = 67,79 - 75,11 = -7,32 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{ab} = \frac{1.320.000 \text{ m} \times 152 \text{ mm} \times -7,32 \text{ mm}}{75,11(75,11 - 7,32) \text{ mm}}$$

$$\Delta H_{ab} = -288,45 \text{ m}$$

Através da equação simplificada da paralaxe determine o desnível entre dois pontos da fotografia aérea na escala 1: 10.000 dada a variação de paralaxe igual a 1,67mm. Dados: Base aérea 1100 metros e  $f = 152,4 \text{ mm}$ .

*Equação simplificada da paralaxe*

$$\Delta H_{ab} = \frac{\Delta p_{ab} H'}{b}$$

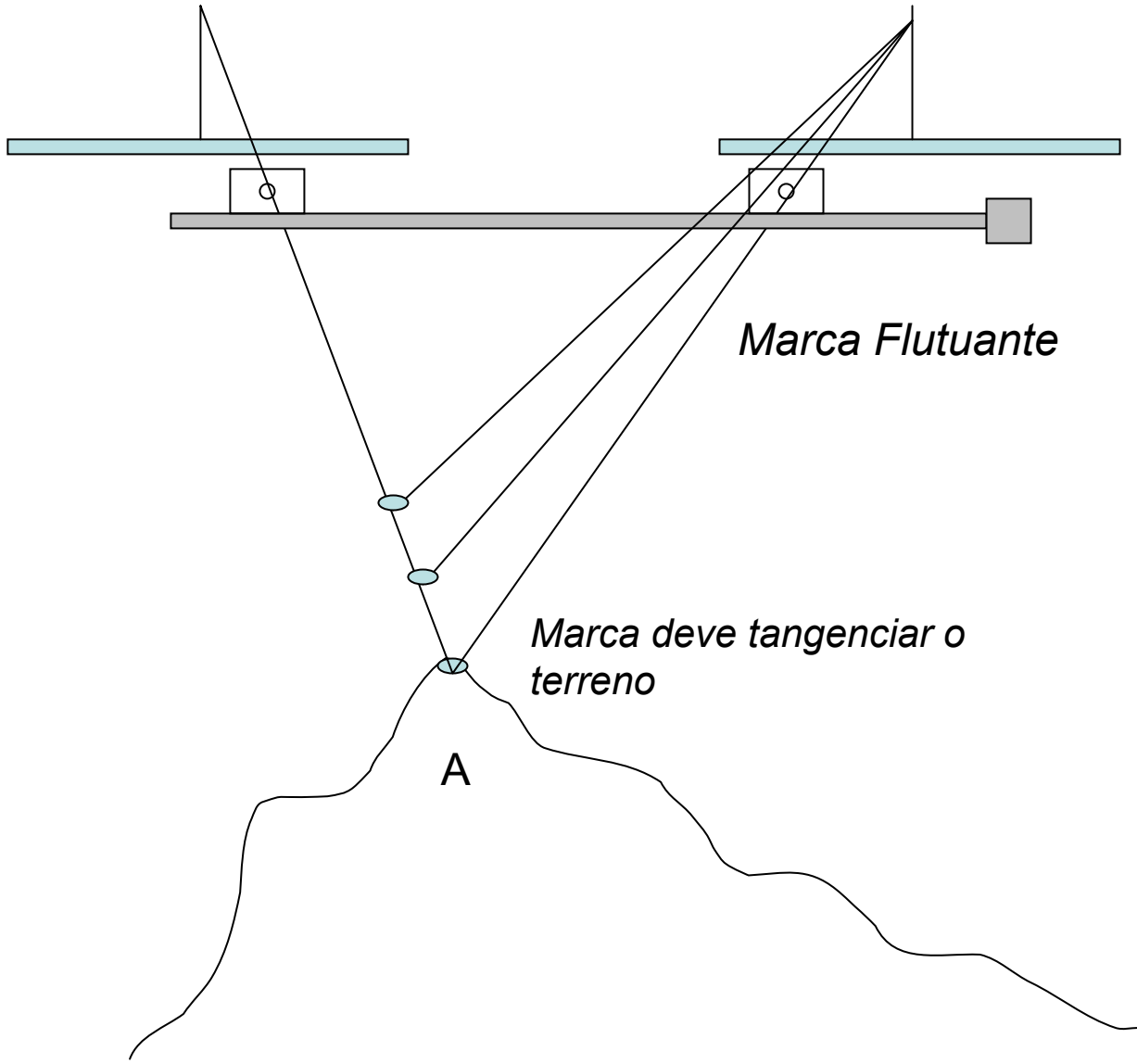
$$\text{determinação de } H' = 10.000 \times 152,4 \text{ mm} = 1.524 \text{ m}$$

$$b = B/E = 1100/10.000 = 110 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{ab} = 1,67 \text{ mm} \times 1524 \text{ m} / 110 \text{ mm} = 23,1 \text{ metros}$$

## 5.2.2- Método Estereoscópico de determinação da paralaxe

- **Revisando** : se observarmos um objeto, alternativamente, com o olho esquerdo e direito, tem-se a impressão que o mesmo muda de posição. Esse aparente deslocamento causado pela mudança do ponto de observação é conhecido como PARALAXE. A aparente elevação de um objeto é devido as diferenças no deslocamento da imagem em duas fotografias adjacentes (estereopar).
- A barra de paralaxe é baseada no princípio da marca flutuante. A marca deve tangenciar o terreno e o observador deve vê-la fundida



*Marca Flutuante*

*Marca deve tangenciar o terreno*

A

A barra de paralaxe permite a determinação diferencial da paralaxe. É sempre medida paralelamente à linha de vôo.

A paralaxe é a soma entre C (constante da paralaxe) e a leitura da barra correspondente ao topo e à base da imagem.

$$P = C + La$$

Calculo de C

A constante da barra pode ser calculada a partir da paralaxe conhecida de um ponto qualquer do modelo. Os pontos principais são convenientemente adotados já que pelo método das coordenadas, suas paralaxes são dadas por:

$$Po1 = x_{o1} - x_{o1}'$$

$$Po2 = x_{o2} - x_{o2}'$$

$$Po1 = b$$

$$Po2 = b'$$

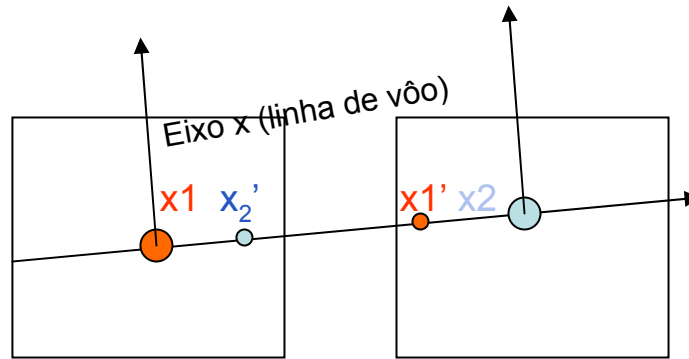
$$C = b - Lo1$$

$$C = b' - Lo2$$



As leituras obtidas  $L_i$  com a barra são conhecidas como paralaxe relativas.

A soma da paralaxe relativa com a constante  $C$  resulta da paralaxe absoluta do ponto, e deve coincidir como os métodos monoscópicos.



$$b_1 = x_1 - x_1'$$

$$b_2 = x_2 - x_2'$$

$$C_1 = b_1 - L_{o1}$$

$$C_2 = b_2 - L_{o2}$$

$$C_1 = C_2 \text{ ou } C = (C_1 + C_2) / 2$$

A diferença de paralaxe pode ser determinada apenas pela leitura da barra.

$$\Delta p_{12} = L_{o2} - L_{o1}$$

## EXERCÍCIOS

1- Foi extraído de uma topográfico, por meio de curvas de nível o desnível entre dois pontos igual a 105,43m. A distância entre este dois pontos no terreno é de aproximadamente 970 m e na fotografia de 3,3 cm. Determine a altitude de vôo sabendo a distancia focal é 154 mm.

2- Determine a altura de um torre sabendo que a a paralaxe absoluta do topo é 11,18 cm. A diferença de paralaxe entre o topo e a base é de 1,52 cm. Determine a altura da torre sabendo escala 1: 5.000;  $f= 305$  mm e base fotográfica medida de 6 cm.

3- Foi medida em uma foto aérea a sombra de um edifício de 0.5 cm e o ângulo de elevação do sol no solstício de verão  $71^\circ$ . Determine a altura do edifício (1: 5.000).

4- Determine o desnível entre dois pontos da fotografia aérea na escala 1: 8000 dada a variação de paralaxe igual a 0,5 mm. Seja a distância entre as tomadas do par de 8 cm na foto.  $f= 152,4$ mm.

5- Dadas as leituras com a barra de paralaxe de 2 pontos ( $L_1= 1,2$  mm e  $L_2= 1,12$  mm). Determine o desnível entre os pontos sabendo que a base aérea é de 1000 e base fotográfica de 8 cm. ( $f= 152,5$  mm).