

Fotografia Aérea – Visada, Câmeras, Filtros e Filme

4

A primeira vista, pode parecer que a técnica de obter e interpretar fotografias aéreas seja uma tarefa rotineira, uma vez que ela já existe há mais de um século. Contudo, esta tarefa pode ser complexa, pois frequentemente importantes decisões têm que ser tomadas para assegurar que sejam obtidas fotografias aéreas de boa qualidade a fim de que possam ser interpretadas corretamente (Narumalani et al., 2002). Muitas dessas decisões têm por base princípios físicos da óptica e da interação da energia luminosa com materiais sensíveis à luz, sendo que algumas questões importantes precisam ser consideradas ao se obter uma fotografia aérea:

- Visada (p.ex., vertical, oblíqua-baixa, oblíqua-alta),
- Câmera (p.ex., analógica, digital, tipo de objetiva),
- Filtros (p.ex., filtro amarelo (*haze* ou névoa), menos azul, filtro passa banda), e
- Tipo de filme (branco e preto, colorido, infravermelho branco e preto, ou infravermelho-colorido).

Quanto maior for o entendimento do intérprete sobre a forma como a fotografia aérea foi obtida, melhor será a sua capacidade de interpretação. Devido ao crescente uso do meio digital tanto na aquisição quanto no processamento das imagens, este capítulo também descreve o processo de digitalização de imagens analógicas.



Visada Vertical e Oblíqua

Uma fotografia aérea pode ser obtida com visada vertical ou oblíqua em função dos requisitos do projeto.

Fotografia Aérea Vertical

Uma fotografia aérea é considerada vertical quando o eixo óptico da câmera está dentro de $\pm 3^\circ$ da vertical (perpendicular) à superfície da Terra (Figura 4-1a). A Figura 4-1b apresenta uma fotografia aérea vertical branco e preto mostrando parte dos meandros, em formato de pescoços de ganso (*Goosenecks*), do rio San Juan em Utah, EUA. Dentro do campo de visada vertical desta fotografia aérea podem ser obtidas informações qualitativas detalhadas sobre a geologia da superfície, geomorfologia e hidrologia. Esta fotografia aérea, em conjunto com outras fotografias aéreas verticais sobrepostas e obtidas em posições ligeiramente diferentes, pode ser analisada aplicando-se os princípios quantitativos da fotogrametria (discutidos no Capítulo 6) para gerar as seguintes informações:

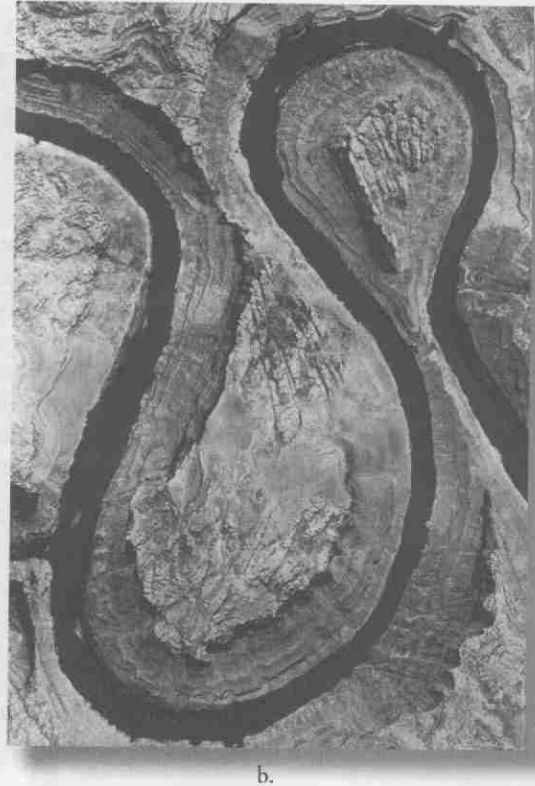
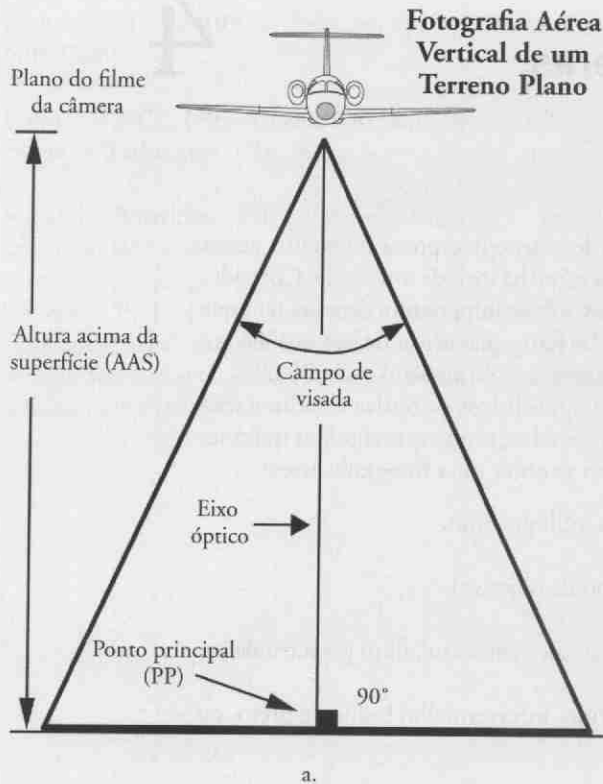


Figura 4-1 a) Uma fotografia aérea vertical tem $\leq 3^\circ$ de inclinação em relação a uma linha perpendicular ao terreno. b) Uma fotografia aérea vertical mostrando os meandros em forma de pescoços de ganso (*Goosenecks*) do rio San Juan em Utah, EUA.

- *mapas planimétricos* (coordenadas x, y) de alvos, e feições naturais (p.ex., rede de drenagem, afloramentos rochosos) e artificiais (p.ex., trilhas, estradas, edificações);
- *mapas topográficos* (altitude z);
- *modelos digitais de elevação* (DEMs);
- *ortofotos* (fotografias aéreas geometricamente corrigidas em x, y).

Os analistas envolvidos no gerenciamento dos recursos naturais às vezes esquecem-se de que os mapas planimétricos ou topográficos e as ortofotos, utilizadas em quase todos os sistemas de informação geográfica (SIG), são criados a partir dos princípios fundamentais da fotogrametria aplicados às fotografias aéreas verticais (Jensen et al., 2002; 2005). Por exemplo, a série de mapas na escala 1:24.000 do Levantamento Geológico dos Estados Unidos (USGS) e vários modelos digitais de elevação são gerados com base na fotogrametria (Linder, 2003).

Fotografias aéreas verticais são adquiridas para uma grande variedade de aplicações na área dos recursos naturais e do planejamento (Miller et al., 2003; Paine e Kiser, 2003). Veja por exemplo a fotografia aérea vertical de Gulfport,

Mississippi, EUA, apresentada na Figura 4-2. Ela mostra os danos causados pelo vento e pela ressaca ao Grand Cassino, indicando que uma parte do cassino rompeu-se e foi levada pela ressaca até a rodovia I-90. Também os containers de um armazém próximo ao cassino foram espalhados pela força da ressaca e do vento. Uma versão colorida desta fotografia aérea vertical pode ser vista na Prancha Colorida 4-1.

Para interpretar de forma correta e eficiente uma fotografia aérea vertical do terreno é necessária uma boa prática e experiência, pois não estamos acostumados a ver de cima prédios, árvores, estradas, etc.

Fotografia Aérea Oblíqua

Uma *fotografia aérea oblíqua* ou *inclinada* é aquela em que o eixo óptico da câmera está deslocado da vertical em alguns graus (Wolf e DeWitt, 2000). Quando o horizonte da fotografia não for visível então ela é chamada de *fotografia aérea oblíqua-baixa* (Figura 4-3a). A Figura 4-3b mostra uma *fotografia aérea oblíqua-baixa* obtida a uma altura de 183 m (600 pés) sobre uma ponte do rio Congaree na Carolina do Sul, EUA. Uma análise visual da fotografia mostra os detalhes da estrutura da ponte.

Fotografia Aérea Vertical do Dano Causado pelo Furacão Katrina em Gulfport, MS, EUA em 30 de Agosto de 2005



Figura 4-2 Fotografia aérea vertical obtida em 30 de agosto de 2005 registrando os danos causados pelo vento e pela tempestade do furacão Katrina em Gulfport no Estado de Mississippi, EUA (cortesia da Divisão de Sensoriamento Remoto da NOAA).

Uma *fotografia aérea oblíqua-alta* é aquela em que o horizonte é visível na fotografia (Figura 4-4a). A Figura 4-4b mostra uma *fotografia oblíqua-alta* da barragem de Grand Coolee no Estado de Washington, EUA. Esta fotografia oblíqua foi obtida em 1940 durante a construção da barragem e representa um valioso registro histórico da paisagem criada para abrigar os trabalhadores da obra.

Em geral, é mais fácil interpretar uma fotografia aérea oblíqua do que uma fotografia aérea vertical, pois estamos acostumados a ver as coisas lateralmente. Por exemplo, é bem mais fácil identificar as feições na fotografia aérea oblíqua-baixa de Gulfport, Mississippi apresentada na Figura 4-5 do que na fotografia aérea vertical da Figura 4-2. Observamos com facilidade na Figura 4-5 a parte do Grand Cassino que foi deslocada para a rodovia I-90 e a fachada do Grand Hotel ao fundo. Uma versão colorida da fotografia aérea oblíqua-baixa é encontrada na Prancha Colorida 4-1.

Para analisar uma fotografia aérea oblíqua ela deve ser posicionada de tal forma que os objetos de interesse apa-

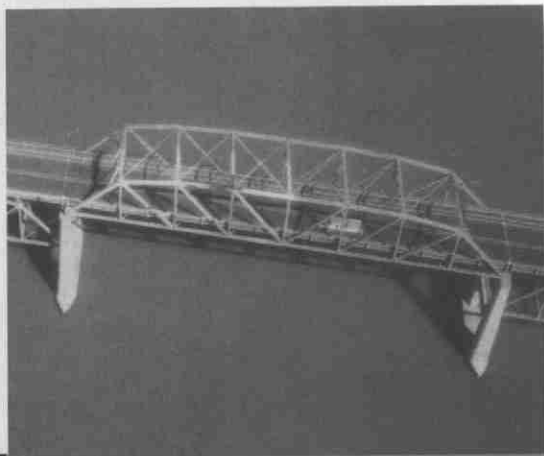
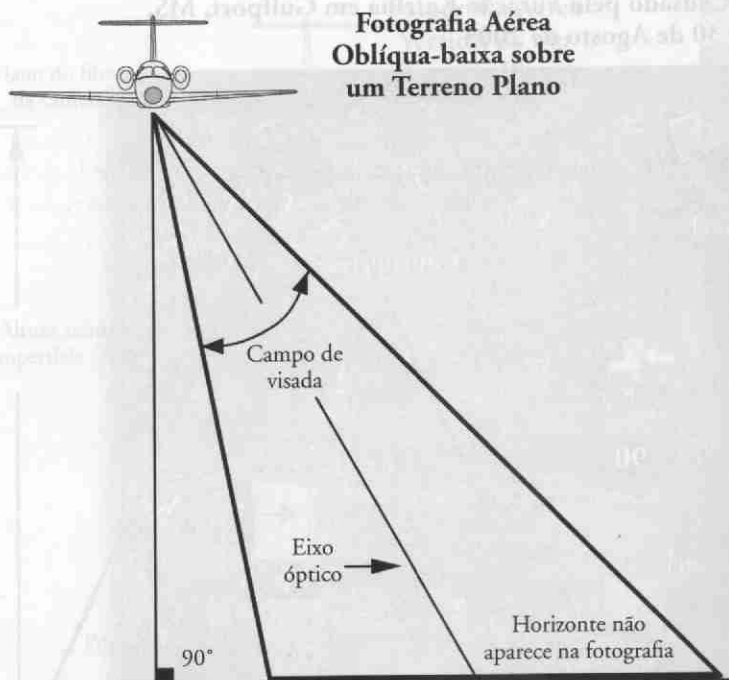
reçam em sua perspectiva natural. Normalmente, isto significa que os objetos com elevação aparentemente se afastem de quem vê a imagem.

Em geral, as fotografias aéreas oblíquas não são utilizadas para extrair informações quantitativas e, portanto, os princípios fotogramétricos destas fotografias não serão tratados neste livro, mas podem ser consultados no *Manual de Fotogrametria* (McGlone, 2004). A discussão aqui apresentada tem seu foco na obtenção de fotografias aéreas quase-verticais e na extração de informações qualitativas e quantitativas.



Câmeras Aéreas

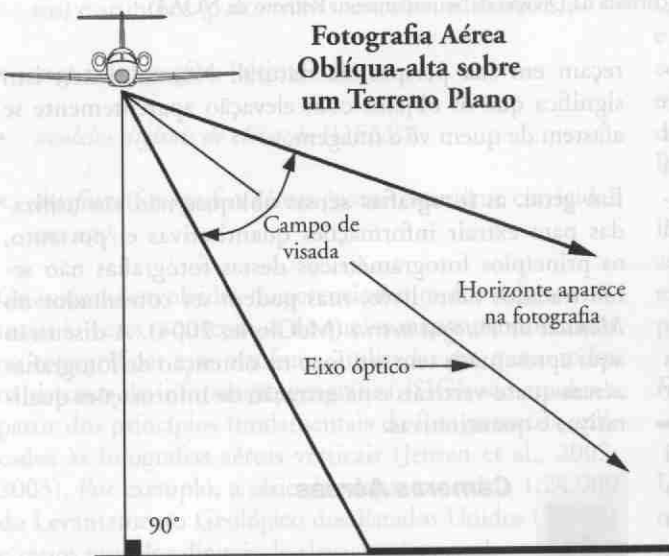
Uma das primeiras câmeras comercialmente disponíveis foi feita por Samuel F. B. Morse, o inventor do código Morse (Figura 4-6). As atuais câmeras são muito mais sofisticadas do que esta simples câmera em forma de caixa, mas existem entre elas algumas características básicas em comum.



a.

b.

Figura 4-3 a) Uma fotografia aérea oblíqua-baixa é inclinada em $>3^\circ$ da vertical e o horizonte não é visível. b) Uma fotografia aérea oblíqua-baixa de uma ponte do rio Congaree próximo a Columbia no Estado da Carolina do Sul, EUA. A fotografia foi obtida a uma altura de aproximadamente 183 m (600 pés). Uma fotografia aérea oblíqua deve ser vista de tal forma que as feições mais importantes, como a ponte, se distanciem do observador.



Barragem de Grand Coulee no Estado de Washington, EUA



a.

b.

Figura 4-4 a) Uma fotografia aérea oblíqua-alta é inclinada em $>3^\circ$ da vertical e o horizonte é visível. b) Uma fotografia aérea oblíqua-alta da barragem de Grand Coulee em Washington, EUA obtida em 1940. As casas foram construídas para os trabalhadores durante a construção da barragem.

Fotografia Aérea Oblíqua-baixa dos Danos Causados pelo Furacão Katrina em Gulfport, MS, EUA em 30 de Agosto de 2005



Figura 4-5 Fotografia aérea oblíqua-baixa obtida em 30 de agosto de 2005 mostrando os danos causados pelo furacão Katrina (cortesia do USGS, Programa de Geologia Costeira e Marinha).



Figura 4-6 Uma das primeiras câmeras comercialmente disponíveis foi encomendada por Louis Daguerre e feita por Samuel F. B. Morse, o inventor do código Morse.

Uma boa maneira para se entender o funcionamento de uma câmera moderna é comparar os seus componentes com os do olho humano (Figura 4-7).

Comparação entre os Elementos da Câmera Aérea e do Olho Humano

A *retina* do olho humano é análoga ao *filme* sensível à luz que está no *plano do filme* localizado no fundo da câmera.

Tanto o olho quanto a câmera usam *lentes* para focalizar a luz refletida do mundo real sobre a retina ou filme. No olho, a quantidade de luz que entra para iluminar a retina é controlada pela íris, que pode expandir-se ou contrair-se em função da intensidade luminosa, e pela pálpebra, que atua como um obturador. Na câmera, a quantidade de luz que chega ao plano do filme é controlada pela *abertura da lente* e por um *obturador* que controla o tempo de *exposição*, ou seja, o tempo que a objetiva fica aberta para permitir a passagem da luz que chega ao filme. O obturador pode ser colocado dentro da objetiva ou em frente ao filme no fundo da câmera, sendo que neste caso é chamado de *obturador de plano focal*.

Plano Focal e Distância Focal

A parte da câmera em que o filme é mantido para ser exposto é chamado de *plano focal* ou *plano do filme*. Quando a câmera está focada no infinito, a distância entre o ponto nodal traseiro da objetiva e o plano do filme é conhecido como *distância focal*. As distâncias focais de algumas objetivas utilizadas para levantamentos aerofotográficos são: 88 mm (3,5"), 152 mm (6"), 210 mm (8,25") e 305 mm (12"). As objetivas com *zoom* têm uma distância focal variável. Já a maioria das câmeras aéreas métricas tem uma distância focal fixa, tal como 152 mm (6"). Distâncias focais maiores, tal como as objetivas de 305 mm (12") são especialmente indicadas para obtenção de fotografia aérea em altas altitudes. Operações de reconhecimento fotográfico militar comumente empregam objetivas de 915 mm (3') a 1830 mm (6') para obter fotografias com detalhes a partir de altas altitudes ou para adquirir fotografias oblíquas de áreas além fronteiras.

*f*stop

A razão entre a distância focal da objetiva da câmera (f) e o diâmetro da abertura da objetiva (d) é conhecida por *f* stop ou abertura relativa da objetiva ou do sistema óptico:

$$f\text{stop} = \frac{\text{Distância focal da objetiva}}{\text{diâmetro da abertura da objetiva}} \quad (4-1)$$

A razão *f*stop é também usada para designar a definição da *velocidade* do sistema óptico da câmera. Por exemplo, uma câmera com distância focal de 100 mm e um diâmetro máximo de abertura da lente de 10 mm (chamada de *abertura máxima*) terá uma objetiva com *velocidade* de *f*10, ou seja, esta é a abertura relativa máxima da objetiva ou do sistema óptico:

$$f10 = \frac{100 \text{ mm}}{10 \text{ mm}}$$

Se o diâmetro máximo de abertura da objetiva fosse o dobro, ou seja, 20 mm ao invés de 10 mm, a razão entre a

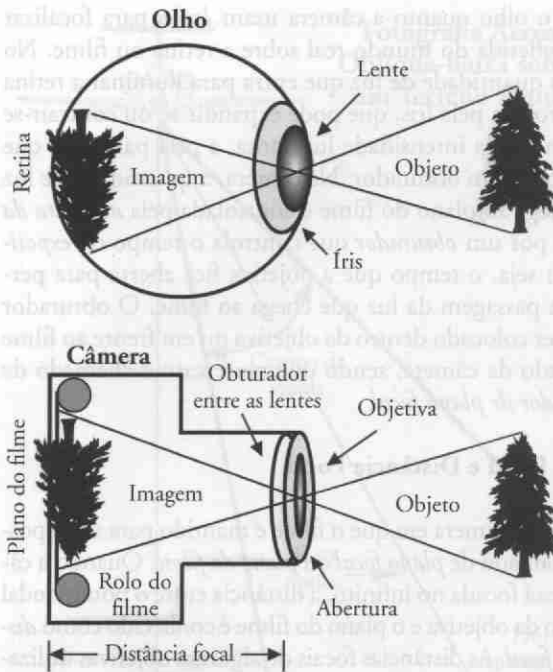


Figura 4-7 Comparação entre os elementos ópticos da câmera e do olho humano.

distância focal e a abertura máxima seria $f/5$ o que significa que esta objetiva é mais *veloz* do que a de $f/10$, pois ela permite que mais luz passe por ela, em sua abertura máxima, por unidade de tempo. A aeronave está sempre em grande velocidade durante a obtenção das fotografias aéreas (exceto para helicópteros, balões cativos ou pipas). Portanto, é importante que a fotografia aérea seja obtida de forma rápida para que os alvos apareçam nítidos na fotografia, e não tremidos ou borrados em função do movimento do avião durante o tempo de exposição do filme. Assim, as câmeras aéreas geralmente têm objetivas bem velozes que permitem obter fotografias estáticas da superfície como se a aeronave não estivesse em movimento. As câmeras com objetivas *velozes* são usadas em conjunto com filmes muito sensíveis (a ser discutido) para diminuir ainda mais o tempo de exposição do filme.

Uma sequência completa de valores de $f/stop$ começando em $f/1$ pode ser gerada multiplicando o valor da abertura relativa da objetiva ($f/stop$) por 1,4142136 (raiz quadrada de 2) o que resulta em aberturas relativas sempre menores. Por exemplo, a sequência de incrementos da abertura relativa de uma objetiva é $f/1$, $f/1.4142$, $f/2$, $f/2.828$, $f/4$, $f/5.656$, $f/8$, $f/11$, $f/16$, $f/22$, $f/32$, etc., conforme mostrado na Tabela 4-1. Cada valor da abertura relativa da objetiva desta série transmite metade da quantidade de luz do valor da abertura anterior (i.e., $f/8$ transmite metade da quantidade de luz de $f/5.6$). Por exemplo, se a abertura relativa for diminuída de $f/11$ para $f/16$, então a quantidade de luz

Tabela 4-1. Série Internacional de $f/stop$ s e de velocidades do obturador.

Abertura Relativa ou $f/stop$	
Maior abertura relativa da objetiva – Menor abertura relativa da objetiva	
$f/1$ ---1.4---2---2.8---4---5.6---8---11---16---22---32---etc.	
Velocidades do obturador	
Mais lento ----- Mais rápido	
1-1/2-1/4-1/8-1/16-1/30-1/60-1/125-1/250-1/500-1/1000-1/2000-etc.	

que chega ao plano do filme será reduzida pela metade. Se a abertura relativa for aumentada de $f/16$ para $f/11$ então a abertura do diafragma fica duplicada e, conseqüentemente, a quantidade de luz que chega ao plano do filme será duplicada. A Figura 4-8 ilustra a abertura do diafragma e os valores de $f/stop$. A *velocidade de uma objetiva* é dada pela abertura relativa máxima da objetiva quando o diafragma está todo aberto. Assim, a *velocidade da objetiva* apresentada na Figura 4-8 é $f/2.8$ (London e Upton, 1994).

Velocidade do Obturador

Para assegurar que a emulsão do filme irá receber a quantidade correta de luz, o fotógrafo aéreo deve selecionar a correta combinação entre a abertura do diafragma (i.e., o $f/stop$) por onde passa a luz e o tempo que o filme fica exposto à luz que passa pela objetiva. O tempo que o obturador permanece aberto é chamado de *tempo de exposição*, que é controlado pelo mecanismo do obturador. A velocidade do obturador ou tempo de exposição do filme em uma câmera normalmente varia de “bulbo” (*bulb* em inglês), que dura o tempo que o fotógrafo permanece com o disparador acionado, de 1 segundo, 0,75; 0,5; 0,25, 1/100, 1/200, 1/400, 1/500, 1/1.000 e 1/2.000 segundo. Por exemplo, a exposição ideal para uma fotografia aérea tirada às 13:00 horas em condições de céu aberto pode ser de abertura relativa de $f/16$ com velocidade do obturador de 1/200 segundo. Se o céu acima da aeronave repentinamente ficar nublado o terreno receberá menor iluminação, e o fotógrafo aéreo terá que aumentar o tempo de exposição ou a abertura do diafragma para compensar a menor quantidade de radiação refletida pela superfície e propiciar que o filme seja exposto corretamente. Se ele aumentar a abertura relativa de $f/16$ para $f/11$ ele irá dobrar a área de abertura para a passagem da luz. Mas ele também pode manter a câmera com abertura relativa de $f/16$ e alterar a velocidade do obturador de 1/200 para 1/100 o que irá dobrar o tempo de exposição do filme. Qualquer uma das duas alternativas irá resultar no mesmo aumento da quantidade de luz que chega ao filme. Agora vamos assumir que o fotógrafo estivesse com a exposição correta do filme em $f/16$ e 1/200 s, e que por alguma razão o piloto dissesse que teria que aumentar a

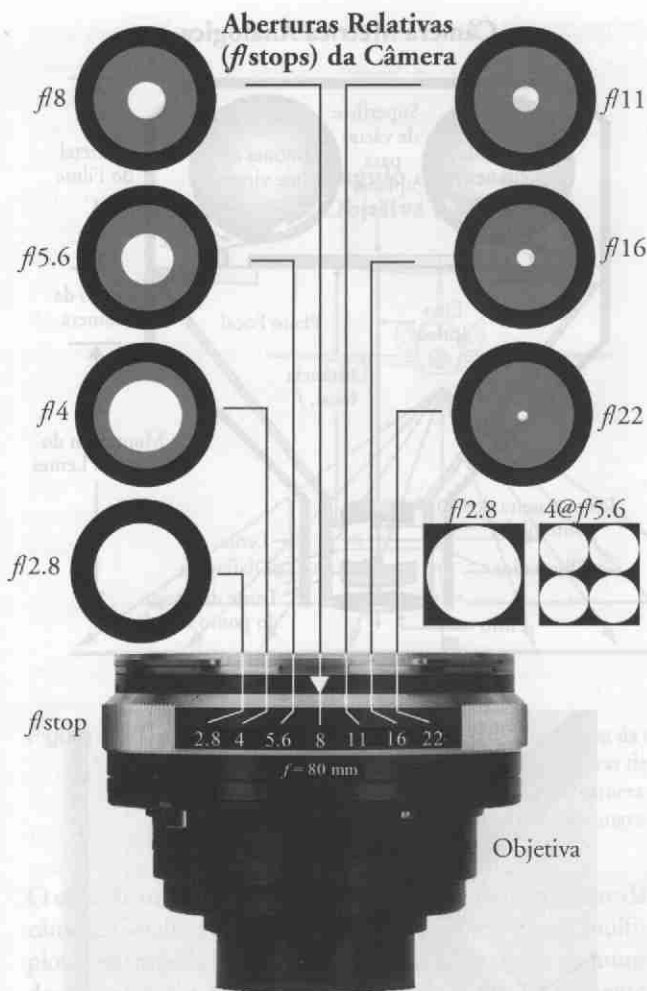


Figura 4-8 Aberturas relativas ou número f (f/stops) para a objetiva de uma câmera e o tamanho da abertura do diafragma. Neste exemplo, os f/stops variam de $f/2.8$ a $f/22$, com o tamanho do diafragma mostrado pelos círculos brancos. O menor f/stop tem a maior abertura e permite que mais luz passe pela objetiva. Quanto maior o valor do f/stop menor é a quantidade de luz que passa pela objetiva. A cada variação do f/stop para menos ou para mais, entra o dobro ou a metade de luz, respectivamente. Por exemplo, são necessários quatro círculos com abertura de diafragma de $f/5.6$ para igualar a quantidade de luz que passa por um diafragma de abertura de $f/2.8$ (segundo London e Upton, 1994).

velocidade da aeronave. Neste caso o fotógrafo deverá aumentar a velocidade do obturador para, digamos, $1/400$ segundo a fim de que a imagem não fique tremida. Mas isto fará com que o tempo de exposição seja reduzido pela metade. Para compensar esta redução no tempo de exposição o fotógrafo deverá dobrar a área de entrada da luz pelo diafragma passando de $f/16$ para $f/11$. Isto deverá resultar em fotografias de boa qualidade com a correta exposição do filme às condições de iluminação do terreno.

Apesar de as fotografias aéreas serem obtidas por empresas especializadas em engenharia fotogramétrica, é importante que se tenha uma noção sobre os parâmetros envolvidos na exposição de uma fotografia aérea. Nuvens altas do tipo stratus, sombras de nuvens e variação na elevação do Sol ao longo do dia podem aumentar ou diminuir a iluminação do terreno e fazer com que a fotografia aérea fique superexposta ou subexposta, respectivamente. O ajuste correto do f/stop e da velocidade do obturador em função das variações das condições de iluminação da cena faz com que a exposição correta seja mantida ao longo do período de obtenção das fotografias aéreas. Às vezes é preciso rejeitar um lote inteiro de fotografias aéreas se elas tiverem sido expostas incorretamente. É possível também que em algum momento seja necessário que você tire fotografias apontando uma câmera 35-mm pela janela de um avião de pequeno porte e tenha que selecionar a melhor combinação do f/stop e da velocidade do obturador para obter uma boa fotografia. Outra possibilidade é que veículos aéreos não-tripulados de custo relativamente baixo e especialmente projetados para obtenção de fotografias aéreas estejam disponíveis no mercado em breve. Por exemplo, Hinckley e Walker (1993) e Hardin e Jackson (2005) fornecem informações sobre como adquirir fotografias aéreas usando veículos aéreos não-tripulados de baixa altitude.

Tipos de Câmeras Aéreas

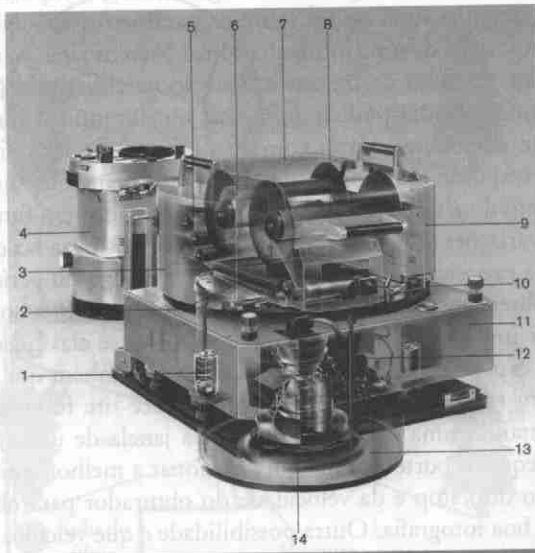
Diversos tipos de câmeras são frequentemente usados para obter fotografias aéreas, incluindo:

- câmeras métricas com uma objetiva;
- câmeras com múltiplas objetivas (múltiplas-bandas);
- câmeras digitais;
- câmeras variadas.

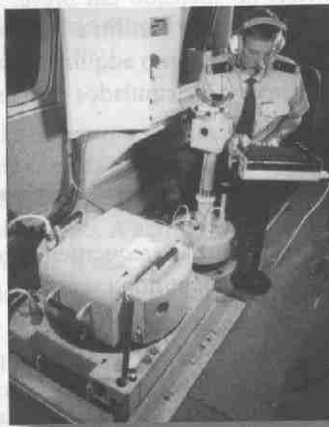
Câmeras (métricas) de Mapeamento com uma Objetiva

Câmeras métricas com uma objetiva obtêm a maioria das fotografias aéreas utilizadas no mapeamento planimétrico (x, y) para localização de feições e para obtenção de mapas topográficos (curvas de nível). Estas câmeras cartográficas são calibradas para fornecer fotografias aéreas da mais alta qualidade geométrica e radiométrica. Elas consistem normalmente do corpo da câmera, do cone de montagem das lentes, do obturador, de um conjunto motorizado para alimentação e rebobinagem do filme no plano do filme, e uma plataforma de suporte da câmera na aeronave. Filtros colocados na frente da objetiva limitam o comprimento de onda da luz que chega ao plano do filme. Uma concepção

Câmera Métrica Analógica



a.



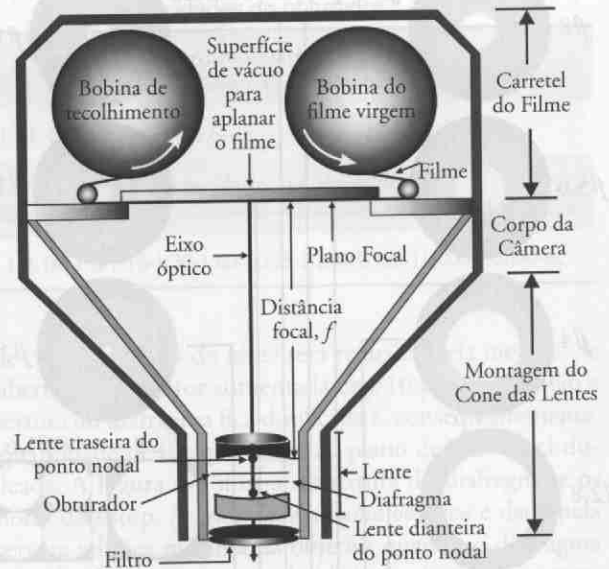
c. Fotografia aérea.

Figura 4-9 a) Os componentes do sistema de uma câmera métrica consistem em 1) elementos de isolamento da vibração, 2) placa de pressão do filme, 3) unidade motora, 4) unidade de controle, 5) carretel de alimentação do filme, 6) carretel de rebobinagem, 7) carretel do filme, 8) bobina com filme virgem, 9) unidade motora, 10) mecanismo de compensação do movimento de arraste, 11) berço, 12) obturador universal, 13) cone de montagem das lentes e 14) objetiva. b) Vista do perfil da câmera métrica e dos componentes do sistema. c) Exemplo de uma câmera métrica instalada no piso de uma aeronave, com um console para o operador e um instrumento que permite visualizar o terreno através de um buraco para fins de navegação. d) Uma aeronave com duas aberturas para câmeras pode obter fotografias com dois tipos de filmes ao mesmo tempo (p.ex., colorido e infravermelho-colorido). Note que nesta fotografia aparecem duas aberturas para câmeras e o compartimento das duas rodas do trem de pouso (cortesia E. Coyote Enterprises, Inc., Marilyn O’Cuillinn; Z/I Imaging).

artística dos componentes internos de uma câmera métrica é mostrada na Figura 4-9a. Uma visão do perfil de uma câmera métrica típica é mostrada na Figura 4-9b.

Nos Estados Unidos, é necessário que a Administração Federal de Aviação (FAA) aprove que seja feito um buraco na fuselagem do avião para instalação de uma câmera aérea.

Câmera Métrica Analógica



b.



d.

Um exemplo de uma câmera com uma objetiva montada no piso da fuselagem de um avião é mostrado na Figura 4-9c. Se duas câmeras aéreas estiverem montadas na aeronave (Figura 4-9d), é possível obter ao mesmo tempo fotografias com dois tipos de filmes diferentes (p.ex., colorido e infravermelho-colorido) sincronizando o mecanismo de disparo do obturador.

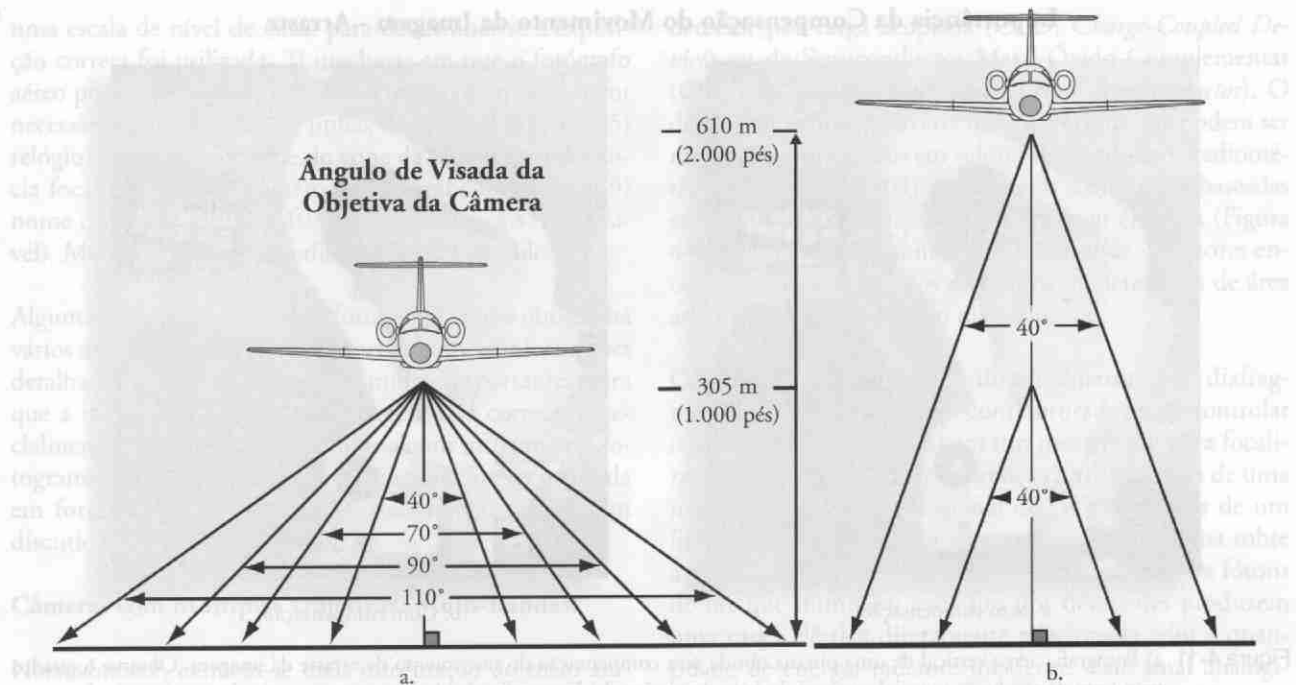


Figura 4-10 a) Quanto maior for o ângulo de visada da objetiva da câmera, maior será a área fotografada no terreno para uma mesma altitude da aeronave. A figura mostra a visada com objetivas de ângulo estreito (tele-objetiva) (40°), normal (70°), grande-angular (90°), e super-grande angular (110°). b) Utilizando a câmera com objetiva de ângulo estreito (tele-objetiva) (40°) uma área maior no terreno pode ser fotografada posicionando-se a aeronave a uma altitude maior.

O cone de montagem das lentes é a parte mais importante da câmera. Geralmente ele consiste de uma objetiva com múltiplos elementos de lentes caras que projetam imagens do mundo real, sem distorção, sobre o plano do filme. O elemento com as múltiplas lentes está focado no infinito, pois a aeronave normalmente voa a milhares de metros acima do terreno enquanto coleta os dados. Câmeras métricas de mapeamento utilizam diversas objetivas com diferentes campos de visada angular, dependendo dos requisitos da missão. O campo de visada angular das câmeras com teleobjetiva é $<60^\circ$, com objetiva normal é de $60^\circ - 75^\circ$, com objetiva grande angular é de $75^\circ - 100^\circ$, e com super-grande angular é $>100^\circ$. Quanto mais largo for o campo de visada angular, maior será a área recoberta no terreno pelo filme a uma dada altitude. Quanto maior for a altitude da aeronave acima do terreno maior será a área fotografada na superfície para uma mesma objetiva. Estas relações estão sumarizadas na Figura 4-10.

Um *intervalômetro* é utilizado para expor o filme em intervalos específicos de tempo (dependendo da altitude da aeronave e da sua velocidade), que irá resultar na quantidade adequada de sobreposição entre fotografias para permitir uma cobertura estereoscópica.

Câmeras aéreas geralmente têm filmes com 24 cm (9,5 pol.) de largura em rolos de $\geq 30,5$ m (100 pés) a 152,4 m (500 pés) de comprimento, dependendo da espessura

do filme. As fotos individuais são geralmente de 23 x 23 cm (9 x 9 pol.). No momento da exposição o filme é preso sobre uma superfície plana localizada no plano focal. A placa sobre a qual o filme se encontra aplica uma pressão a vácuo instantes antes da exposição para eliminar bolhas de ar ou qualquer outra irregularidade na superfície do filme virgem. Após a exposição, o vácuo é suspenso e o mecanismo de avanço move o filme para a bobina do filme exposto para se preparar para a próxima exposição.

Dependendo da velocidade da aeronave (v) e da altitude da aeronave acima do terreno (h), o filme pode ser avançado suavemente durante a exposição para compensar o movimento da imagem também chamado de arraste. Magazines para aplicações específicas podem mover o filme sobre o plano focal para compensar o movimento da imagem a uma velocidade variável que pode chegar até 64 mm por segundo. A correção do movimento da imagem é obtida por meio do deslocamento da placa com o filme prensado a vácuo na direção de voo de acordo com a razão velocidade-altura (v/h) e a distância focal da objetiva. Isto melhora muito a qualidade da fotografia aérea. Um exemplo da efetividade do uso da compensação do movimento da imagem (IMC – *Image Motion Compensation*) e da estabilização é mostrado na Figura 4-11. Note a melhora nos detalhes da fotografia aérea que foi obtida usando a compensação do movimento da imagem.

Importância da Compensação do Movimento da Imagem - Arraste



Figura 4-11 a) Fotografia aérea vertical de uma piscina obtida sem compensação do movimento de arraste da imagem. Observe o quadro para teste de resolução espacial que está do lado da piscina. b) Fotografia obtida com compensação do movimento de arraste da imagem. Mais elementos podem ser discernidos no quadro de resolução (cortesia E. Coyote Enterprises, Inc., Marilyn O'Cuilinn; Z/I Imaging).

Anotações

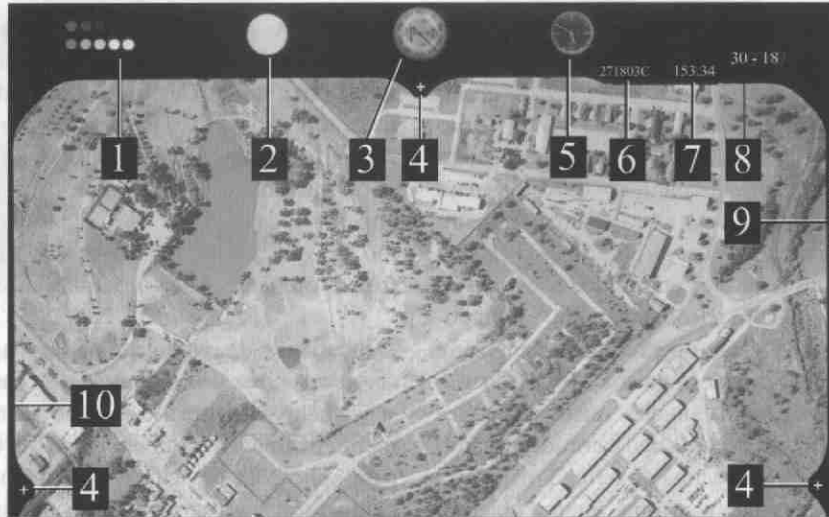


Figura 4-12 As anotações ao redor da fotografia aérea são muito importantes. Esta câmera métrica em particular fornece a seguinte informação: 1) uma escala de níveis de cinza, 2) anotação básica, 3) altímetro, 4) marcas fiduciais, 5) relógio, 6) número de série do cone da objetiva, 7) distância focal em mm, 8) número da fotografia, 9) nome da missão e data e 10) data da navegação (não visível). Somente metade desta fotografia aérea de Mineral Wells, TX, EUA, é mostrada (cortesia E. Coyote Enterprises, Inc., Marilyn O'Cuilinn; Z/I Imaging).

A maioria das câmeras métricas modernas fornece detalhes sobre as anotações da imagem ao redor do filme de 23 x 23 cm (Paine e Kiser, 2003). Por exemplo, diversas informações auxiliares são apresentadas ao redor da fotografia aérea

vertical de Mineral Wells, TX, EUA, mostrada na Figura 4-12. Um diodo emissor de luz (LED) dentro da câmera é programado e expõe informação de texto no filme. Entre as informações importantes apresentadas incluem-se: 1)

uma escala de nível de cinza para determinar se a exposição correta foi utilizada, 2) um lugar em que o fotógrafo aéreo pode fazer anotações sobre a missão com lápis se for necessário, 3) altímetro, 4) linhas das marcas fiduciais, 5) relógio, 6) número de série do cone da objetiva, 7) distância focal em mm, 8) número da fotografia do projeto, 9) nome da missão e data e 10) data da navegação (não visível). Marcas fiduciais serão discutidas no Capítulo 6.

Algumas vezes vamos analisar fotografias aéreas obtidas há vários anos atrás. Assim, as anotações com as informações detalhadas sobre a imagem são muito importantes para que a informação extraída da imagem seja correta, especialmente se for necessário calibrar algum instrumento fotogramétrico sofisticado ou se a fotografia for ser utilizada em forma digital em aplicações fotogramétricas a serem discutidas no Capítulo 6.

Câmeras com Múltiplas Objetivas (Multi-Bandas)

Normalmente, extraem-se mais informação do meio ambiente em estudos feitos com fotografias obtidas simultaneamente em diversas regiões do espectro eletromagnético (bandas) do que com fotografias obtidas em uma única banda. Ao conduzir um reconhecimento aéreo com múltiplas bandas espectrais (Colwell, 1997), cada uma das câmeras grava simultaneamente fotografias da mesma área geográfica, mas utilizando diferentes filmes e/ou combinações de filtros. Por exemplo, uma configuração de quatro câmeras Hasselblad 70 mm é mostrada na Figura 4-13a. Ao selecionar cuidadosamente as combinações de filme e de filtro, comprimentos de onda específicos refletidos de alvos da cena serão registrados em cada uma das câmeras.

Uma fotografia aérea multi-banda de Century City, Los Angeles, CA, EUA, é mostrada na Figura 4-13b. Note as diferentes informações gravadas nas fotografias individuais do azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo. Uma composição colorido-normal pode ser produzida com estas fotografias ao projetar sobre uma tela simultaneamente luz azul através da fotografia azul, luz verde através da fotografia verde, e luz vermelha através da fotografia vermelha. Uma composição infravermelho-colorida pode ser produzida com estas fotografias ao projetar sobre uma tela simultaneamente luz azul através da fotografia verde, luz verde através da fotografia vermelha, e luz vermelha através da fotografia infravermelho-próximo. Mais adiante, neste capítulo, falaremos mais sobre composições coloridas.

Câmeras Digitais Aéreas

Câmeras digitais estão revolucionando a coleta de dados aerofotogramétricos. O sensor de imageamento de uma câmera digital é normalmente um circuito integrado de

detector por carga acoplada (CCD, *Charge-Coupled Device*) ou de Semiconductor Metal-Óxido Complementar (CMOS, *Complementary Metal Oxide Semiconductor*). O detector do sensor converte luz em elétrons que podem ser medidos e convertidos em valores de intensidade radiométrica (McGlone, 2004). As câmeras digitais são baseadas em conjuntos de detectores em linha ou em área (Figura 4-14). A Tabela 4-2 sumariza o número de detectores encontrados em alguns dos conjuntos de detectores de área atualmente disponíveis no mercado.

Câmeras digitais também utilizam objetivas com diafragma para controlar o *f*stop, com obturador para controlar o tempo de exposição, e com um mecanismo para focalização. Contudo, a maior diferença consiste no uso de uma matriz uni- ou bi-dimensional de CCD ao invés de um filme. A objetiva focaliza a luz proveniente da cena sobre a matriz de detectores uni- ou bi-dimensional. Os fótons de luz que iluminam cada um dos detectores produzem uma carga elétrica diretamente relacionada com a quantidade de energia radiante incidente. Este sinal analógico é então eletronicamente amostrado e convertido num valor digital de brilho que varia de 8-bit (valores 0-255) a 12-bit (valores de 0 a 4095). O valor de brilho obtido na conversão analógico-para-digital (A-para-D) pode ser armazenado e lido por um computador. *Os CCDs são na verdade mais sensíveis a mudanças na refletância espectral da cena do que os cristais de haleto de prata utilizados na fotografia aérea analógica convencional.*

Câmeras Digitais de Pequeno-Formato: Estas câmeras normalmente têm <15 megapixels (MP). Por exemplo, a câmera digital mostrada na Figura 4-15a tem uma matriz de 3.456 colunas e 2.304 linhas, resultando em quase 8 MP (Tabela 4-2). No momento da exposição, a câmera rapidamente grava três versões da cena utilizando filtragem interna. O resultado é uma imagem gerada a partir da luz azul refletida pela superfície, outra gerada a partir da luz verde refletida pela superfície, e uma última imagem gerada a partir da luz vermelha refletida pela superfície. As três imagens individuais em preto-e-branco são gravadas na memória de acesso aleatório (RAM) e podem ser compostas numa imagem colorida utilizando a teoria aditiva de cores para produzir uma imagem colorido-normal. Também é possível ter detectores sensíveis à radiação no infravermelho-próximo.

Este veículo aéreo não-tripulado (UAV) de baixo custo mostrado na Figura 4-15b possui um intervalômetro para obter fotografias em intervalos de tempo específicos com o recobrimento necessário entre fotos. As imagens são rapidamente armazenadas em um gravador de dados. Com base no uso de uma antena de GPS a bordo da aeronave o operador no terreno sabe a localização da aeronave (não mostrado). A

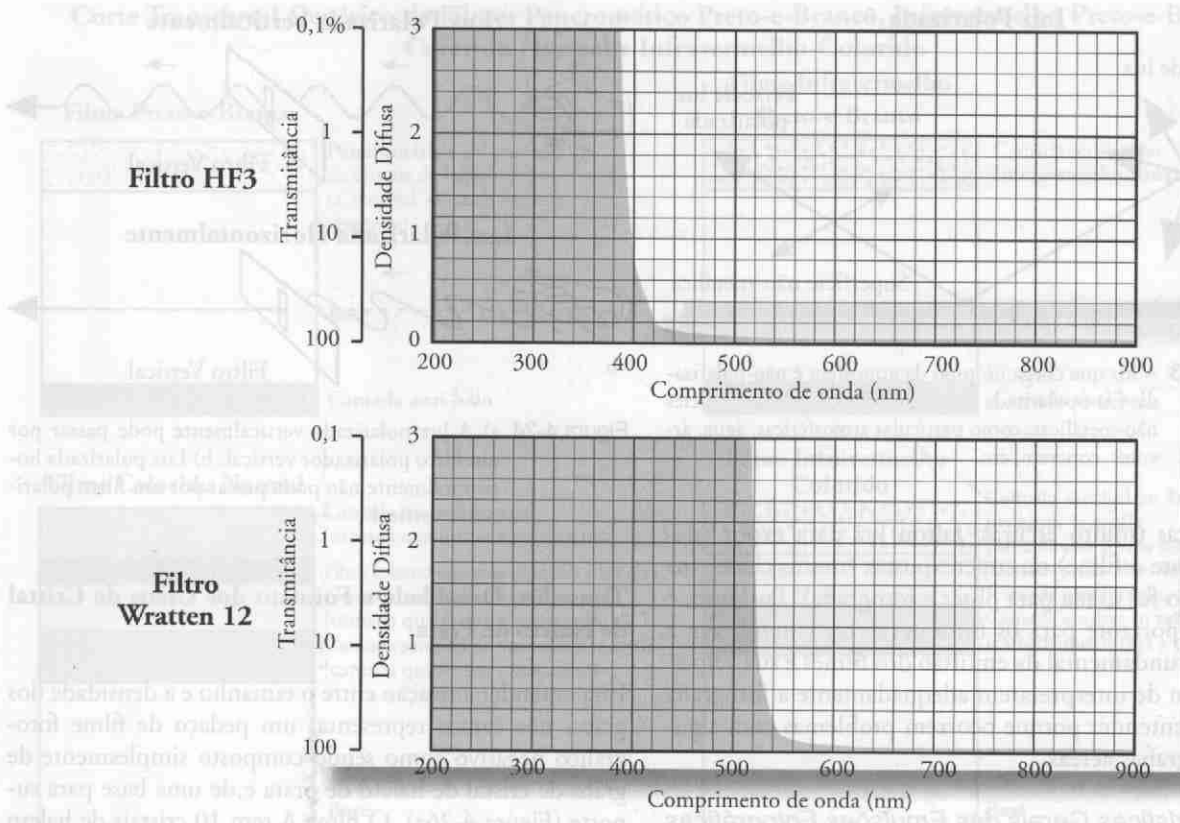


Figura 4-22 a) Características da transmitância de um filtro de névoa HF3 frequentemente utilizado na obtenção de fotografias aéreas. b) Características da transmitância de um filtro Wratten 12 (menos-azul) utilizado para obter fotografias infravermelho-coloridas (cortesia Eastman Kodak Co.).

metálicas na atmosfera. Da mesma forma, a luz refletida de um campo de trigo ou de um corpo d'água dentro do campo de visada da câmera é polarizada, uma vez que o trigo e a água são não-metálicos.

Às vezes pode ser útil ver apenas um certo "ângulo" da luz polarizada que emerge da cena. Por exemplo, a Figura 4-24 demonstra como um filtro polarizador colocado na frente da objetiva da câmera deixa passar as vibrações de um raio de luz em apenas um plano de cada vez. Alguns filtros até têm alças para serem ajustados e deixarem passar as vibrações da luz no plano paralelo à alça.

Uma das aplicações dos filtros polarizadores mais amplamente utilizadas é quando se fotografa corpos d'água. Ao manipular o filtro polarizador, é possível filtrar as reflexões indesejadas de alguns tipos de luz polarizada refletida da superfície da água. Isto pode aumentar a nossa capacidade de observar mais fundo na coluna d'água. Os óculos polarizados utilizados por pessoas são simplesmente filtros polarizadores que desempenham a mesma função. Curiosamente, as pessoas nunca perguntam se o óculos deve polarizar os raios vertical ou horizontalmente, uma vez que eles proporcionam diferentes visões do mundo para

os nossos olhos. A energia polarizada também é importante no sensoriamento remoto por micro-ondas (radar) discutido no Capítulo 9.

Assim, os filtros permitem filtrar seletivamente alguns tipos de luz indesejada enquanto permitem a passagem de certos comprimentos de onda bem específicos. A luz transmitida pelo filtro passa através da objetiva e ilumina os cristais de haleto de prata na emulsão do filme.



Filmes Para Fotografia Aérea

O filme utilizado para fotografias aéreas é geralmente exposto em câmeras fotográficas montadas em aeronaves que se movem a velocidades relativamente altas (p.ex., >300 km/h). Por isso, esses filmes foram desenvolvidos para obter fotografias aéreas de alta qualidade, em que os objetos aparecem como se a aeronave estivesse parada, desde que: 1) a combinação adequada de filme/filtro seja usada, 2) a abertura da lente (*f*/stop) seja apropriada, e 3) o tempo de exposição seja correto. Muitas vezes, os analistas são forçados a interpretar fotografias aéreas

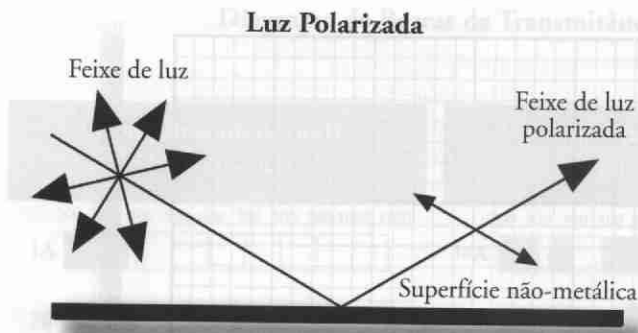


Figura 4-23 A luz que chega no topo da atmosfera é não-polarizada. Ela é polarizada quando é refletida pelas superfícies não-metálicas, como partículas atmosféricas, água, árvores, concreto, etc.

subexpostas (muito escuras; faltou luz para expor adequadamente o filme) ou superexpostas (muito claras; luz em excesso foi usada para obter a fotografia). Portanto, é muito importante para os fotointérpretes entenderem a natureza fundamental da emulsão dos filmes e sua velocidade a fim de interpretarem adequadamente a fotografia aérea ou entender porque ocorrem problemas com algumas fotografias aéreas.

Características Gerais das Emulsões Fotográficas

Sensitometria é a ciência que mede a sensibilidade de materiais fotográficos (McGlone, 2004). Ela é utilizada para controlar as operações de exposição e processamento dos materiais fotográficos. Um corte transversal através de quatro filmes típicos (Figura 4-25) revela que eles são formados de:

- Camada(s) de *emulsão* contendo os cristais de haleto de prata sensíveis à luz (AgX em que X é o símbolo do haleto) embutido na gelatina;
- uma *base* ou material de *suporte*, que pode ser transparente (filme de acetato ou vidro) ou opaco (papel);
- uma camada *anti-halo*, que absorve a luz que passa através da emulsão e da base para prevenir que retorne uma reflexão para a emulsão.

A sensibilidade de uma emulsão fotográfica é função do tamanho, da forma e do número de cristais de haleto de prata na emulsão por unidade de área, e do comprimento de onda da luz ao qual os grãos são sensíveis. Tais grãos são de prata verdadeira, e apesar de a prata estar presente em quantidades relativamente pequenas num rolo de filme, ela contribui para o custo relativamente elevado do filme.

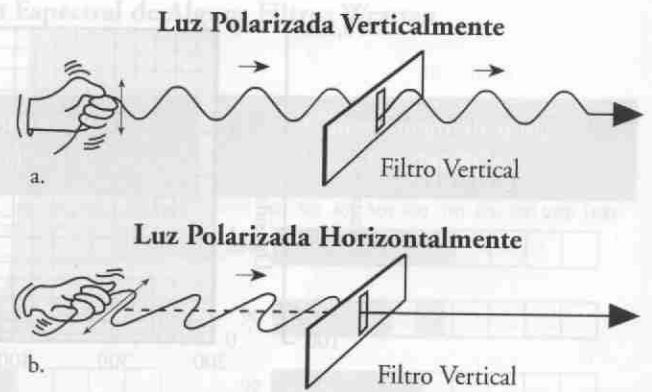


Figura 4-24 a) A luz polarizada verticalmente pode passar por um filtro polarizador vertical. b) Luz polarizada horizontalmente não pode passar por um filtro polarizador vertical.

Tamanho, Densidade e Formato dos Grãos de Cristal de Haleto de Prata

Para entender a relação entre o tamanho e a densidade dos grãos, nós vamos representar um pedaço de filme fotográfico negativo como sendo composto simplesmente de grãos de cristal de haleto de prata e de uma base para suporte (Figura 4-26a). O filme A tem 10 cristais de haleto de prata por unidade de distância enquanto que o filme B tem apenas sete cristais. À medida que o tamanho dos grãos aumenta, o número total de grãos por unidade de distância diminui. Se os grãos de uma emulsão têm a metade do tamanho dos grãos de uma outra emulsão, vai ser necessário aproximadamente o dobro de luz para expô-la. Portanto, o filme B é tido com mais rápido do que o filme A, pois requer menos luz para uma exposição adequada. Num microscópio eletrônico de varredura, os cristais de haleto de prata convencionais têm a aparência de cubos, de octaedros ou de pequenas pedras com forma irregular (Figura 4-26b). Note também que os cristais não têm exatamente o mesmo tamanho.

Para fotografar objetos que passam rapidamente na frente do plano do filme, como é o caso das fotografias aéreas, é vantajoso utilizar filmes mais rápidos. Infelizmente, à medida que a sensibilidade e o tamanho do grão aumentam, a imagem resultante fica mais grosseira e a resolução (nitidez ou definição da imagem) pode ser piorada. A resolução do filme pode ser testada fotografando um modelo de teste padrão que consiste num grupo de pares de linhas (linhas paralelas de espessura variável separadas entre si por espaços iguais à espessura da linha). Um exemplo de um modelo de teste de resolução foi mostrado anteriormente na Figura 4-11. O número de linhas por milímetro no menor padrão de linhas que pode ser claramente discernido no filme revelado é a resolução do filme. É comum poder resolver 25 a

Corte Transversal Genérico de Filmes Pancromático Preto-e-Branco, Infravermelho Preto-e-Branco, Colorido Normal e Infravermelho-Colorido

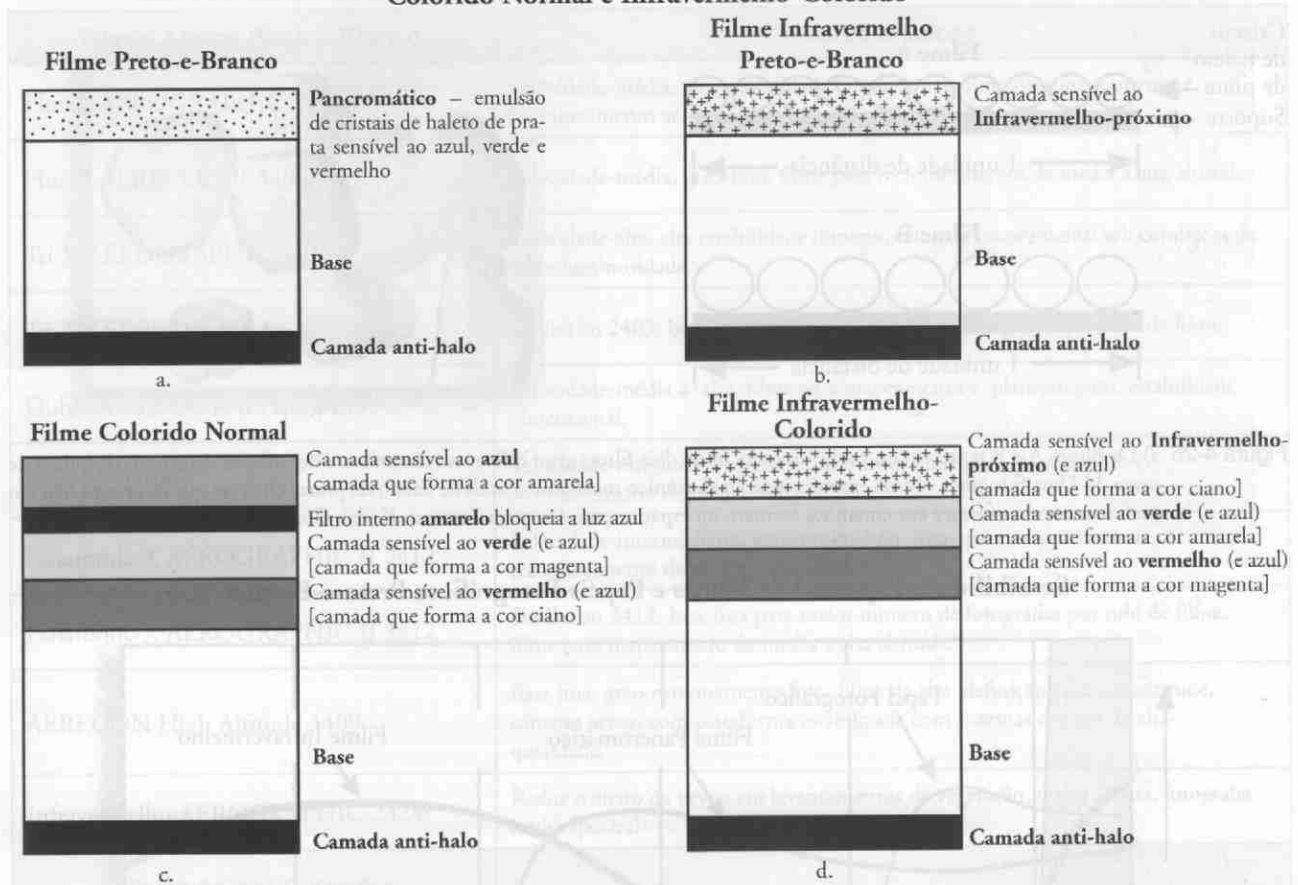


Figura 4-25 Corte Transversal Genérico de Filmes, a) Pancromático Preto-e-Branco, b) Infravermelho Preto-e-Branco, c) Colorido Normal, e d) Infravermelho-Colorido.

100 pares de linhas por milímetro em cópias de fotografias aéreas na escala de 1:10.000. Esta resolução espacial resulta em fotografias aéreas com detalhe espacial muito elevado.

Emulsões Fotográficas Preto-e-branco

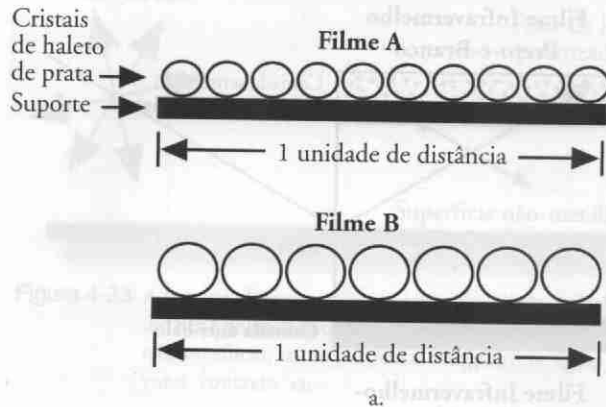
Da mesma forma que a retina do olho humano é sensível a diferentes comprimentos de onda de luz variando do azul ao vermelho (0,4 - 0,7 μm), é possível fabricar filmes com emulsões fotográficas preto-e-branco com as seguintes sensibilidades (McGlone, 2004):

- emulsões *ortocromáticas* são sensíveis à luz azul e verde até aproximadamente 0,6 μm;
- emulsões *pancromáticas* são sensíveis à luz ultravioleta, azul, verde e vermelha até aproximadamente 0,7 μm;
- emulsões *infravermelho-próximas* são sensíveis à luz azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo até aproximadamente 0,9 μm.

O limite inferior do comprimento de onda da luz ao qual o filme é sensível é aproximadamente 0,35 μm, e resulta das características de absorção da luz pela gelatina que está associada à emulsão.

As sensibilidades espectrais padrões para papel fotográfico preto-e-branco, filme pancromático, e filme infravermelho-próximo estão sumarizadas na Figura 4-27. O diagrama mostra porque é possível utilizar uma “luz de segurança” vermelha em um laboratório fotográfico. O papel fotográfico simplesmente não é sensível à luz vermelha. Todavia, o filme pancromático preto-e-branco é sensível à luz azul, verde e vermelha. Portanto, um filtro de névoa (como o Kodak HF3 anteriormente discutido) é frequentemente utilizado para evitar que tanto a luz ultravioleta quanto a luz azul cheguem a expor o filme. O filme aéreo pancromático preto-e-branco é o mais amplamente utilizado, uma vez que ele gera tons de cinza que são esperados e reconhecidos pelo homem, i.e., a água aparece escura, a areia aparece branca, o concreto aparece cinza, as nuvens aparecem brancas. As fotografias aéreas obtidas para fins

Dois Filmes com Diferentes Tamanhos e Densidades de Cristais de Haleta de Prata



Fotografia em Microscópio Eletrônico de Cristais de Haleta de Prata

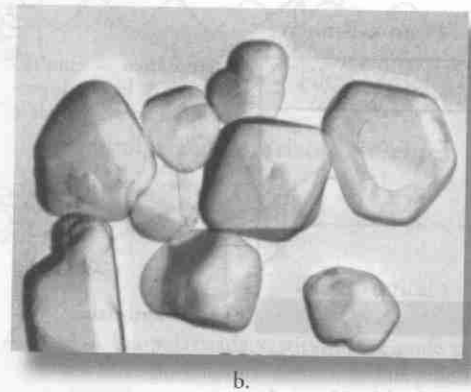


Figura 4-26 a) Os filmes A e B representam perfis hipotéticos de dois filmes com diferentes tamanhos e densidades de cristais de haleta de prata. b) Uma fotografia obtida em microscópio eletrônico mostra os cristais de haleta de prata. Observe que os cristais não são perfeitamente uniformes em tamanho, formato ou espaçamento (cortesia Eastman Kodak Co.).

Sensibilidade Espectral de Filmes e Papéis Fotográficos Preto-e-Branco

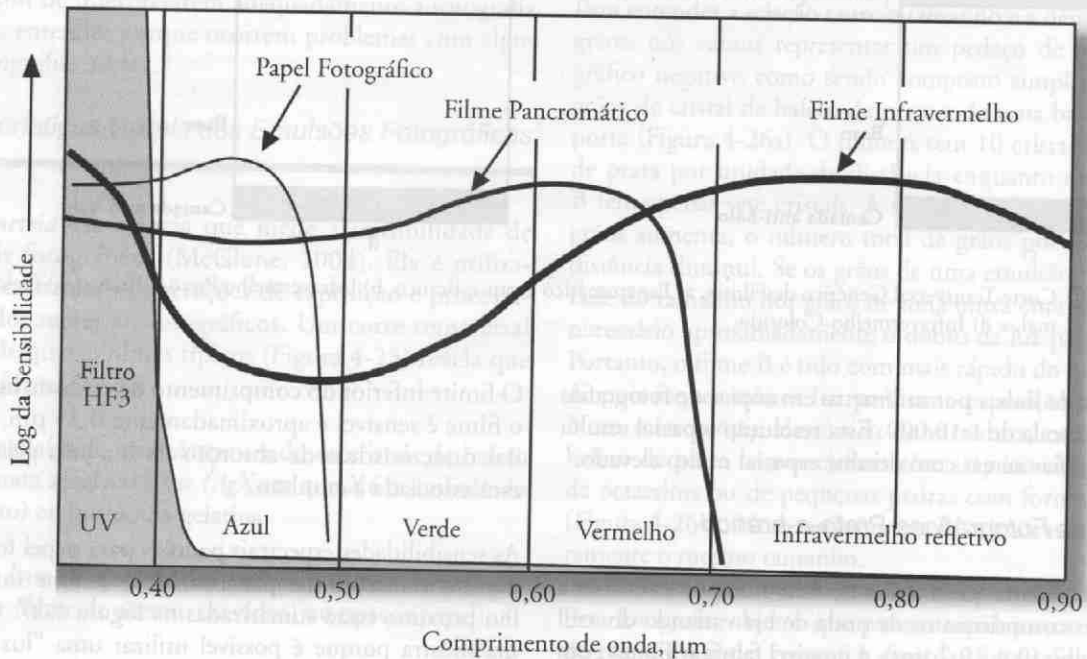


Figura 4-27 Sensibilidade espectral da emulsão de um filme preto-e-branco e papel fotográfico no intervalo de comprimento de onda de 0,35 a 0,9 μm (cortesia Eastman Kodak Co.).

fotogramétricos para fazer mapas planimétricos e topográficos são geralmente de filmes pancromáticos. Filmes aéreos pancromáticos típicos comercializados pela Kodak estão sumarizados na Tabela 4-4.

Uma fotografia aérea pancromática preto-e-branco é mostrada na Figura 4-28a. Uma fotografia preto-e-branco infravermelho-próximo da mesma área é mostrada na

Figura 4-28b. É preciso tomar cuidado quando se interpretam fotografias infravermelho-próximo porque a câmera registrou uma energia que está além da percepção dos nossos olhos. Consequentemente, certas tonalidades podem não representar na imagem aquilo que estaríamos antecipando. Por exemplo, uma vegetação verde sadia aparece escura na fotografia pancromática pois ela absorve quase 80-90% da energia radiante incidente do

Tabela 4-4. Filmes para fotografia aérea da Kodak (cortesia Eastman Kodak Co.; todos os nomes dos filmes são marcas registradas).

Filmes Aéreos Preto-e-Branco	Características
Plus-X AEROGRAPHIC 2402	Velocidade-média, alta estabilidade dimensional, filme para mapeamento e reconhecimento aéreo.
Plus-X AERECON II 3404	Velocidade-média, grão-fino, filme para reconhecimento de média a alta altitude.
Tri-X AEROGRAPHIC 2403	Velocidade-alta, alta estabilidade dimensional para mapeamento sob condições de baixa luminosidade.
Tri-X AERECON SO-50	Similar ao 2403; base fina para maior número de fotografias por rolo de filme.
Duble-X AEROGRAPHIC 2405	Velocidade-média a -alta, filme para mapeamento e planejamento, estabilidade dimensional.
Aero LX 2408	Velocidade-intermediária, grão-muito-fino, filme para mapeamento e reconhecimento de média a alta altitude.
Panatomic-X AEROGRAPHIC II 2412	Velocidade-intermediária, grão-muito-fino, filme para mapeamento e reconhecimento de média a alta altitude.
Panatomic-X AEROGRAPHIC II 3412	Similar ao 2412; base fina para maior número de fotografias por rolo de filme, filme para mapeamento de média a alta altitude.
AERECON High Altitude 3409	Base fina, grão-extremamente-fino, filme de alta definição para alta-altitude, câmeras aéreas com plataforma estabilizada com sistemas ópticos de alta-qualidade.
Infravermelho AEROGRAPHIC 2424	Reduz o efeito da névoa em levantamentos de vegetação, realça a água, fotografia multiespectral.
Filmes Aéreos Coloridos	
AEROCOLOR II Negative 2445	Velocidade média para mapeamento e reconhecimento.
AEROCHROME II MS 2448	Filme colorido reversível para mapeamento e reconhecimento a baixas- e médias-altitudes.
AEROCHROME HS SO-358	Filme colorido negativo de velocidade alta para fotografia aérea de baixa-altitude.
AEROCHROME HS SO-359	Filme colorido reversível de velocidade alta para mapeamento e reconhecimento a baixa- e média-altitude.
AEROCHROME II Infravermelho 2443	Filme falsa-cor reversível, alta estabilidade dimensional para levantamentos de vegetação, detecção de camuflagem e pesquisa de recursos terrestres.
AEROCHROME II Infravermelho NP SO-134	Similar ao 2443; maior resposta ao infravermelho, adequado para altitudes acima de 4.500 m.

azul, verde e vermelho para realizar a fotossíntese. Por outro lado, uma vegetação sadia aparece clara na fotografia preto-e-branco infravermelho-próximo pois ela reflete 40-70% da energia incidente no infravermelho-próximo. O ser humano faz pouca ideia sobre a quantidade de energia radiante do infravermelho-próximo que é refletida por alvos comuns como vegetação, água e concreto. Portanto, é importante tomar como referência as curvas

de reflectância espectral, pois elas sintetizam a quantidade de energia do verde, do vermelho e do infravermelho-próximo que tipicamente é refletida pelos objetos (veja Capítulo 2). Desta forma, podemos entender e mesmo prever como certos objetos do mundo real vão aparecer numa fotografia no infravermelho. É instrutivo rever o processo pelo qual são formados os filmes negativos e as cópias positivas de fotografias aéreas preto-e-branco.

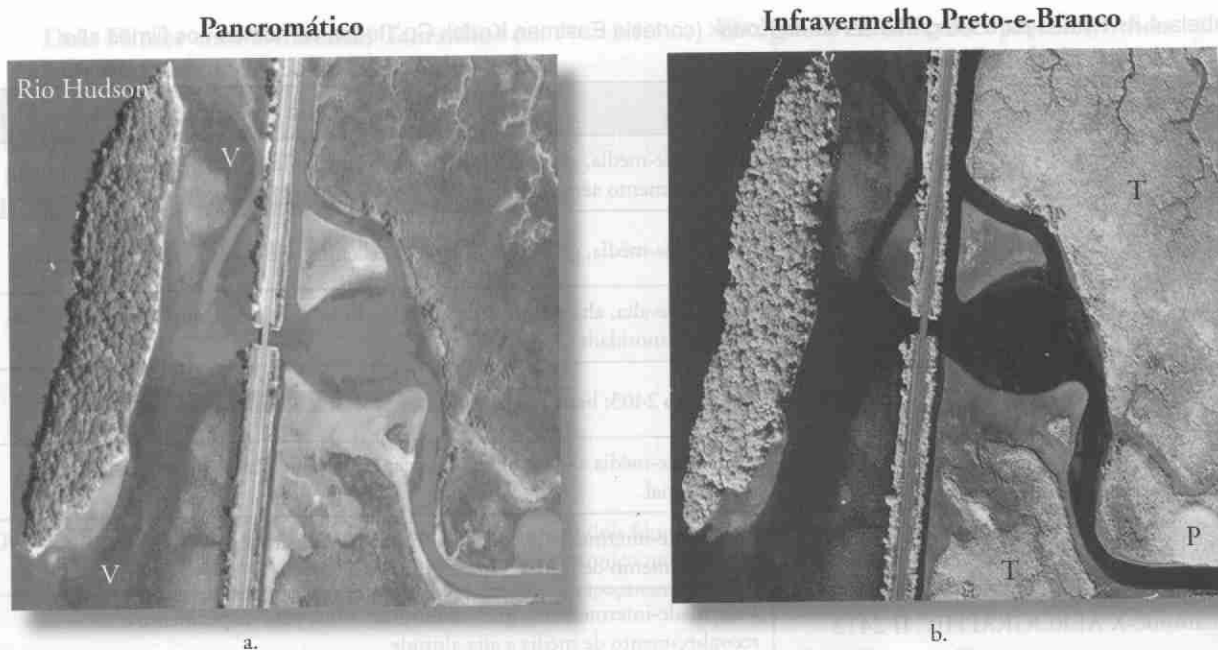


Figura 4-28 a) Fotografia pancromática preto-e-branco da Tivoli North Bay no rio Hudson, NY, EUA. A vegetação aparece em tonalidades relativamente escuras, pois ela absorve boa parte da energia incidente do verde e do vermelho. Alguma energia do verde e do vermelho passa através da coluna d'água e fornece informação sobre o padrão dos sedimentos em suspensão e da vegetação aquática submersa (V = gramínea aquática, *Vallisneria americana* (wild celery)). b) A fotografia infravermelho-próximo preto-e-branco mostra bem a interface terra-água, pois a água absorve grande parte da energia incidente no infravermelho-próximo fazendo com que apareça escura. Por outro lado as árvores caducifólias na ilha e a vegetação de mangue (tidal wetland) (T = cattail; *Typha angustifolia* (planta de habitat úmido); P = common reed; *Phragmites aus.* (grama)) aparecem claras pois a vegetação sadia reflete muita energia incidente no infravermelho-próximo (Berglund, 1999) (veja a Prancha Colorida 4-4ab).

Criando um Negativo de uma Fotografia Aérea após Exposição e Posterior Revelação dos Cristais de Haletos de Prata

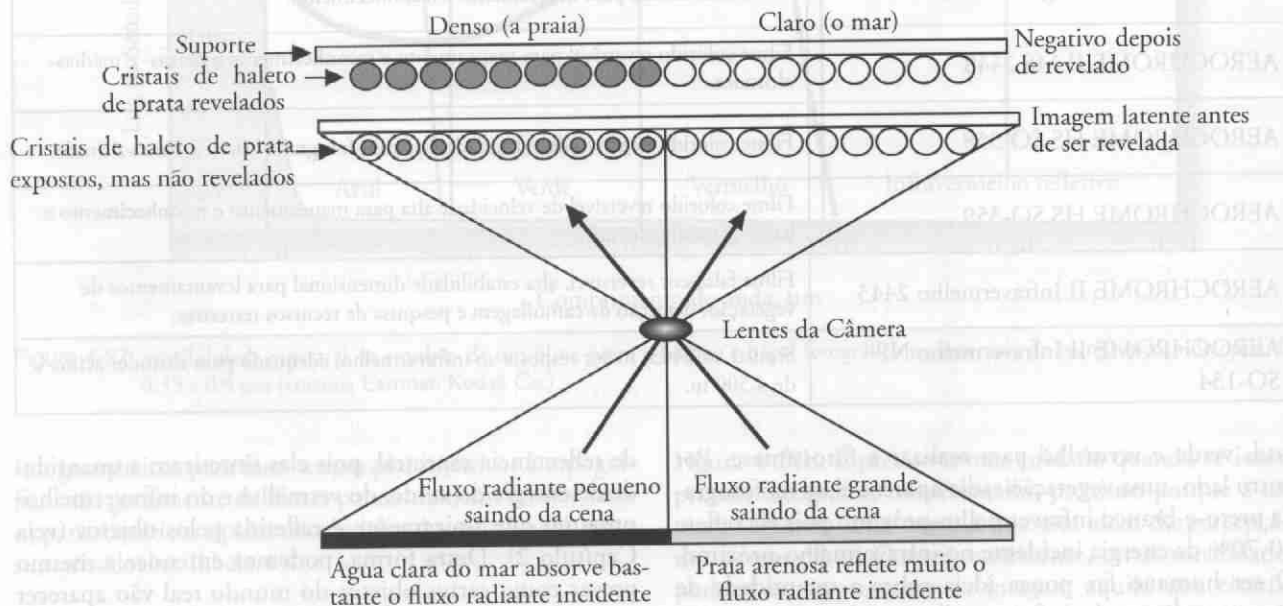


Figura 4-29 Uma representação diagramática de como um negativo preto-e-branco de uma cena de mar-praia é exposta e revelada.

Criando um Impresso Positivo a partir de uma Fotografia Aérea em Negativo

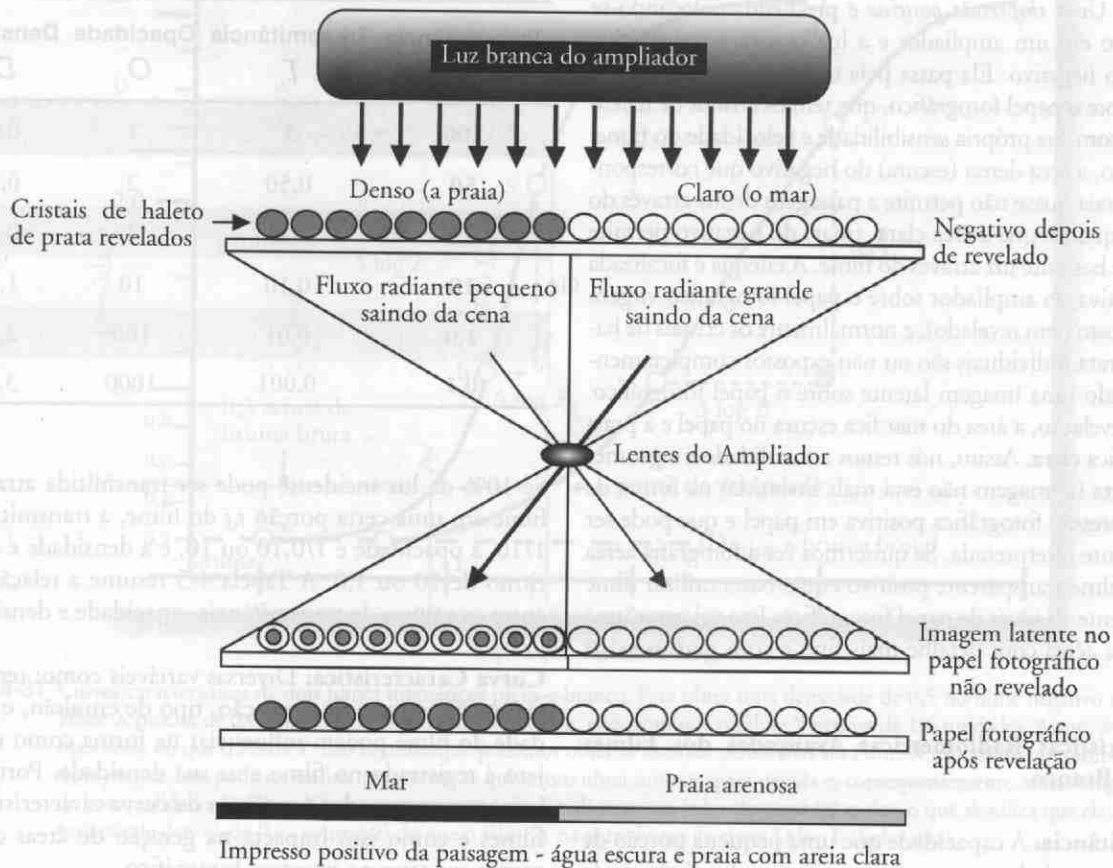


Figura 4-30 Uma representação diagramática de como uma cópia positiva preto-e-branco da cena de mar-praia é exposta e revelada.

Gerando um Negativo de uma Fotografia Aérea Preto-e-Branco

Considere os dois tipos de alvos da superfície terrestre que estão representados na Figura 4-29. Eles consistem de um mar calmo e claro e de uma praia arenosa sem vegetação. Assuma que os cristais de haleto de prata no filme da câmera aérea sejam sensíveis à luz azul, verde e vermelha de 0,4 a 0,7 μm . A água clara do mar vai absorver grande parte do fluxo de radiação do Sol no azul, verde e vermelho. Por outro lado, a praia arenosa vai refletir a maior parte do fluxo de radiação incidente. Uma parte desta energia será coletada pelos componentes ópticos da objetiva da câmera e focalizada sobre os cristais de haleto de prata no plano do filme. Quando a quantidade apropriada de luz expõe um cristal de haleto de prata em suspensão na emulsão, todo o cristal fica exposto, independentemente do seu tamanho. Basicamente, a ligação entre a prata e o haleto é enfraquecida quando os cristais de haleto de prata são expostos à luz. Note que no nosso exemplo houve energia suficiente para expor os cristais de haleto de prata na parte esquerda do filme, mas a energia foi insuficiente para

expor os cristais no lado direito do filme. Uma emulsão que foi exposta à luz contém uma imagem invisível do objeto, que se chama *imagem latente*. Para converter a imagem latente na emulsão em um negativo, ela precisa ser *revelada*.

Quando a imagem latente é revelada com as soluções químicas adequadas, as áreas da emulsão que foram expostas à luz intensa passam para prata livre (denso ou opaco), conforme mostrado. As áreas da emulsão que não receberam luz ficam claras se a base da emulsão for um filme plástico transparente. O negativo revelado vai ficar mais escuro ou mais claro em função da exposição total (produto da iluminância e do tempo de exposição), que é responsável pela formação da imagem latente na emulsão.

Gerando uma Fotografia Aérea Positiva a partir de um Negativo Preto-e-Branco

Para que serve o negativo? A maioria das pessoas não interpreta um negativo, pois ele é o reverso tanto da tonalidade quanto da geometria daquilo que foi fotografado, conforme

O tapete vermelho nas escadarias do edifício está registrado em tons de verde. O telhado está registrado em tons de amarelo, significando que a telha absorve muita luz no verde claro enquanto que reflete fortemente nas porções do vermelho e infravermelho-próximo do espectro.

A fotografia aérea infravermelha-colorida continuará sendo uma das ferramentas mais importantes do sensoriamento remoto. O filme infravermelho-colorido foi escolhido pelo Programa de Fotografia Aérea do USGS. As novas resoluções espaciais ($\leq 1 \times 1$ m pancromático e $\leq 4 \times 4$ m multiespectral) dos dados digitais de satélites de sensoriamento remoto de empresas comerciais como a Space Imaging e a Digital Globe estão reduzindo nossa dependência por fotografias aéreas em grande-escala com os filmes infravermelhos-coloridos analógicos.



Planejamento de Missões de Fotografias Aéreas

Hora do Dia - Ângulo Solar

A hora ideal do dia para obter fotografias aéreas ocorre quando o Sol está entre 30° e 52° acima do horizonte, i.e. duas horas antes e depois do meio-dia. Um ângulo solar menor do que 30° pode não fornecer suficiente iluminação ou reflectância adequada da cena. Isto pode resultar numa subexposição da fotografia aérea e dificultar a interpretação. Além disso, fotografias tiradas com ângulo solar muito baixo são normalmente inaceitáveis devido às grandes sombras projetadas por árvores e edificações, que podem obscurecer informações importantes da cena. Contudo, alguns cientistas (especialmente geólogos) preferem fotografias obtidas com ângulos solares baixos para realçar representações no terreno (Lyon e Falkner, 1995).

Um ângulo solar maior do que 52° pode resultar em pequenas áreas com reflexão especular (*hotspots*) na fotografia. Estas áreas aparecem extraordinariamente claras na fotografia e são resultantes da orientação da câmera em relação ao Sol. Elas podem atrapalhar bastante se houver muitos corpos d'água na área de estudo.

A orientação das linhas de voo pode seguir qualquer direção desde que fatores do terreno e de segurança sejam considerados. O ângulo solar para uma certa latitude e numa hora específica do dia pode ser obtido de tabelas de efemérides solares.

Tempo

A fotografia aérea é idealmente obtida alguns dias após a passagem de um sistema frontal, que remove o vapor

d'água e partículas (especialmente poluição) do ar e permite que o vento associado ao sistema frontal diminua. A fotografia aérea obtida em condições de muita umidade fica degradada devido ao espalhamento indesejado da luz que ocorre na atmosfera e que chega ao campo de visada da câmera. Além disso, o vapor d'água pode absorver parte da energia refletida pelos alvos da cena que deveriam ser registrados no filme.

Ventos fortes podem tirar o avião da rota e causar defeitos no recobrimento das linhas de voo, perdendo a sobreposição necessária para estereoscopia e até mesmo obter fotografias oblíquas ao invés de verticais. Nuvens em fotografias aéreas são evidentemente inaceitáveis. Não somente uma parte do terreno é obscurecida pela presença da nuvem, mas também a sombra causada pela nuvem acarreta variações na tonalidade da fotografia, que pode ser interpretada erroneamente. As fotografias aéreas obtidas antes da passagem de um sistema frontal podem ser ideais se a umidade relativa for baixa e os ventos não forem fortes.

Plano de Voo

Para obter as fotografias aéreas desejadas é necessário saber qual a escala que as fotografias devem ter (p.ex., 1:10.000), a escala do mapa-base em que as informações das fotografias serão plotadas (p.ex., 1:12.000), as coordenadas x,y dos quatro cantos da área de estudo (latitude, longitude ou UTM), o tamanho da área geográfica a ser fotografada (p.ex., 100 km^2), o recobrimento médio frontal de cada fotografia (p.ex., 60%), o recobrimento lateral de cada fotografia (p.ex., 20%), o formato do filme (p.ex., 9×9 pol.), e a distância focal da objetiva. Uma vez que essas informações são conhecidas é possível calcular: 1) a altitude do voo; 2) o número de linhas de voo requeridas; 3) a distância entre linhas de voo; 4) a distância no terreno entre as exposições; 5) a distância no mapa entre exposições, e 6) o número total de exposições requeridas. Muitas dessas variáveis estão descritas no Capítulo 6 (Fotogrametria).



Referências

Berglund, J. A., 1999, *Evaluating the Use of RADARSAT SAR and JERS-1 SAR for Estimating LAI and Delineating Upland Land Cover and Tidal Freshwater Wetland Vegetation Species in the Tivoli North Bay, Area, NY*, Columbia, SC: Department of Geography, tese de mestrado não publicada, 310 p.

Bossler, J. D., Jensen, J. R., McMaster, R. B. e C. Rizos, 2002, *Manual of Geospatial Science and Technology*. London: Taylor & Francis, 623 p.