



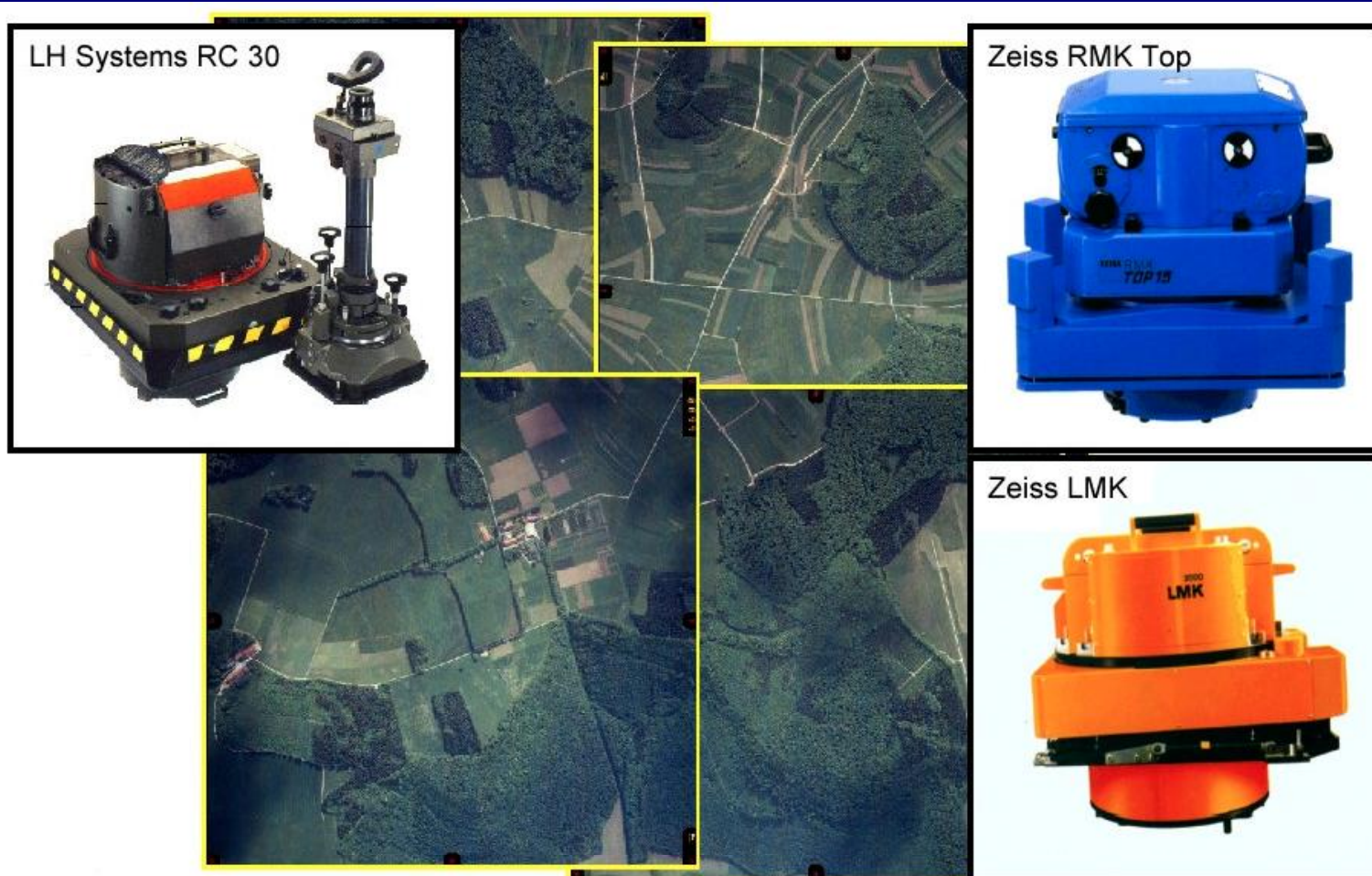
Câmaras Aéreas Digitais

Uma Nova Opção em Fotogrametria

Valther Xavier Aguiar
Eng. Cartógrafo
ESTEIO S.A.

Câmaras Aéreas Baseadas em Filme

Principais Fabricantes Leica – Carl Zeiss



(Fritsch, 2001)

Câmaras Aéreas Baseadas em Filme



- ◆ As Câmaras Aéreas baseadas em filme possuem recursos tecnológicos que permitem obter imagens com a melhor resolução **geométrica** possível:
 - ◆ FMC (Forward Motion Compensation);
 - ◆ Controle v/h (Navegação Automática);
 - ◆ Suspensão Giro Estabilizada: **T-AS** (Z/I), **PAV-30** (LH);
 - ◆ Sistemas de Lentes: Topar, Pleogon, Lamegon e UAG-S;
 - ◆ Softwares de Gerenciamento de Vôo;
 - ◆ Altíssima Resolução e Estabilidade dos Filmes Aéreos.

Evolução tecnológica de quase 100 anos “TECNOLOGIA CONSOLIDADA”



1918 : handheld Camera



1922 : RMK C1



1956 : RMK



1989 : RMK TOP

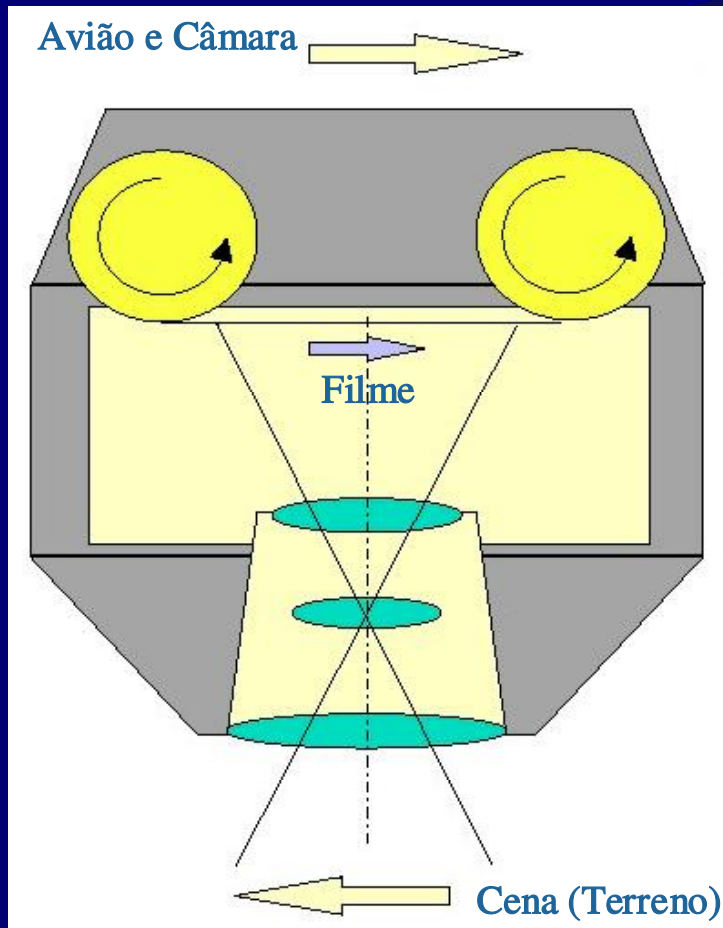


2002 : DMC



(Heir, 2001)

Ponto de Partida: Câmara Aérea (Filme) FMC - Plataforma - Lentes - Software



(Fritsch-2001)

- ◆ Formato: 230 x 230mm
- ◆ Recobrimento
 - ◆ Longitudinal: 60 a 90%
 - ◆ Lateral: 10 a 30%
- ◆ **Resolução: 2,5 μ m (Fritsch-2001)**
- ◆ O filme se desloca na direção do vôo durante a exposição para a compensação do arrasto na imagem (FMC)
- ◆ Controle v/h (NA)

TECNOLOGIA DISPONÍVEL

Sensores de Imagem



- ◆ **SENSORES CCD**
(Charge Coupled Device)
 - ◆ **CCD LINEAR**
 - ◆ **CCD MATRICIAL**
 - ◆ Interline Transfer
 - ◆ Frame Transfer
 - ◆ Full Frame

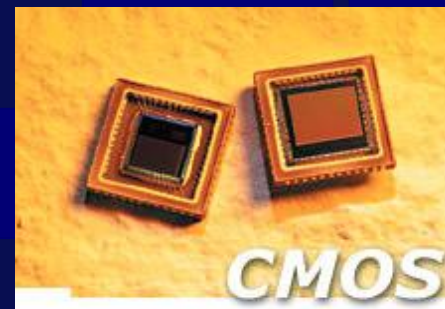


www.kodak.com



www.kodak.com

- ◆ **SENSORES CMOS**
(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)



www.kodak.com

Os Sensores CCD possivelmente serão substituídos pelos CMOS em 3 ou 4 anos (Fritsch, 2001)

Fabricantes: Dalsa; Kodak; Philips; Fairchild; Texas; Lockheed Martin; Thomsom

TECNOLOGIA DISPONÍVEL

Sensores de Imagem



Sensores CCD de arranjo LINEAR

Sensor / Câmara	Resolução	T. Pixel (μm)	T. Sensor (mm)	fonte	Observação
Fairchild CCD143	2048 x 1	13 x 13	59	www.fairchildimaging.com	SPOT - Marte
Fairchild CCD191	6000 x 1	10 x 10	60	www.fairchildimaging.com	SPOT - I
Kodak KLI-6013	6002 x 3	12 x 12	72,0 x 0,200	www.kodak.com	
Kodak KLI-8023	8002 x 3	9 x 9	72,0 x 0,225	www.kodak.com	
Kodak KLI-14403	14404 x 3	5 x 5	72,0 x 0,315	www.kodak.com	

Sensores CCD de arranjo MATRICIAL

Sensor / Câmara	Resolução	T. Pixel (μm)	T. Sensor (mm)	fonte	Observação
Kodak KAF-1001E	1024x1024	24x24	24,6x24,6	www.kodak.com	1,0 MegaPixels
Kodak KAF-4202	2048x2048	9x9	18,4x18,4	www.kodak.com	4,2 MegaPixels
Kodak KAF-5101CE	2654x2006	6,8x6,8	22,3 (diagonal 4:3)	www.kodak.com	5,1 MegaPixels
Kodak KAF-16802CE	4098x4098	9x9	36,7x36,7	www.kodak.com	16,8 MegaPixels
Philips Icam28	7168x4096	12x12	111x86	Fritsch,2001	29,4 MegaPixels
Dalsa FTF 7040	7168x4097	12x13	111x87	www.dalsa.com	29,4 MegaPixels
Fairchild CCD595	9216x9217	8,75x8,75	80,64 x 80,64	www.fairchildimaging.com	84,9 MegaPixels

Sensores CCD não são livre de erros

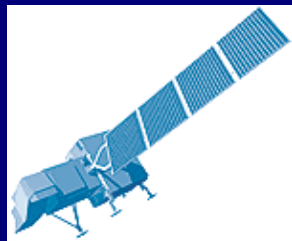
São classificados em grupos de classes de erros que determinam o preço

TECNOLOGIA DISPONÍVEL

Antecedentes



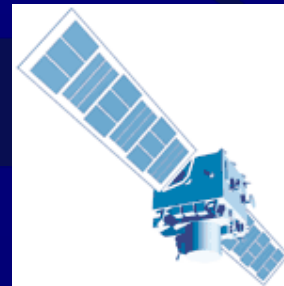
Sensores Digitais vem sendo utilizados em satélites por mais de 30 anos



Landsat 1-7(1972)
15m PAN / 30m MS



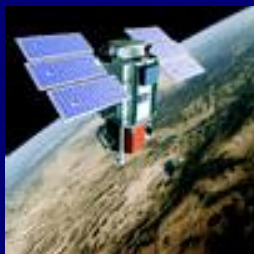
SPOT 1-5(1986)
2,5 e 5m PAN / 10m MS



IRS-1A (1988)
5,8m PAN / 70 e 188m MS



IKONOS (1999)
1m PAN / 4m MS



QuickBird (2001)
0,6m PAN / 2,4m MS



RapidEye (2003/4)
6,5m MS



Vantagens na Mudança da Tecnologia Atual (Filme) para Digital



◆ **REDUÇÕES DE CUSTO**

- ◆ Processo digital mais automatizado
- ◆ Sem filme
- ◆ Sem laboratório
- ◆ Sem scannerização
- ◆ Tempo adicional de vôo

◆ **MELHOR QUALIDADE**

- ◆ Melhor resolução radiométrica
- ◆ Melhor precisão radiométrica
- ◆ Simultaneidade de aquisição Multiespectral e Pancromática
- ◆ **Resultados com maior precisão geométrica**

◆ **REDUÇÕES DE TEMPO**

- ◆ Menos Interrupções (processamento todo digital)
- ◆ Sem laboratório
- ◆ Sem scannerização

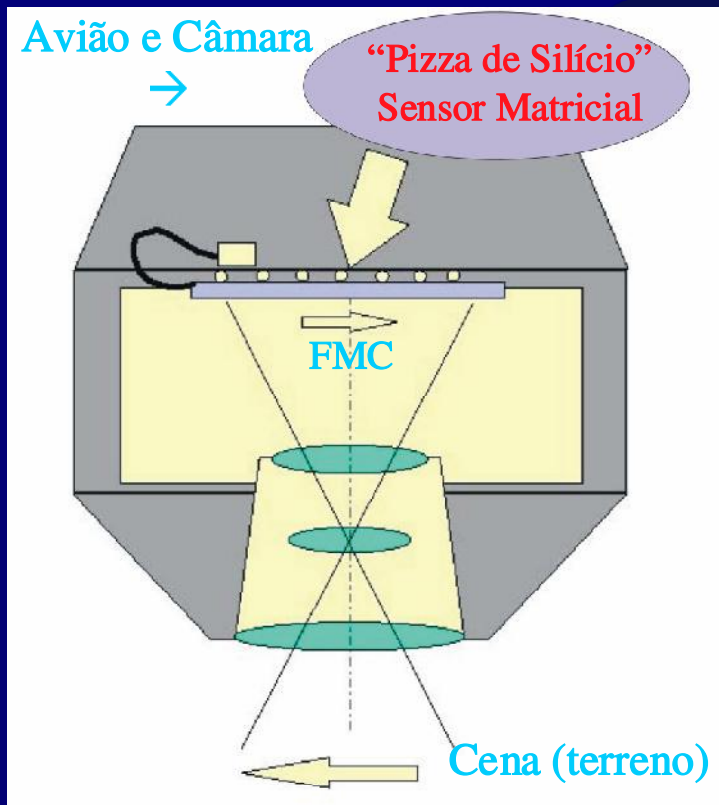
◆ **NOVAS APLICAÇÕES**

- ◆ **Novas aplicações para as imagens multiespectrais**
- ◆ **Fotogrametria Multimídia**
- ◆ **Aplicações de Tempo Crítico**
- ◆ **Suporte MS / PAN na interpretação**

(Heier, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Concepção da Câmara Aérea Digital



(Fritsch, 2001)

- ◆ Formato equivalente 23x23cm
 - ◆ T. Pixel 9 a 14 μ m (CCD)
 - ◆ Digital / Analógico 1:1
 - ◆ FMC (no plano focal)
 - ◆ Controle v/h (NA)
- Mas,**
- ◆ Tecnologia não disponível
 - ◆ Provavelmente muito caro
 - ◆ Longo tempo de exposição
- Entretanto:**
- ◆ Sensores Lineares
 - ◆ Sensores Matriciais

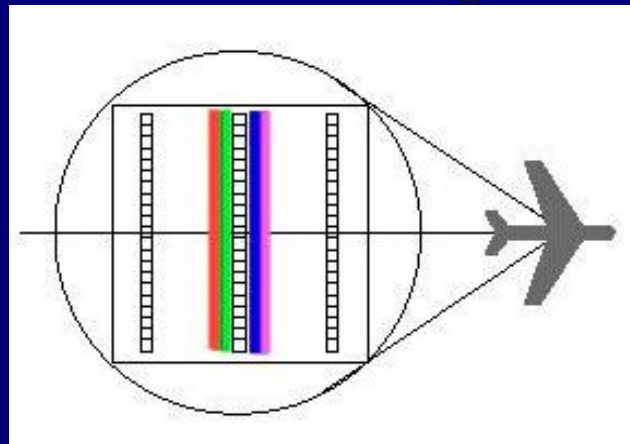
TECNOLOGIA DISPONÍVEL

Câmaras Aéreas Digitais

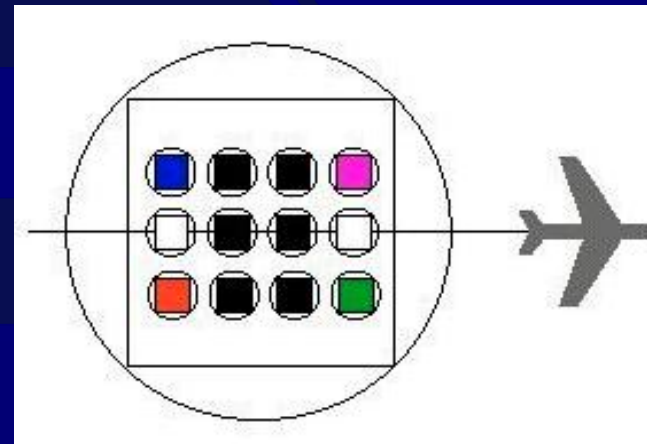


30 anos de experiência com sensores em satélites
Recursos: informática – CCD – GPS – Sistema Inercial

Sensores Lineares



Sensores Matriciais



1 Sistema de Lentes (1 ou mais focais)

8 a 12 Sistemas de Lentes (8 a 12 focais)

3 a 5 Sensores Lineares PAN (Estéreo)

8 a 12 Sensores Matriciais PAN, R, G, B, IR
(ampliar capacidade resolutiva e FoV)

3 a 7 Sensores Multiespectrais R, G, B, e IR

(Fritsch, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares



Antecessores



(Haala, 2001)



(Haala, 2001)



(Neukum, 2001)

DPA Digital Photogrammetric Assembly – DASA – Desde 1990

WAAC Wide Angle Airborne Camera – DLR – Desde 1995 (Missão Marte 1996)

HRSC High Resolution Stereo Camera – DLR – Desde 1995 (Missão Marte 1996)

Concepção dos anos 70 por Otto Hoffman (Sensor Tri-linear)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



(www.gis.leica-geosystems.com)



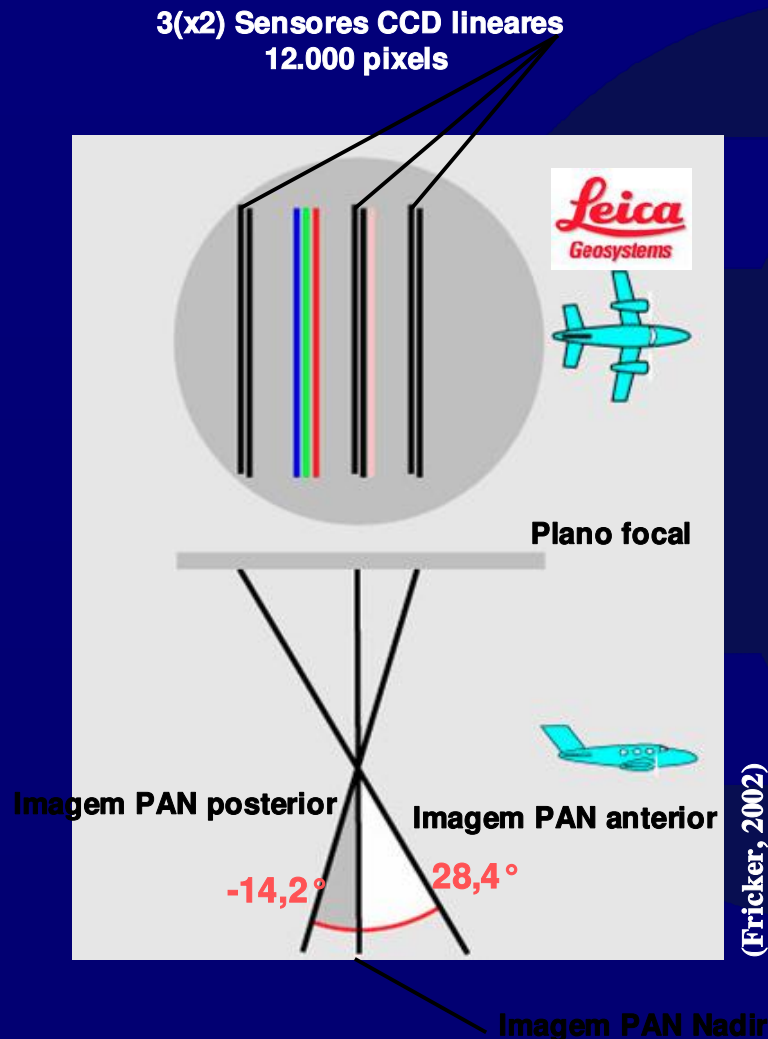
(Fricker-2001)

Lançada no XIX congresso da ISPRS em Julho de 2000 (Amsterdã)

Desenvolvida pela LH Systems em conjunto com o DLR (Centro Aeroespacial Alemão)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



Sensor CCD 2 x 12.000 pixels
deslocado $\frac{1}{2}$ pixel
Resolução PAN = 12 e 24k pixels

Sensor ("Scanner") Tri-linear

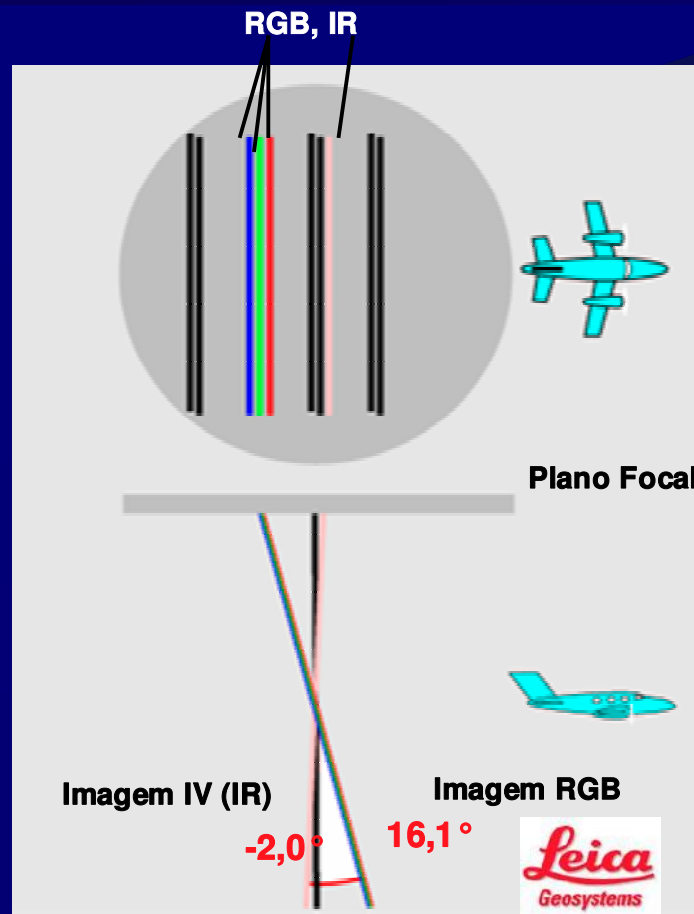
- ◆ Visada PAN anterior 28,4°
- ◆ Visada PAN posterior -14,2°
- ◆ Visada PAN Nadir

Imagem Estereoscópica

- ◆ 14,2, 28,4 e 42,6 graus
- ◆ DTM triplo

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

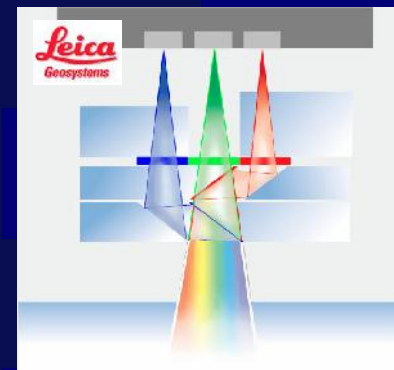
Sensores Lineares ADS40 - LEICA



(Fricker, 2002)

Sensores Multiespectrais
12000 pixels:

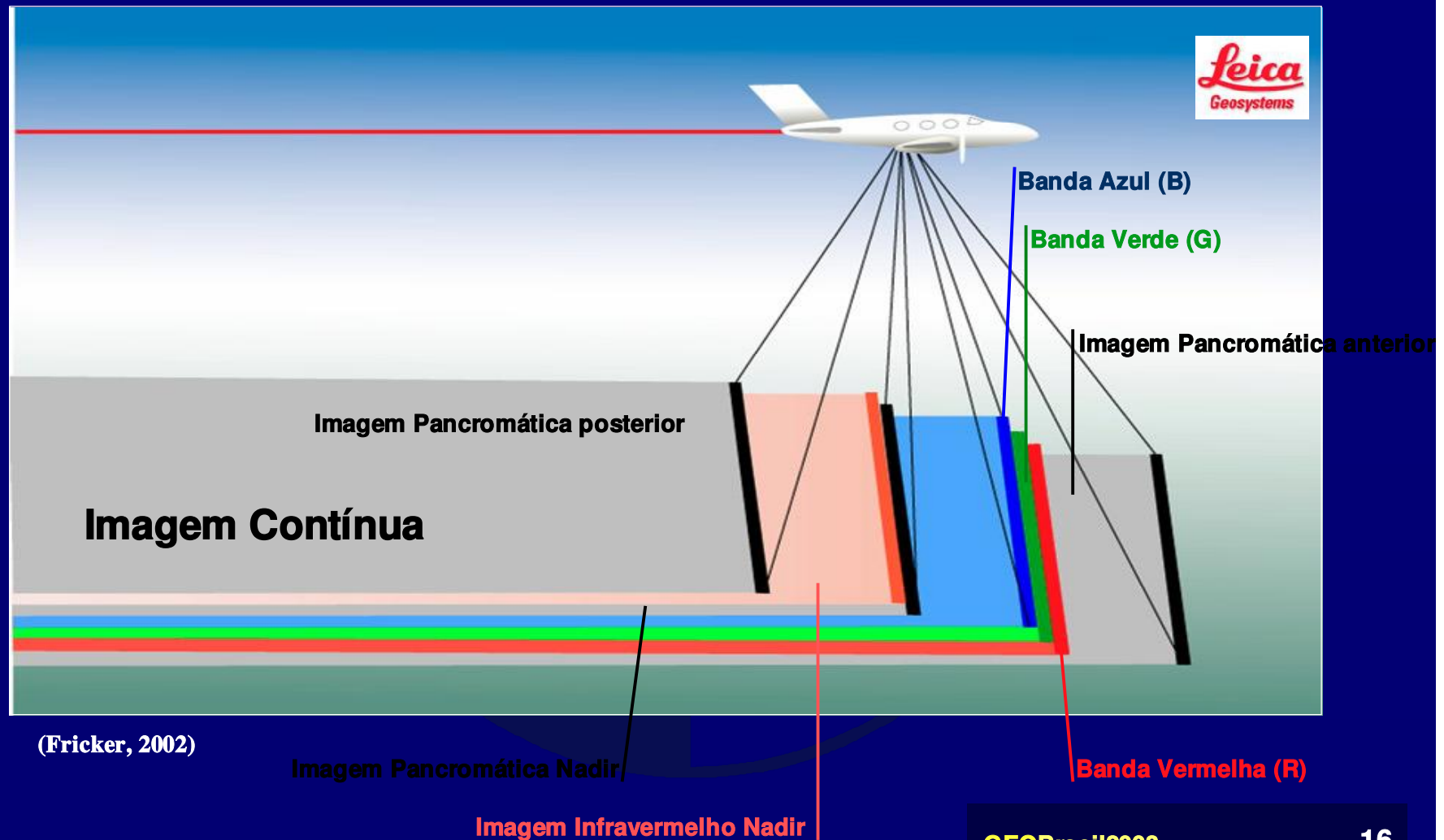
- ◆ Visada IR posterior $-2,0^\circ$
- ◆ Visada RGB anterior $16,1^\circ$
com mesmo ângulo de incidência (trichroid)



Ângulo de Abertura (FoV)= 64°

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

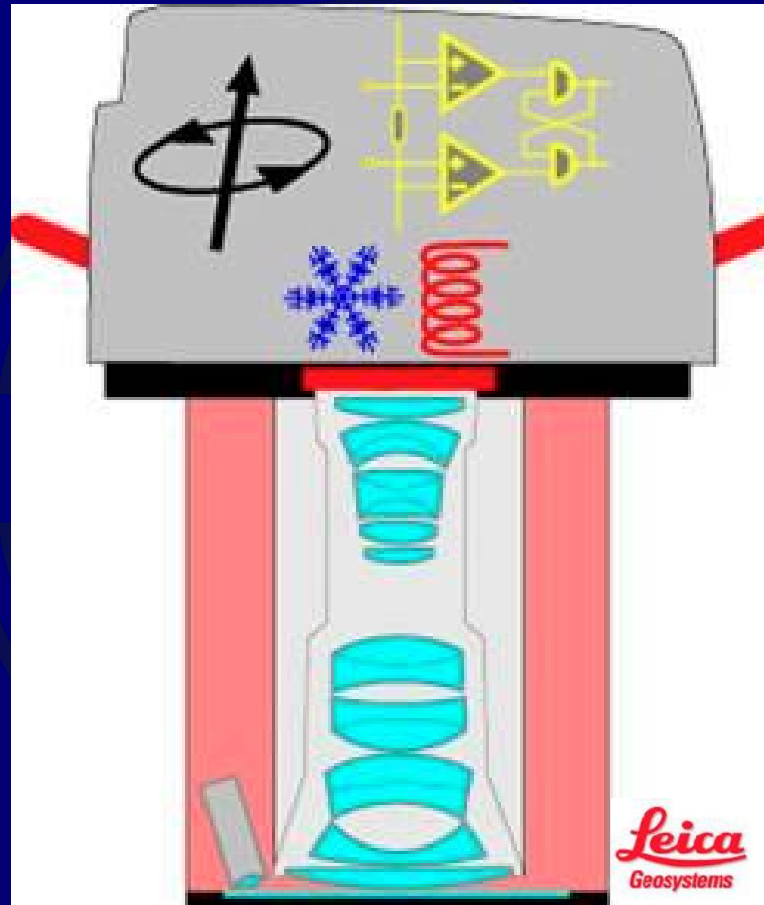
Sensores Lineares ADS40 - LEICA



Sistema Inercial (IMU)

Plano Focal

Câmara de vídeo



Eletrônica

Aquecimento e
Refrigeração

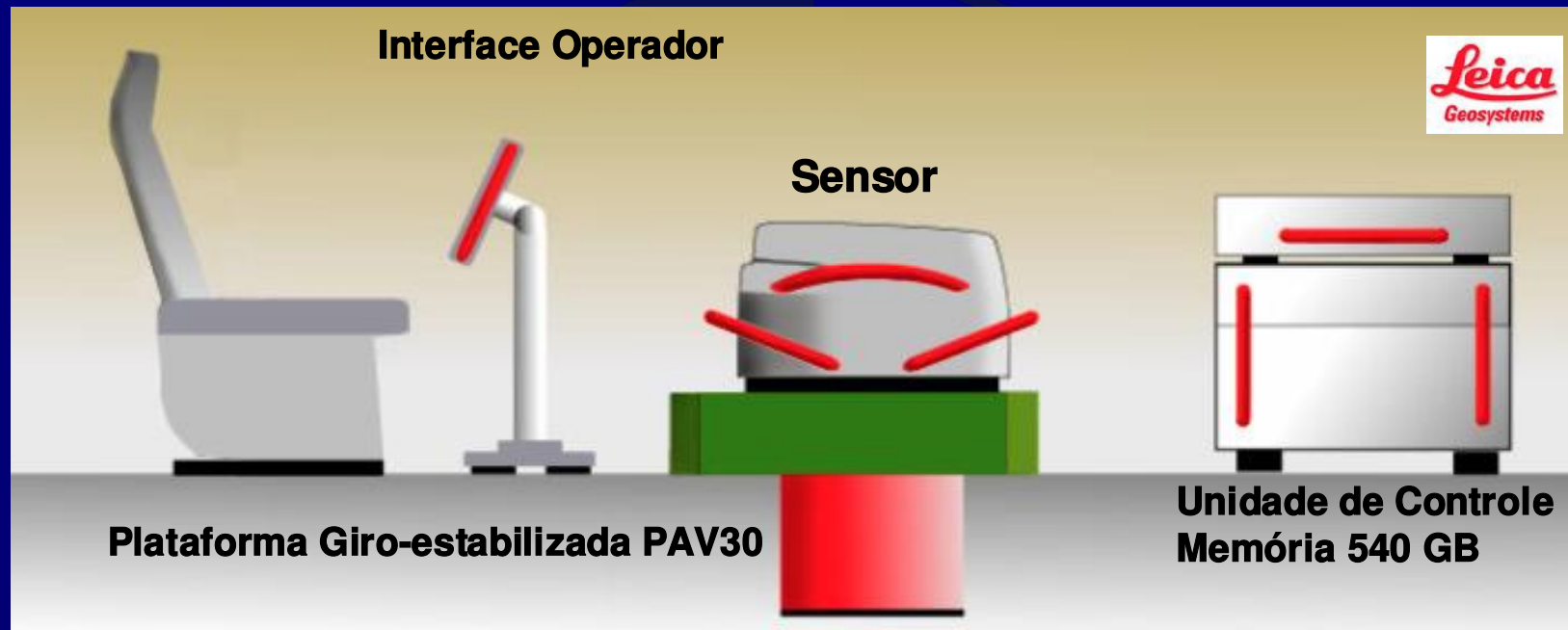
Filtros e Trichroid

Sistema de Lentes

(Fricker, 2002)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



(Fricker, 2002)

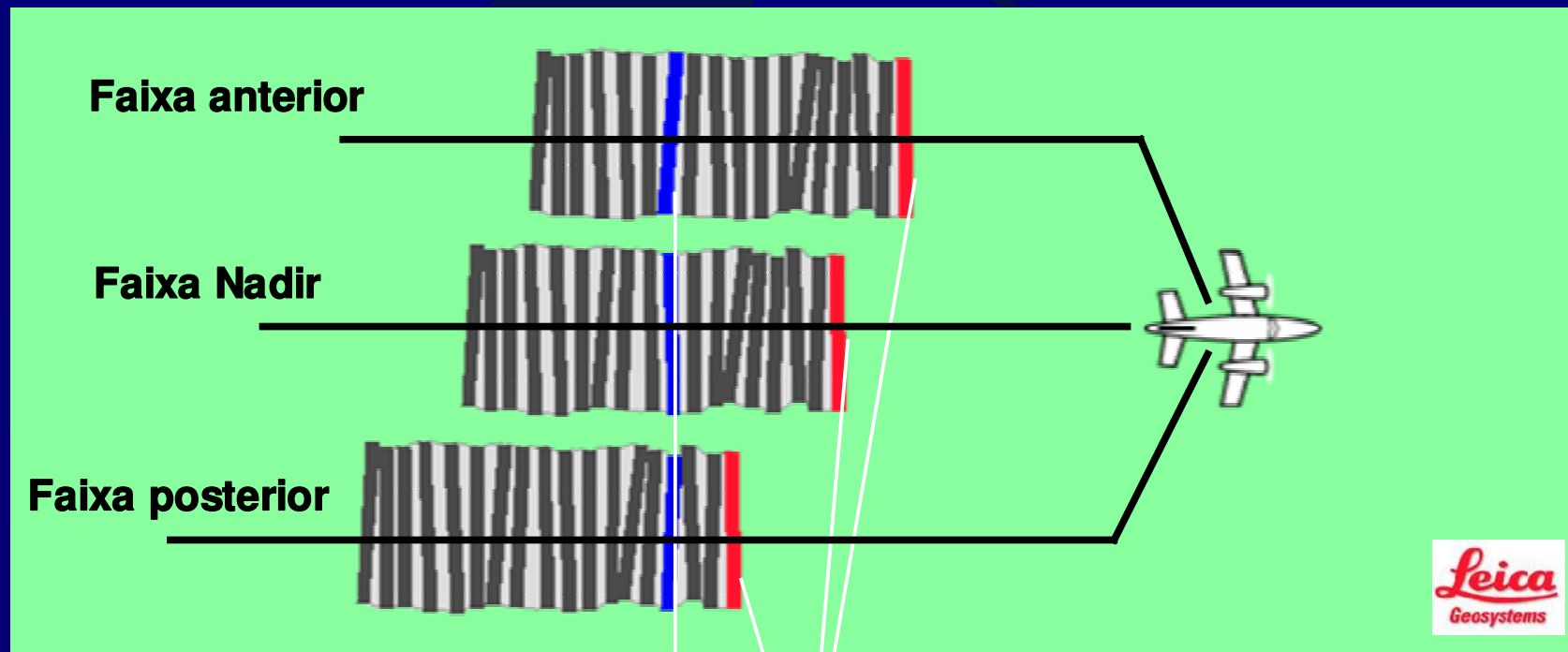
Dimensões e tamanhos compatíveis com as câmaras baseadas em filme

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



PRINCÍPIO DO SENSOR TRI-LINEAR



(Fricker, 2002)

Mesma área, vista de diferentes posições do sensor

Áreas diferentes vistas da mesma posição do sensor

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA

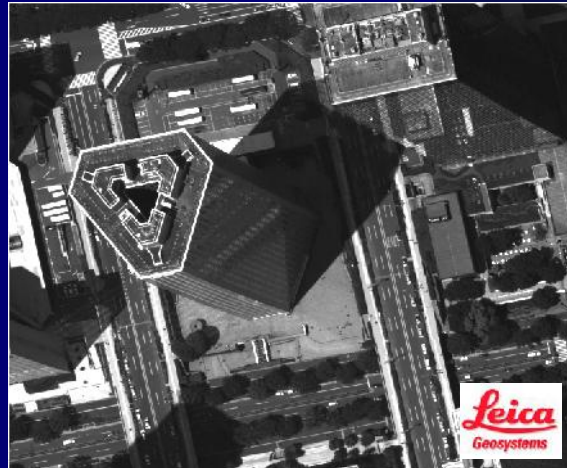


IMAGEM PANCRÔMÁTICA

Shinjuka, Tóquio, Japão

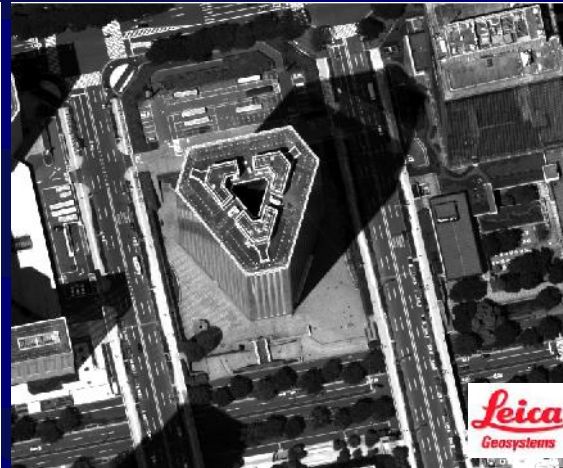
H = 2000m - GSD 20cm

Visada Posterior



(Gervaix)

Visada Nadir



Visada Anterior



Direção do Vôo ➔

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



Imagem Nível 0 (Bruta)
Sem plataforma giroestabilizada

DEFORMADA

**Necessidade de GPS e
Sistema Inercial (IMU)**

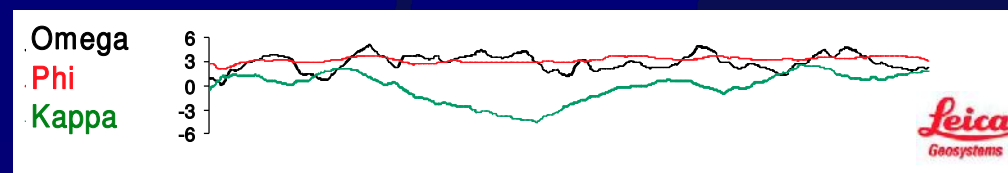


Imagem Nível 1 (Retificada)

**“EQUIVALENTE A
FOTOGRAFIA
CONVENCIONAL”**

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA

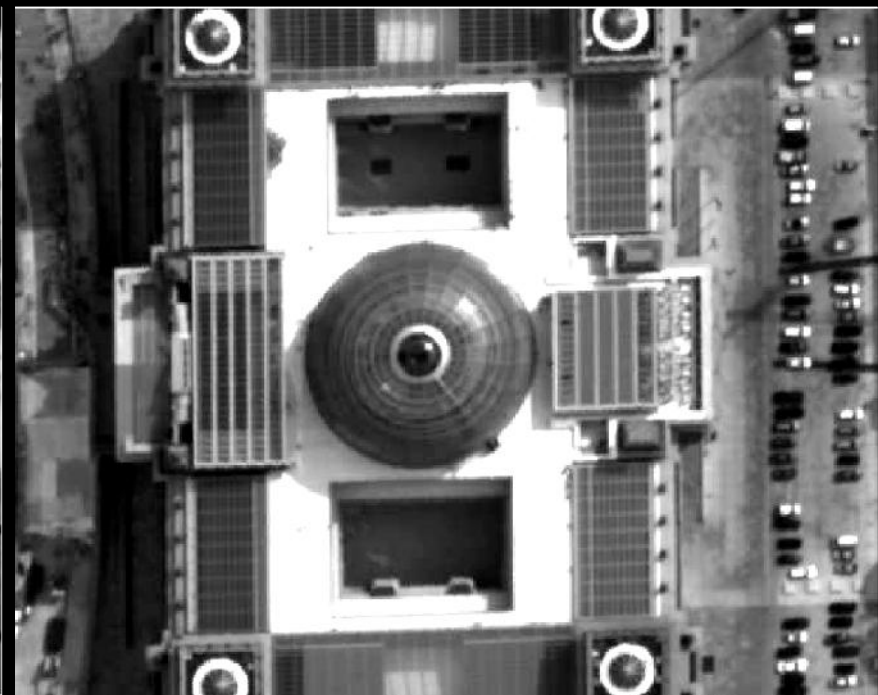


Nível 0



(Börner, 2000)

Nível 1



CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



PROCESSAMENTO

(POSProc - Applanix e SOCET SET / ORIMA - LH Systems)

Nível 0 (Imagem Bruta)

Nível 1 (Imagem Retificada)

Corrigida com os Dados GPS e Inercial

Passível de visão estereofotogramétrica (PAN)

Nível 2 (Imagem Geocodificada)

Aerotriangulação, retificação diferencial (ortofoto),

Geração de DTM. Restituição, Classificação,

Visualização, análise e interpretação

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



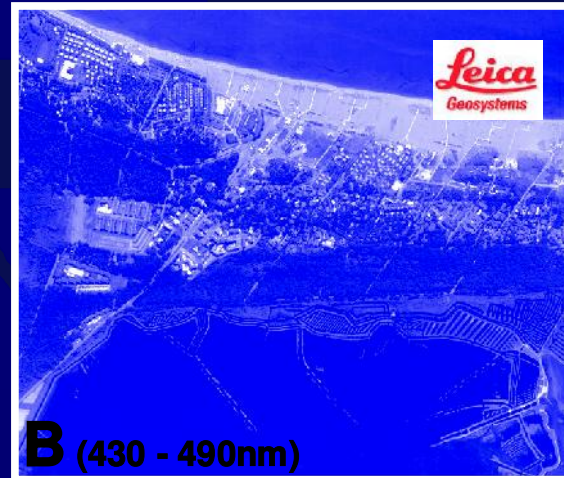
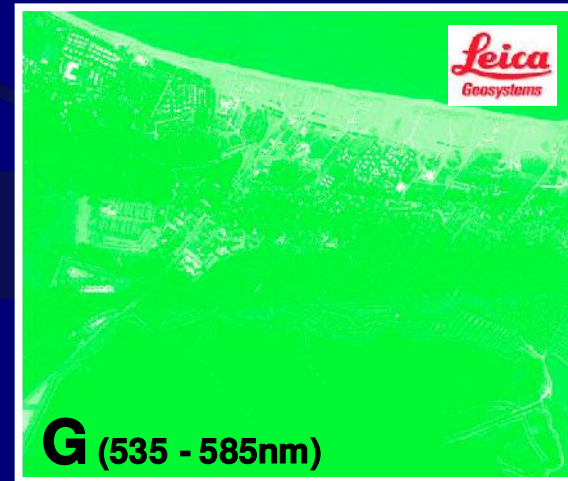
IMAGENS
R, G, B e IR

Costa do Mar
Adriático

H = 1500m
GSD = 15cm

Jun. / 2001

(Fricker, 2002)



CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



**IMAGEM
RGB**

**Costa do Mar
Adriático**

**H = 1500m
GSD = 15cm**

Jun. / 2001



(Fricker, 2002)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



**IMAGEM
RGB**

**Costa do
Mar Adriático**

**H= 1500m
GSD= 15cm**

Jun. / 2001

(Fricker, 2002)



CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



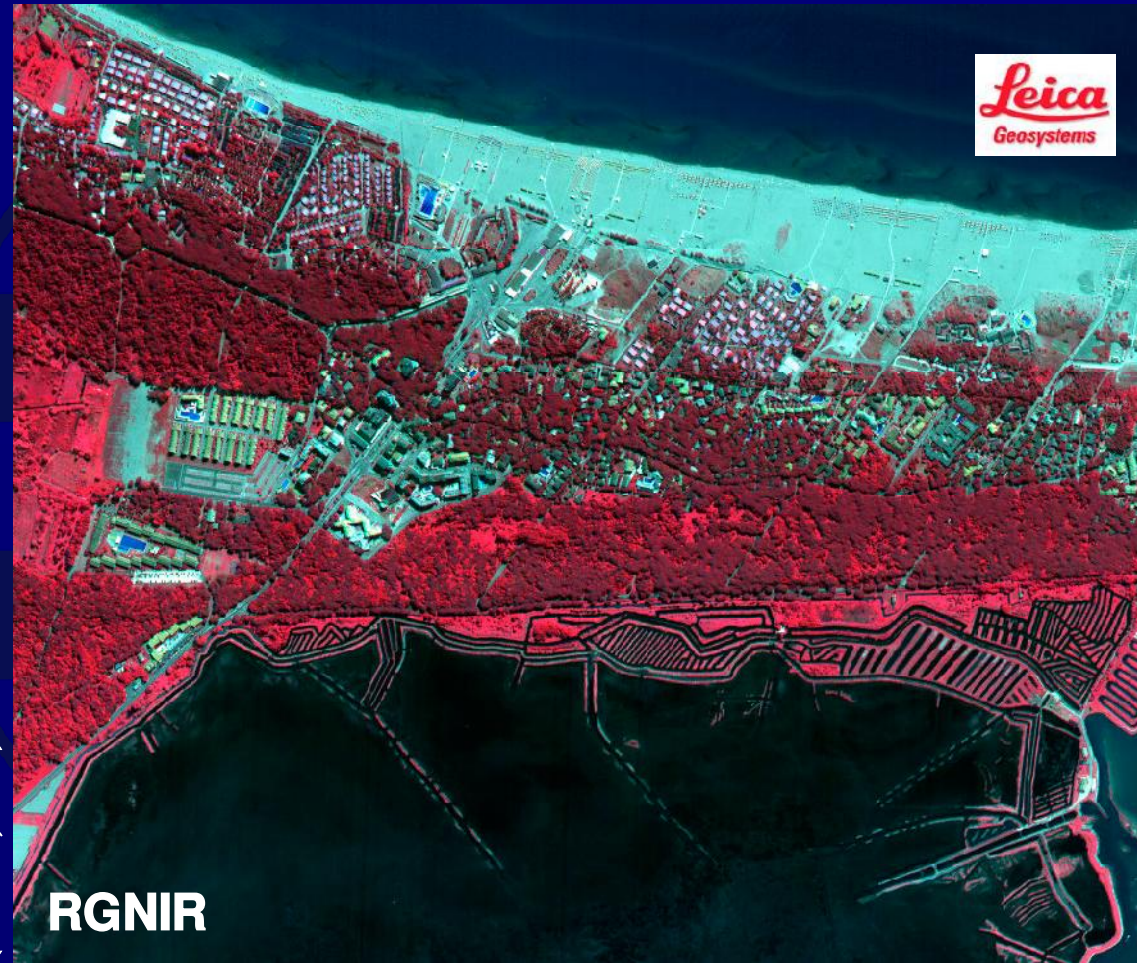
**Imagem
FALSA COR**

**Costa do
Mar Adriático**

**H= 1500m
GSD= 15cm**

Jun. / 2001

(Fricker, 2002)



CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA

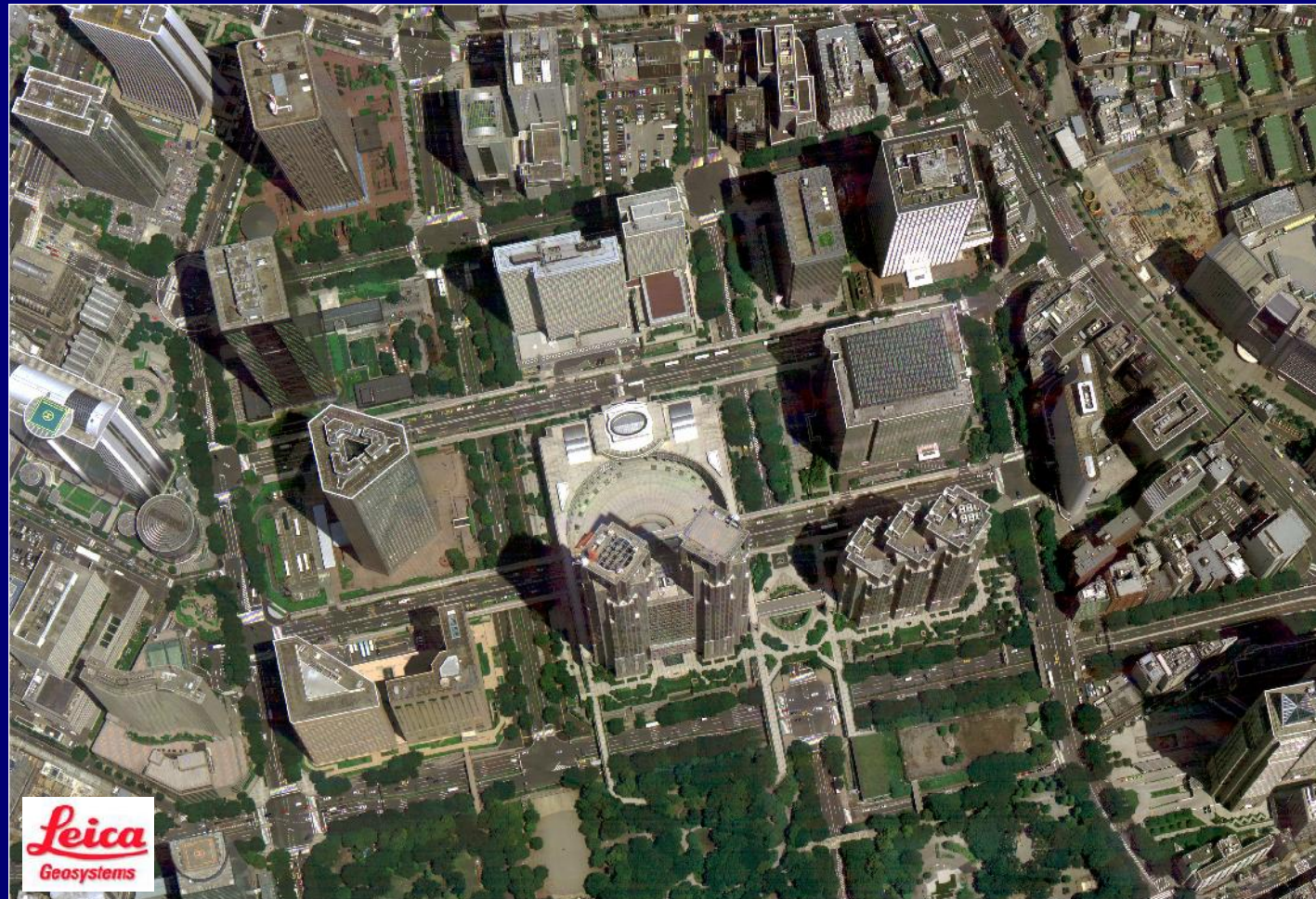


**Imagem
ADS40**

**Tóquio
Japão**

**H= 2000m
GSD= 20cm**

Maio / 2001



(Fricker, 2002)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Lineares ADS40 - LEICA



**Imagem
ADS40**

**Verona
Itália**

**H= 1500m
GSD= 15cm**

Jun. / 2001

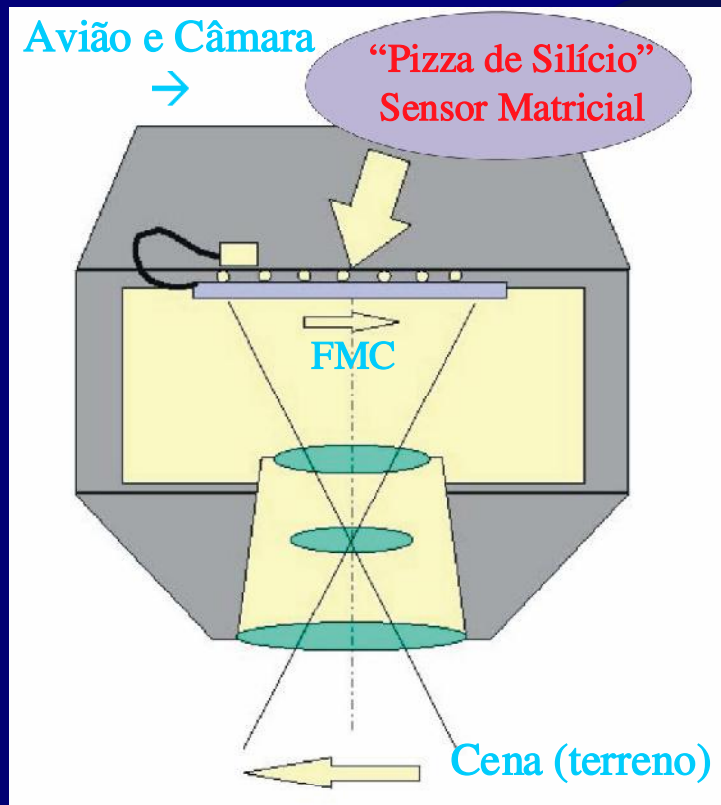


(Fricker, 2002)

IMAGEM ADS40 – Yokosaka, Japão – h=2500m, GSD 25cm

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Concepção da Câmara Aérea Digital



(Fritsch, 2001)

- ◆ Formato equivalente 23x23cm
 - ◆ T. Pixel 9 a 14 μ m (CCD)
 - ◆ Digital / Analógico 1:1
 - ◆ FMC (no plano focal)
 - ◆ Controle v/h (NA)
- Mas,**
- ◆ Tecnologia não disponível
 - ◆ Provavelmente muito caro
 - ◆ Longo tempo de exposição
- Entretanto:**
- ◆ Sensores Lineares
 - ◆ Sensores Matriciais

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



(www.ziimaging.de)

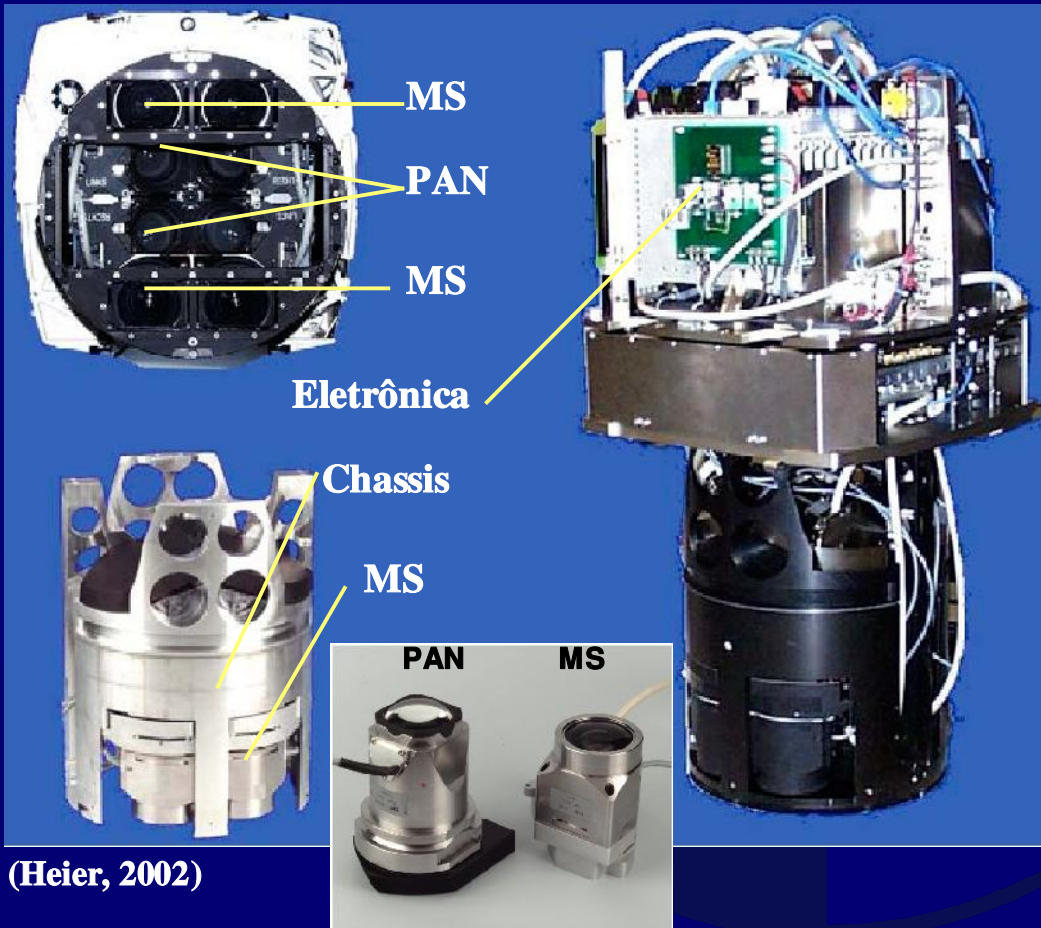
**Anunciada em Stuttgart na
Semana Fotogramétrica (1999)**

Lançada no mercado em 2002

Desenvolvida pela Z/I Imaging

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



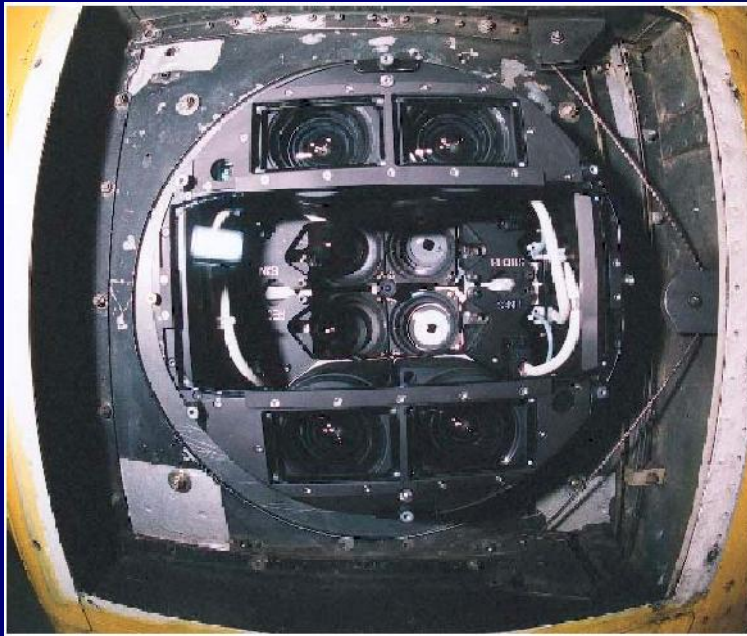
(Heier, 2002)

CONCEPÇÃO

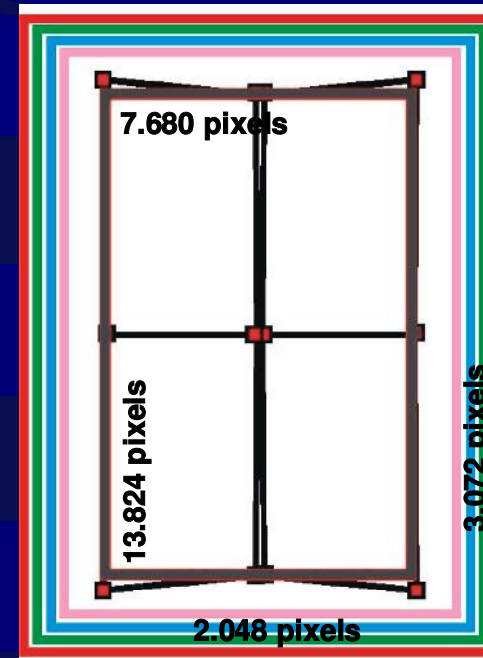
- Projeto Modular
- MS / PAN
- Mesma Abertura (74°)
- “Substituir” em 70% a RMK-TOP
- Geometria (Pixel e perspectiva central)
- FMC

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



(Dörstel, 2002)

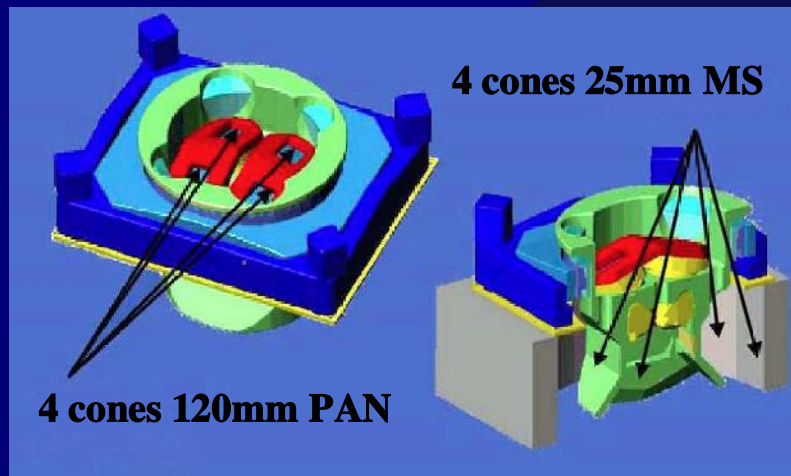


(Hinz, 2000)

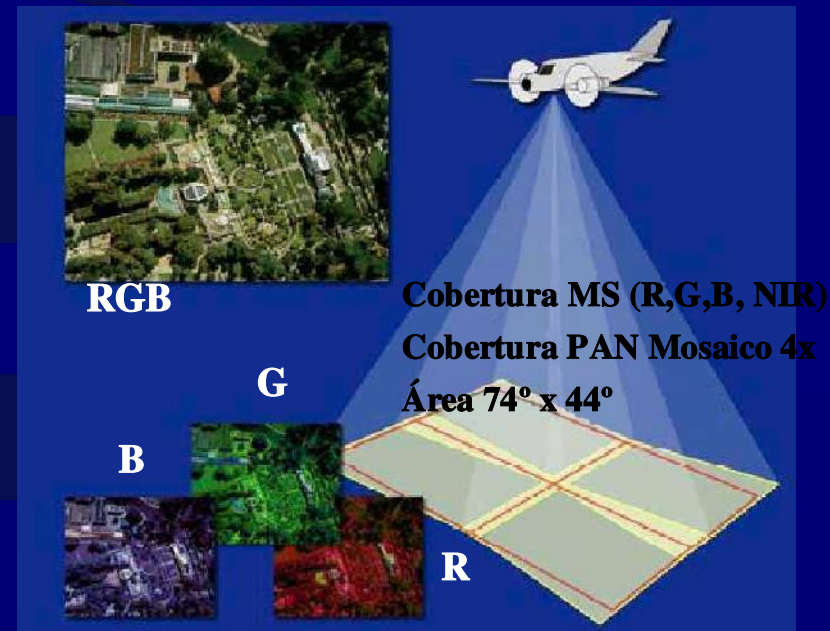
- 4 CCD matricial (7k x 4k) PAN = (13,8k x 7,7k) – 4 x (120mm)
- 4 CCD matricial (3k x 2k) MS – 4 x (25mm)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC – Z/I



(Heier, 2002)

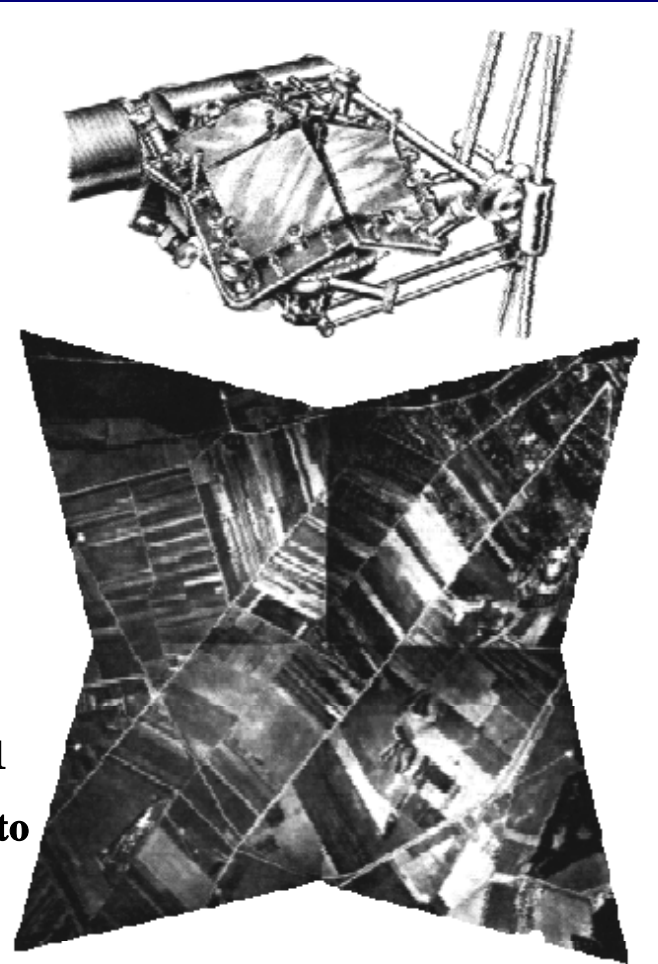
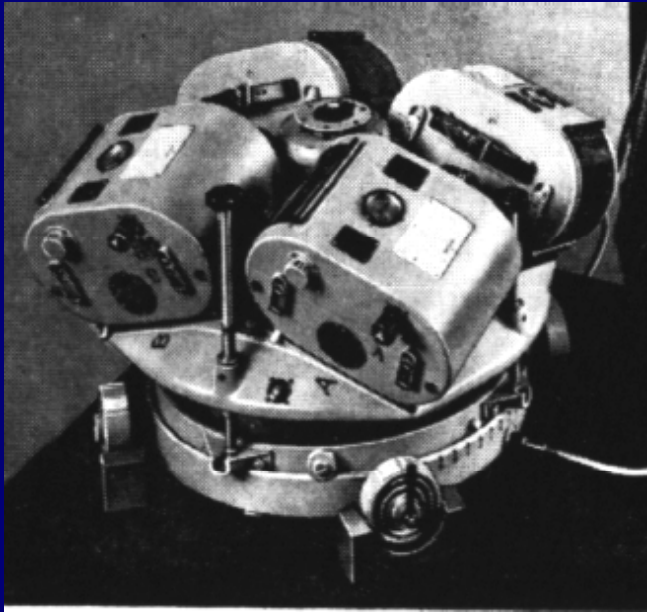


(Heier, 2002)

- Ângulo de Abertura (FoV) 74° x 44°
- Perspectiva Central (Compatibilidade DPW existentes)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I

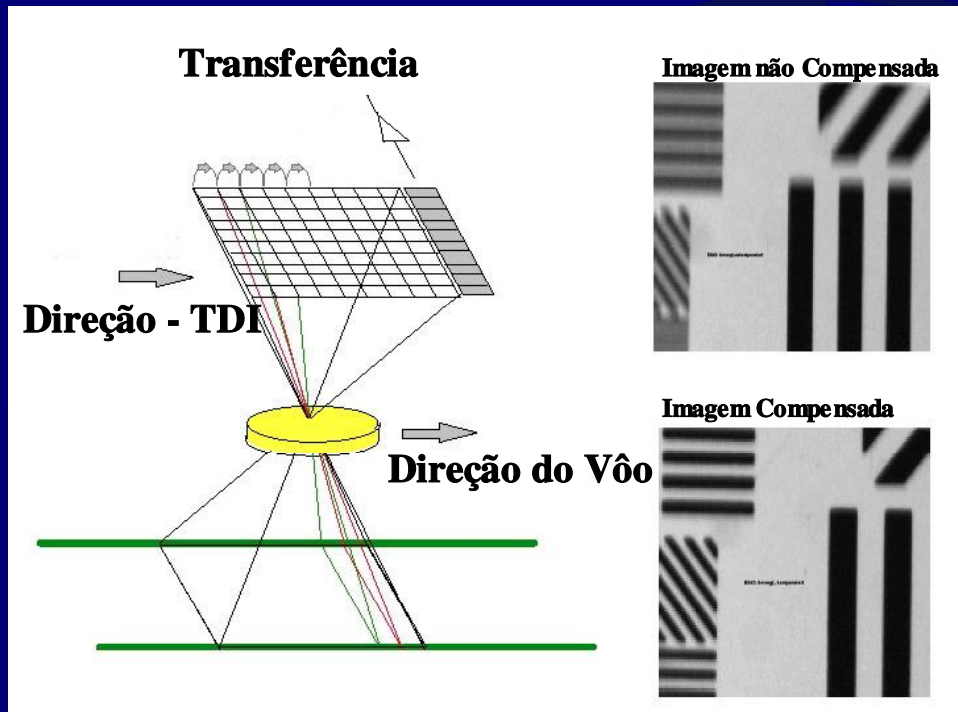


1930: Combinação de 4 câmaras RMK C/1
Para obter uma imagem de grande Formato

(Haala, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC – Z/I



(Fritsch, 2001)

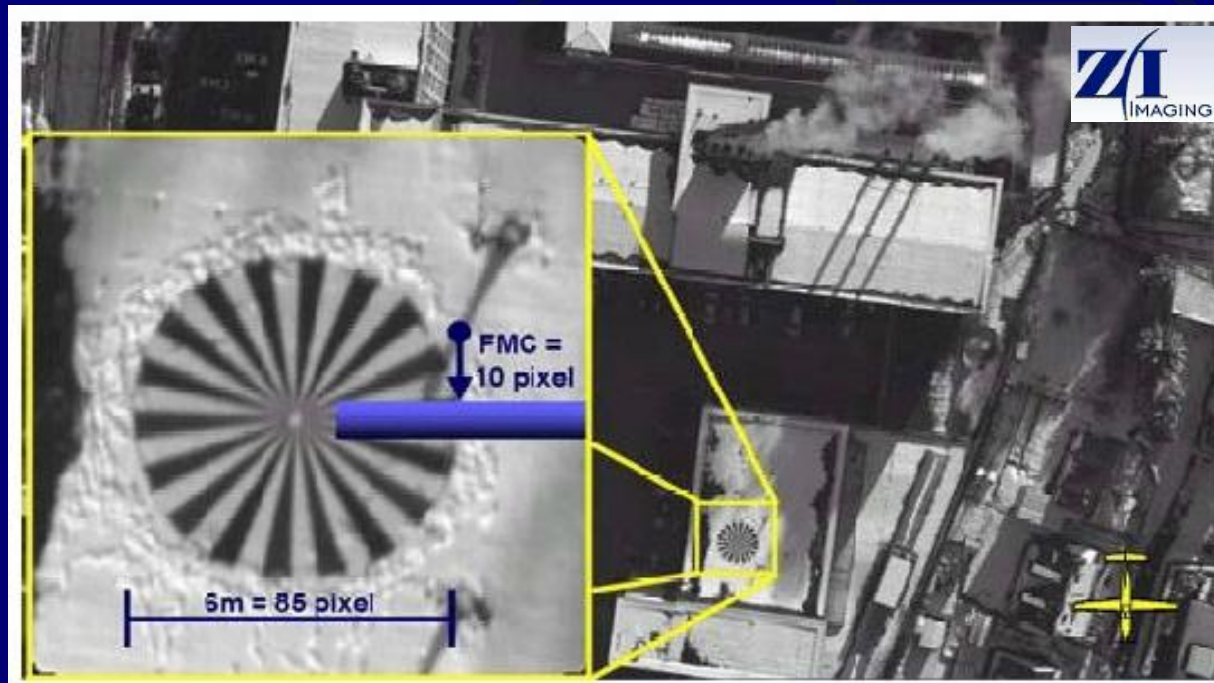
FMC Digital
Forward Motion Compensation

TDI
Time Delayed Integration

Característica exclusiva
dos Sensores CCD
de arranjo matricial

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



(Heier, 2002)

VÔO TESTE FMC – TDI

Altura: 305m

Escala: 1:5.800

Veloc.: 77m/s

Exp.: 1/100s *

GSD: 7cm

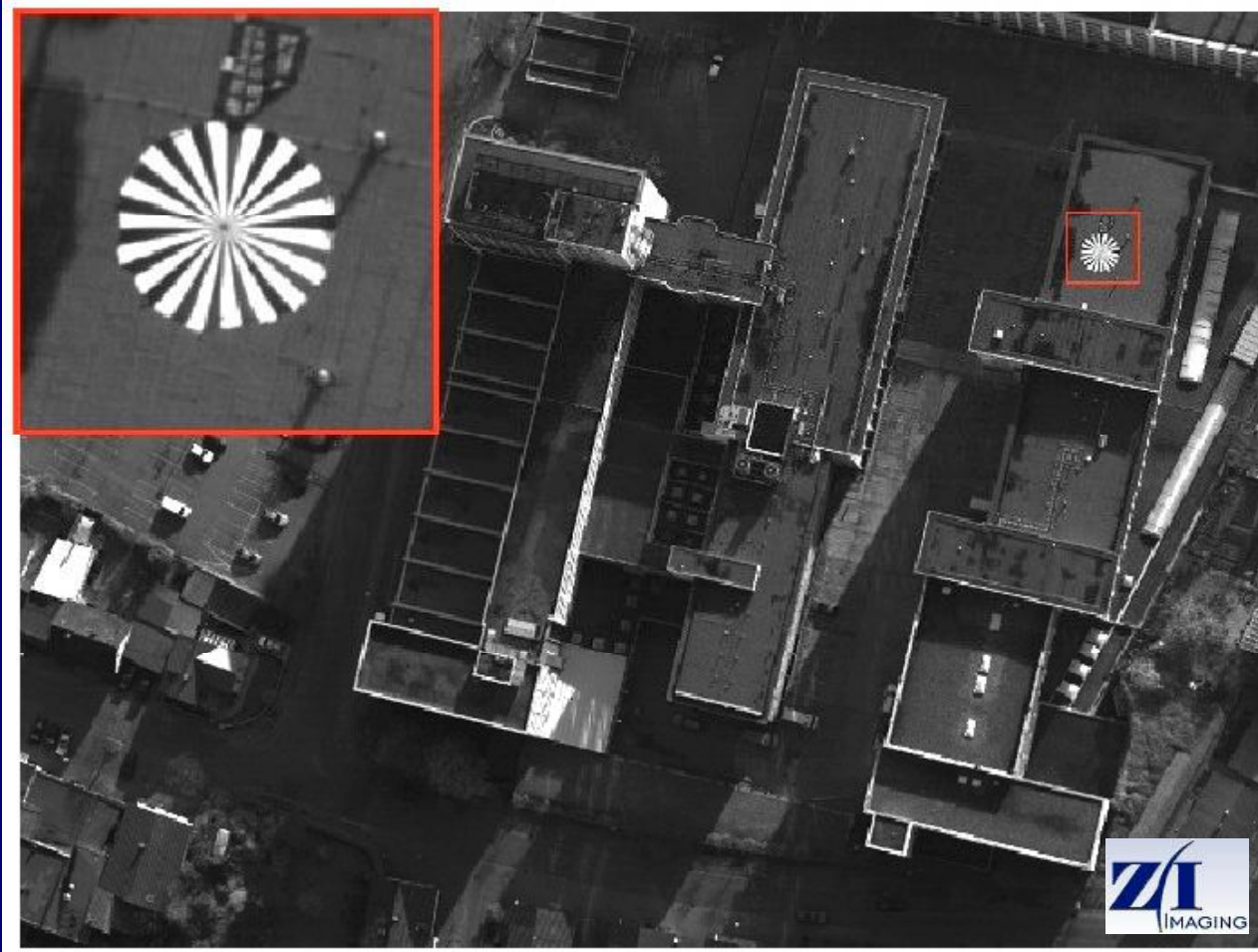
Correção: 10pix

Data: Jan/2000

* Longo tempo de exposição

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



VÔO TESTE

Altura: 740m

Veloc.: 70m/s

GSD: 7,5cm

Corr. FMC: 4pix

Data: Nov./2000

Vôo sobre
Fábrica da
Carl Zeiss
Oberkochen

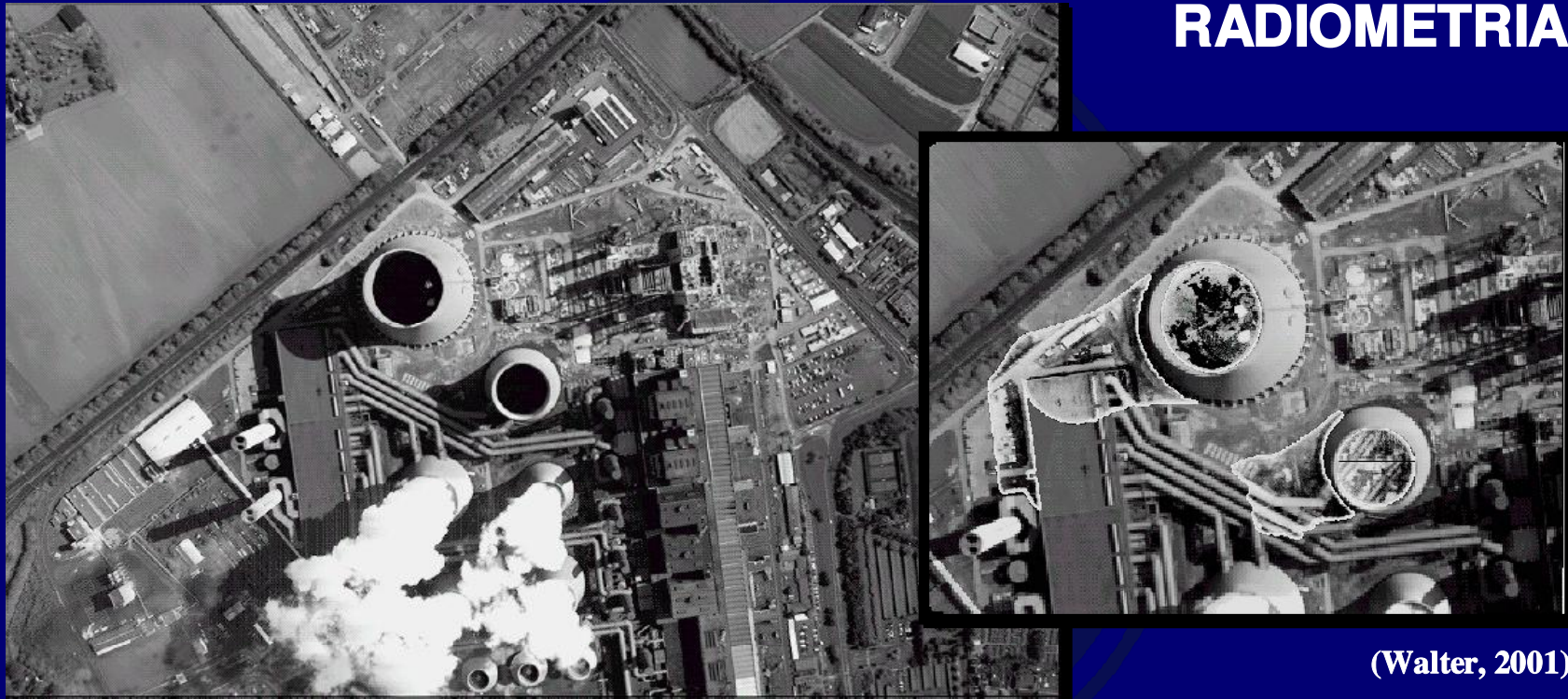
(Hinz, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



RADIOMETRIA



(Walter, 2001)

Resolução Radiométrica 12 bits (4096 tons de cinza)

1:22.000 - 72m/s (140km/h) - GSD = 22cm - Maio/2000

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC - Z/I



(www.ziimaging.com)

ORTOFOTO DMC

Altura: 1850m

GSD: 18cm (PAN)

Escala : 1/15.000

Data: Ago./2002

Vôo sobre
Cidade de
Nordlingen
ALEMANHA

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Sensores Matriciais DMC – Z/I



Processamento (Heier, 2001)
(ImageStation – Z/I Imaging)

Nível 1

Correção Radiométrica

Nível 1a (Imagem Virtual)

Correção das imagens individuais e geração da Imagem Virtual com perspectiva central (Mosaicagem)

Nível 1b (Composição de Cores)

Imagem Colorida = R+G+B ou outra (NIR)

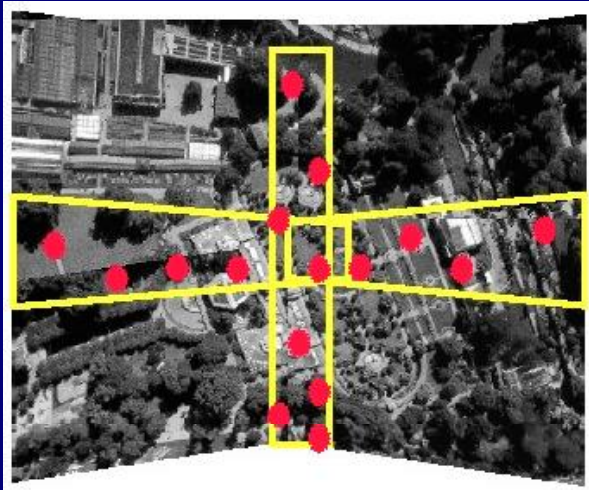
Imagem Composta = PAN+RGB

Nível 2 (Imagem Georrefenciada)

Obtida a partir dos níveis 1a ou 1b e as medições GPS/INS

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

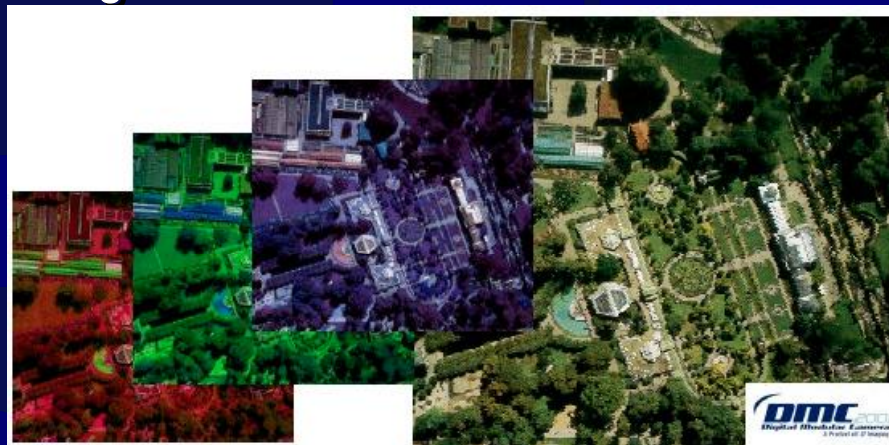
Sensores Matriciais DMC – Z/I



Processamento

Baseado nas 4 sub imagens uma imagem completa com perspectiva central é gerada.

- Correção geométrica e radiométrica
- Orientação relativa das 4 câmaras
- Controle geométrico (pontos de enlace)
- Fusão com bandas multiespectrais gerando imagem colorida.



(Haala, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

QUADRO COMPARATIVO ADS40 x DMC

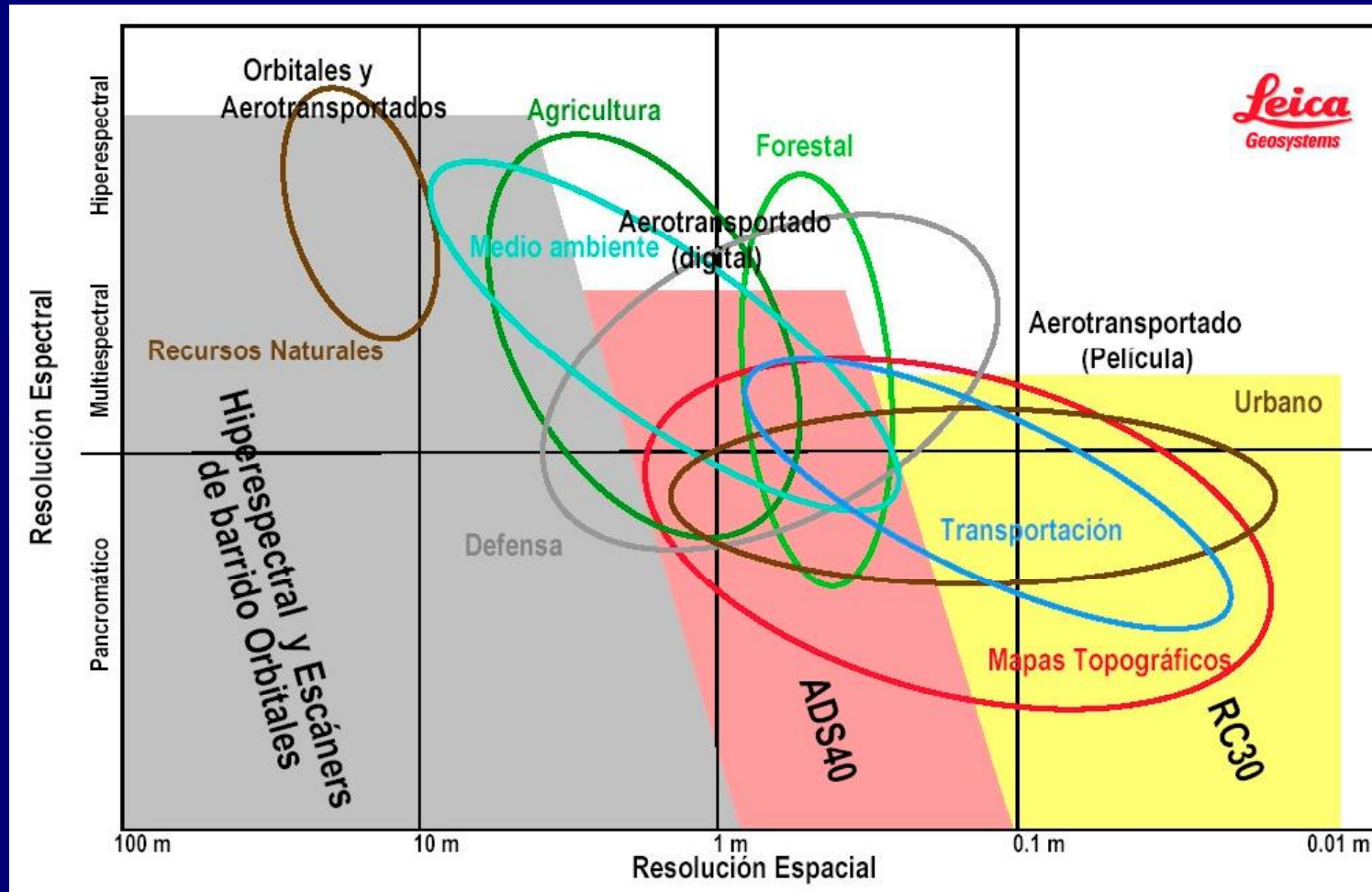


Leica Geosystems Z/I Imaging

ADS40 - Airborne Digital Sensor Sensor CCD Arranjo Linear	DMC - Digital Mapping (Modular) Camera Sensor CCD Arranjo Matricial
PAN - (3x) 2x12k = 24.000pixels	PAN - (4x) 7x4k = 13.826 x 7.680pixels
MS - 4x12k = 12k R,G,B,NIR	MS - (4x) 3Kx2k = 3k x 2k R,G,B,NIR
Tamanho Pixel 6,5 x 6,5µm	12 x 12µm
1 lente Leica Telecentrica	4 lentes Zeiss (PAN) + 4 lentes Zeiss (MS)
Dist. Focal 62,7mm	Dist. Focal 120mm (PAN) e 25,4mm (MS)
FoV 64º	FoV 74º x 44º
df. equivalente: 180mm	df. equivalente: 4x315mm PAN e 4x150mm MS
12 bits / 8 bits	12 bits
Sistema Inercial / GPS	Sistema Inercial / GPS (opcional)
Suspensão Giroestabilizada PAV30	Suspensão Giroestabilizada T-AS
mínimo GSD 15cm	mínimo GSD 5cm
Variável de 1/200 até 1/800s (9 pos.)	Variável de 1/50 até 1/300s (cont.)
Fixo f/4	Variável de f/4 até f/22
N/A	Máximo 2s / imagem
188 kg	110 kg
Memória 540GB	Memória 840GB (> 2000 imagens)

Sensores Digitais e Analógicos

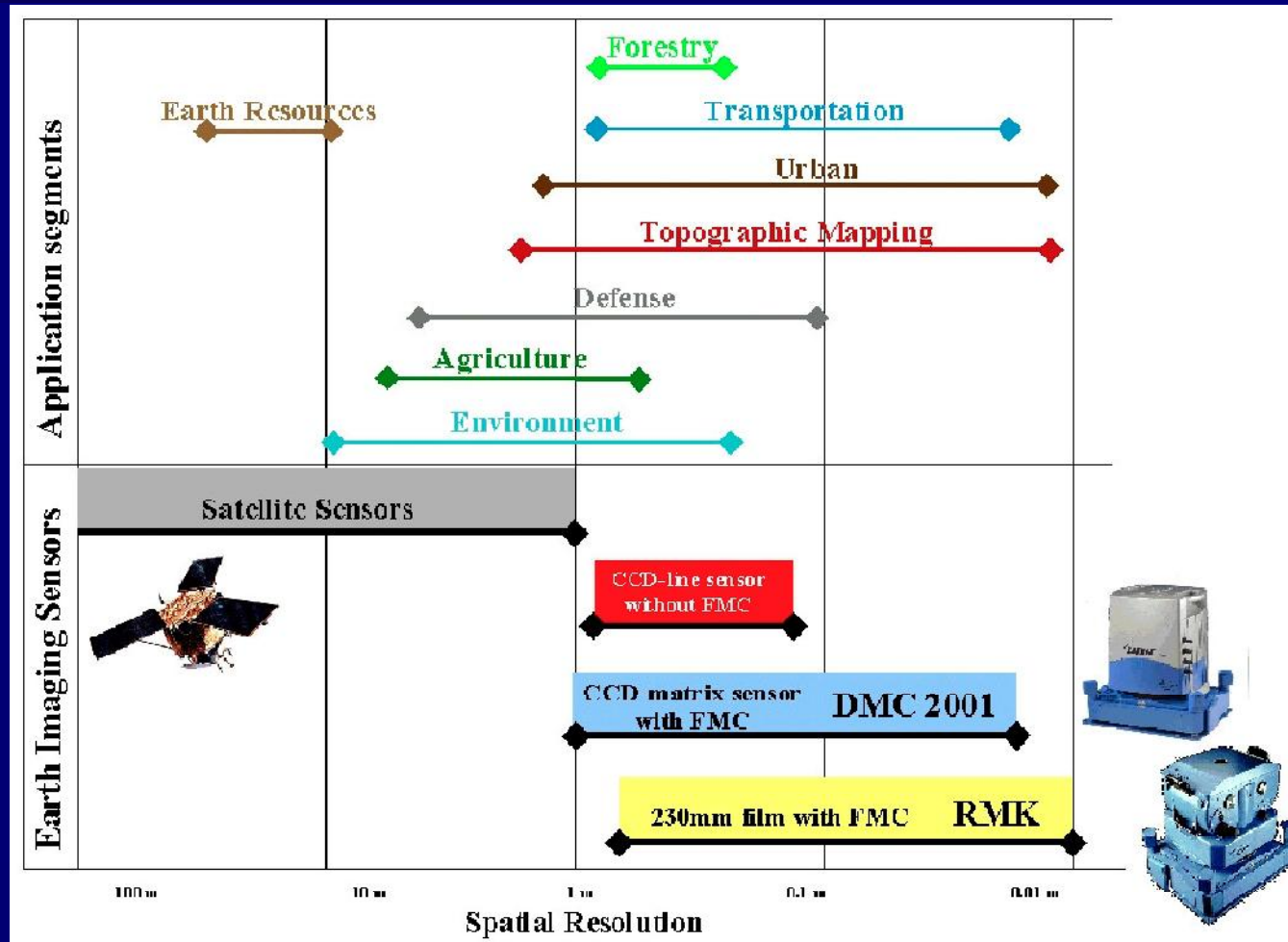
Campos de Aplicação dos Sensores



(Leica, 2000)

Sensores Digitais e Analógicos

Campos de Aplicação dos Sensores



(Heier, 2001)

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Outras Câmaras Aéreas Digitais



HRSC-AX (DLR)

Focal: Zeiss 150mm
CCD Linear: 9 x 12k
Exp. máx: 1640 l/s
Tamanho Pixel: 6,5µm
GSD: 15cm



DAIS-1 (Space Imaging)

Focal: 4 x 28mm
CCD matricial: 4x 1 x 1k
Interv. Exposição: 3,5s
Tamanho Pixel: 12 µm
GSD: 30cm



ALTM4K02 (Optech)

Focal: Zeiss 55mm
Sensor matricial: 4k x 4k
Interv. Exposição: 4s
Tamanho Pixel: 9 µm
GSD: 25cm

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Outras Câmaras Aéreas Digitais



HRSC-AX (DLR)

Band.: R,G,B,IR e PAN

FoV: 75°

Susp.: Zeiss T-AS

Inercial / GPS

Resolução: 12 bits

Software: Próprio

Peso: 300kg

Câmara utilizada em convênio com a DLR e Universidade Livre de Berlim

(Neukum, 2001)

www.dlr.de/HRSC-A

DAIS-1

Bandas: R,G,B e NIR

FoV: 24,6°

Susp.: Zeiss T-AS

Inercial / GPS

Resolução: 12 bits

Software: Erdas

Peso: N D

Imagem comercializada Pela Space Imaging

(Lutes, 2002)

www.spaceimaging.com

ALTM4K02 (Optech)

Bandas: RGB e CIR

FoV: 36°

Suspensão: Não Possui

Inercial / GPS

Resolução: 16 bits

Software: ImageStation

Peso: 15kg

Câmara opcional nos Sistemas de Perfilamento a LASER da Optech

(Optech, 2002)

www.optech.on.ca

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Considerações Finais



VANTAGENS

- **Resolução Radiométrica Maior (12 bits ou mais)**
- **Captura de Várias Bandas Espectrais Simultaneamente**
- **Precisão equivalente às Câmaras Baseadas em Filme (GPS/IMU – Linear e Perspectiva Central – Matricial)**
- **Processo inteiro passa a ser digital**
- **Cada elemento é imageado 3 vezes (Sensor Linear)**
- **Menor Mosaicagem (Sensor Linear)**
- **Redução de custo em Filme, Laboratório, Escaner ...**
- **Novas Aplicações (Tempo crítico, Multimídia, Bandas)**

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Considerações Finais



DESVANTAGENS

- **Resolução Geométrica Menor que nas Câmaras baseadas em Filme (5 e 15cm contra 1cm)**
- **Grande Volume de dados**
- **Alto Custo Atual das Câmaras Aéreas Digitais**
- **Rápida Desatualização**
- **Necessidade de Sistema Inercial / GPS (Sensor Linear)**
- **Mudança Cultural da Perspectiva Central (Sensor Linear)**
- **Vários Sistemas de Lentes (Sensor Matricial)**

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

As câmaras atuais serão substituídas?



SIM, MAS NÃO JÁ...

Fotografia 23cm x 23cm digitalizada com pixel de 4,5µm (DSW-600 LH Systems)

Resolução equivalente: 51.100 x 51.100 pixels (260Mpixels)

Uma fotografia colorida (RGB) 12bits/banda: aprox. 10,9 GigaBytes

* Digitalização Usual 12,5µm ou 25µm com 8 bits (18.400² ou 9.200² pixels)

Câmaras atuais (RMK-TOP e RC-30) produzem uma foto a cada 1,5 segundos

Taxa de transferência 7,3 GB/s IMPOSSÍVEL NO MOMENTO (limite 500?? MB/s)

Capacidade anual de uma câmara (ESTEIO-2002): 15.000 fotos = 160 TB/ano

Como manipular esta quantidade de informação???

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS

Uma Nova opção em Fotogrametria



Muito Obrigado pela atenção...

Dúvidas, críticas e sugestões:

Valther Xavier Aguiar
valther@esteio.com.br

info@esteio.com.br

www.esteio.com.br