

# CÂMERAS AEROFOTOGRAMÉTRICAS DIGITAIS: NOVOS CONCEITOS E NORMAS

*Airborne Digital Photogrammetric Cameras: Concepts, Norms and Performance*

**Juilson Jubanski**<sup>1</sup>  
**Mauro Alixandrini**<sup>1</sup>  
**Hans-Peter Bähr**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>**Universität Karlsruhe (TH)**  
**IPF – Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung**  
Englerstr. 7 76128 Karlsruhe - Deutschland  
juilson.jubanski@ipf.uni-karlsruhe.de  
mauro.alixandrini@ipf.uni-karlsruhe.de  
hans-peter.baehr@ipf.uni-karlsruhe.de

## RESUMO

A utilização de câmeras aerofotogramétricas digitais é uma realidade que está se difundindo rapidamente na comunidade aerofotogramétrica mundial. Importantes fabricantes desenvolvem atualmente sistemas que apresentam melhor desempenho que os tradicionais. Os novos equipamentos buscam substituir as câmeras aerofotogramétricas convencionais, gerando imagens com características semelhantes às aerofotos no formato 23x23 cm. As principais soluções encontradas são baseadas em sistemas de CCD linear ou de CCD de área. Para que esses sistemas ofereçam a qualidade geométrica exigida pela aerofotogrametria, métodos de calibração foram desenvolvidos, e novos termos, como “calibração completa” e “validação da calibração”, surgem nesse contexto. Tendo em vista essas mudanças, importantes organizações internacionais vêm buscando um consenso através da normalização de procedimentos e equipamentos, bem como da certificação e validação desses sistemas. A DIN (Deutsches Institut für Normung) publicou em 2007 a DIN 18740-4 que trata de produtos aerofotogramétricos digitais, a USGS (United States Geological Survey) lançou em 2006 um plano de certificação para fabricantes e usuários de sensores aerofotogramétricos digitais, e a EuroSDR (European Organization of Spatial Data) concentra esforços para uma certificação europeia (EuroDAC<sup>2</sup>). Estas informações juntamente com alguns resultados geométricos e radiométricos obtidos com os equipamentos apresentados serão discutidos ao longo deste trabalho.

**Palavras chaves:** Aerofotogrametria, Câmeras Aerofotogramétricas Digitais, DIN 18740-4

## ABSTRACT

The use of airborne photogrammetric digital cameras is a reality and it is disseminating quickly abroad the international aerial photogrammetric community. Important manufacturers develop systems that are showing better performance than the traditional ones. These equipments are replacing the conventional large format cameras; throw the generation of images with similar characteristics of the traditional 23 x 23 cm format. The main solutions found are systems with linear CCD and systems with area CCD. In order to offer the geometric quality required by the aerial photogrammetry, new calibration methods where developed and new terms emerge such as “complete calibration” and “calibration validation”. In consequence of these changes important international organizations are involved on the equipment- and procedures normatization, as well on system certification and validation: the DIN (Deutsches Institut für Normung) has published in September 2007 the norm DIN 18740-4; the USGS (United States Geological Survey) published the quality assurance plan for digital aerial imagery in 2006; and the EuroSDR (European Organization of Spatial Data) is about to create an European camera certification plan (EuroDAC<sup>2</sup>). All these information, as well some geometric and radiometric results from tests made with these sensors are shown in this paper.

**Keywords:** Aerial Photogrammetry, Airborne Photogrammetric Digital Cameras, DIN 18740-4

## 1. INTRODUÇÃO

Sensores imageadores digitais vêm sendo usados desde a década de 60, com o lançamento do satélite meteorológico TIROS-1 (SIMONETT, 1983). Para fins de mapeamento, isso ocorre desde 1972 com o lançamento do LANDSAT 1 MSS. Isso mostra que a concepção de um processo de mapeamento completamente digital, desde a captação dos dados, passando pelo seu processamento até sua distribuição e visualização, já é uma realidade há muito tempo. Na aerofotogrametria, entretanto, mesmo com a introdução muito bem sucedida dos scanners métricos, na década de 90, tarefas fotogramétricas típicas ainda são realizadas combinando-se métodos analógicos e digitais. Somente a produção de ortofotos é um procedimento completamente digital, devido à relação custo-benefício (LEBERL, 2003). No entanto, as imagens originais ainda ficam, em sua maioria, armazenadas em filmes, e em alguns casos as imagens digitalizadas são descartadas. A aquisição da imagem em formato digital parece ser o último obstáculo a um processo inteiramente digital. Este desafio está sendo superado através de sistemas que utilizam sensores CCD combinados a sistemas óticos, formando sistemas fotográficos cada vez mais aperfeiçoados.

Para uma aerofotogrametria completamente digital, dois dos principais fabricantes de equipamentos aerofotogramétricos anunciaram, no ano 2000, o lançamento dos primeiros modelos comerciais de câmeras aerofotogramétricas digitais (GRUBER *et al.*, 2003): a LH-Systems (hoje Leica Geosystems), com o ADS40 e a Z/Imaging com a DMC. As soluções encontradas por esses fabricantes são distintas entre si, e serão discutidas ao longo deste artigo. A princípio, o altíssimo custo desses equipamentos e as mudanças radicais necessárias no gerenciamento dos projetos intimidaram o mercado, mas essas dificuldades estão sendo superadas. A prova disso é o aumento contínuo do número de sistemas entrando em operação no mundo. Novos equipamentos, como a UltraCamD da Vexcel (hoje pertencente à Microsoft), lançada em 2003 e o modelo UltraCamX, lançada em 2006; bem como o modelo da RolleiMetric (AICx4), lançado em 2008; mostram a tendência indiscutível da transição para os sistemas sensores aerofotogramétricos digitais. As características desses modelos serão discutidas nos tópicos seguintes.

Todas essas mudanças trazem a tona questões sobre a qualidade das imagens e resultados obtidos, sobre a calibração desses sistemas, e sobre a normatização a respeito desses sensores, que serão discutidos ao longo deste artigo. Também será apresentada e discutida a recém lançada DIN 18740-4, de setembro de 2007, a qual traz uma série de especificações técnicas sobre câmeras aerofotogramétricas digitais, bem como sobre a operação desses equipamentos.

## 2. CÂMERAS AEROFOTOGAMÉTRICAS DIGITAIS

Uma câmera aerofotogramétrica digital pode ser definida como uma câmera métrica, desenhada especificamente para fins de mapeamento, com baixas distorções de lentes e alta estabilidade, cujo sistema sensor é digital em substituição ao filme fotográfico.

Do ponto de vista operacional, uma câmera aerofotogramétrica deve ser eficiente em termos de operação aérea, ou seja, o número de faixas de voo deve ser minimizado, sem que se comprometa a qualidade geométrica das aerofotos obtidas. Por estas razões, uma câmera aerofotogramétrica digital deve oferecer características semelhantes a uma câmera convencional com quadro de 23x23 cm, pois isso favorece o aproveitamento dos processos aerofotogramétricos já estabelecidos. A grande vantagem operacional das câmeras digitais sobre as convencionais é a eliminação do filme, da revelação e da digitalização. Tratando-se da qualidade da imagem, as câmeras digitais também oferecem vantagens sobre imagens digitalizadas. Essa vantagem pode ser notada na figura 1 (GRUBER *et al.*, 2003), onde é apresentada uma comparação direta entre um negativo digitalizado (à esquerda) e uma imagem obtida da mesma área na mesma escala com uma UltraCamD (à direita). Observa-se que os detalhes são melhor identificados na imagem digital que na digitalizada, bem como a resolução espectral da imagem obtida com sensor digital permite melhor detalhamento em áreas de sombra.



Fig. 1 - Comparação entre um negativo digitalizado e uma imagem digital. Fonte: GRUBER *et al.*, 2003

Na busca por uma solução digital para o imageamento aerofotogramétrico foram desenvolvidas duas tecnologias: uma que se utiliza de sensores CCD de área, e outra baseada em sensores CCD lineares. Entre as soluções com sensores de área, estão as câmeras de médio formato, com CCD único e as de grande formato, que se utilizam da combinação de vários CCD como a DMC, as UltraCamD/X, as AICxN, e o modelo do IGN (PAPARODITIS *et al.*, 2006), por exemplo. Os principais sistemas de CCD linear disponíveis são o ADS40 da Leica, e o HRSC, da DLR. A comunidade aerofotogramétrica mundial ainda não

chegou a um consenso sobre qual é a melhor solução para a substituição do filme e essa resposta só virá com o tempo (PAPARODITIS *et al.*, 2006).

### 2.1 Sensores CCD de área de médio formato

A tecnologia para produção de CCD de área está em rápido desenvolvimento, mas ainda não está disponível um tamanho equivalente a uma câmera aerofotogramétrica de grande formato. Existem, no entanto, sensores CCD de médio-formato, com resoluções de até 39 mega-pixels (PETRIE *et al.*, 2007). Baseado nesses tipos de CCD, algumas fabricantes de equipamentos para geotecnologia desenvolveram câmeras fotogramétricas digitais de médio formato, como os modelos AIC -Aerial Industrial Camera (RolleiMetric), DSS (Applanix), dIGIcam (IGI) e DiMac, entre outras (CRAMER, 2007).



Fig. 2 - AIC (RolleiMetric) e DSS 422 (Applanix)  
Fontes: Adaptado de PETRIE *et al.*, 2007

Essas câmeras são bastante semelhantes às câmeras fotogramétricas tradicionais, mas com a desvantagem de terem seu quadro muito pequeno em relação ao padrão convencional. Essa desvantagem faz com que elas não sejam utilizadas em trabalhos estereofotogramétricos de grandes áreas, pois o número de faixas de vôo, a quantidade de modelos gerados, bem como o apoio necessário, inviabilizam economicamente os projetos. No entanto, quando se trata de aerolevantamentos com laser-scanner, o uso dessas câmeras está se tornando um padrão, pois os fabricantes desses equipamentos associam câmeras métricas de médio formato aos seus sistemas. Por exemplo, podem ser citadas a Toposys e a Optech, que acoplam a AIC ou DSS em seus sistemas (TÖLG, 2007), bem como o ALS50-II da Leica, que também oferece essa opção.

### 2.2 Sensores com múltiplos CCD de área

A idéia de se aumentar o campo de visão de um sistema fotogramétrico combinando-se duas ou mais câmeras é bem conhecida desde o início da aerofotogrametria. Várias câmeras aerofotogramétricas com 2, 4, 7 e 9 módulos foram construídas. Já em 1926, Aschenbrenner concebeu um sistema com 9 câmeras com distancia focal de 53,5mm, cobrindo um ângulo de 140°. O negativo desta câmera já tinha o formato de 25cm x 25cm. Complicados equipamentos permitiam reconstruir a geometria do sistema. Essa idéia foi abandonada no final dos anos 40, quando fabricantes como Zeiss e Wild desenvolveram câmeras com sistema único de lentes e negativo de grande formato. Nos dias atuais, a utilização de câmeras modulares voltou a ser uma realidade na aerofotogrametria (HINZ *et al.*, 2000).

Para sensores com múltiplos CCD de área, se faz necessária a geração de uma imagem sintética a partir de múltiplas imagens com sobreposição. Existem duas soluções tecnológicas disponíveis no mercado para a tomada dessas imagens: as câmeras que se utilizam do método sincronizado (como a DMC) e as que se utilizam do método sintópico (como a UltraCamX). Ambas são mostradas na fig. 3 (LEBERL, 2003).



Fig. 3 - DMC (Z/Imaging) e UltraCamX (Vexcel)  
Fontes: Z/I e Microsoft-Vexcel

#### 2.2.1 Geração de imagens sintéticas

A geração da imagem sintética (ou virtual) é um aspecto fundamental das câmeras de múltiplos CCD de área. A metodologia é semelhante para os diversos modelos e as etapas fundamentais serão apresentadas a seguir:

A primeira etapa é a extração automática de pontos de controle na área de sobreposição entre as imagens, e o refinamento dessas coordenadas com o uso dos parâmetros de calibração de cada um dos cones.

A segunda etapa é chamada “calibração da plataforma” e consiste do ajustamento em bloco das imagens. Para tanto, escolhe-se uma imagem como “master” e realiza-se uma aerotriangulação em relação a essa imagem. Determinam-se também as distâncias focais das outras imagens, e os parâmetros adicionais que os fabricantes utilizam para corrigir erros sistemáticos. Essa orientação é feita com as equações de colineariedade (1):

$$x = -c \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} + \delta x \quad (1)$$

$$y = -c \cdot \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} + \delta y$$

Nas eq. 1 acima, (x,y) são as coordenadas de imagem, no seu referencial original, (X,Y,Z) as coordenadas no referencial da imagem “master”; (m<sub>11</sub> a m<sub>33</sub>) os elementos da matriz de rotação (função de κ, φ e ω); (X<sub>0</sub>,Y<sub>0</sub>,Z<sub>0</sub>) as posições dos centros perspectivos em relação à imagem “master”; c as distâncias focais; e (δx, δy) as funções dos parâmetros adicionais.

A terceira etapa é a projeção das múltiplas imagens num único referencial. Determina-se uma distância focal adequada (o mais próxima possível das distâncias focais verdadeiras dos cones), e um eixo óptico

adequado (o mais próximo possível da média dos diversos eixos). Com essas informações recalculam-se as posições relativas de cada cone em relação ao novo referencial e projetam-se, através das equações de colinearidade, as diversas imagens num único referencial. Por fim compõe-se um mosaico das imagens reprojetaadas.

A quarta etapa é a fusão da imagem pancromática com a multiespectral, através do método das componentes principais. Esse método é conhecido como “pan-sharpening” e só é feito nos modelos cujos cones pancromáticos e multiespectrais são separados, como no caso da DMC e da UltraCam. (ZEITLER, 2002).

### 2.2.2 Método Sincronizado

No método sincronizado, as imagens para a geração da imagem sintética são tomadas simultaneamente. O primeiro modelo lançado com essa metodologia foi a DMC (Digital Mapping Camera), pela Z/Imaging, no ano 2000. Existe também o modelo AICx4 da RolleiMetric. A sincronização na tomada das imagens deve ser o melhor possível: na DMC essa sincronia é da ordem de 100µs (DÖRSTEL *et al.*, 2003) e nas AIC de 150µs (TÖLG, 2007). A figura 5 mostra a um sistema com dois módulos convergentes, combinadas em um sistema sincronizado (AICx2).

Na DMC, quatro imagens com a resolução de 7168x4096 pixel são combinadas para formar uma imagem em projeção central única com resolução de 13824x7680 pixel. As imagens são tomadas de forma convergente e com uma sobreposição entre si. Assim, podem ser determinados os parâmetros de orientação entre os cones, através de pontos determinados por métodos de correlação de imagens, conforme citado em 2.2.1.

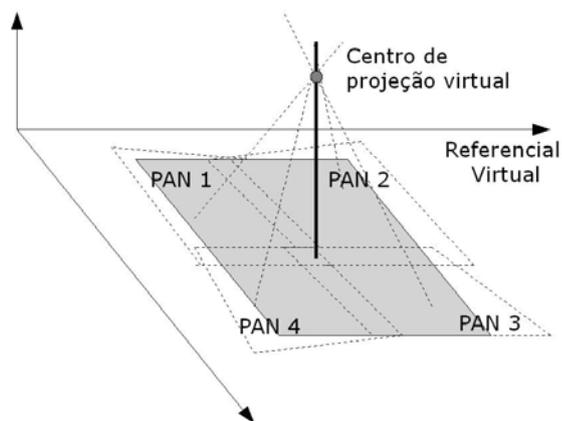


Fig. 4 - Concepção da geração da imagem sintética pelo método sincronizado

Em testes realizados essa orientação obtém resíduos da ordem de 1µm a 2µm, correspondente a 1/12 e 1/16 pixel (DÖRSTEL *et al.*, 2003). Na figura 4 é mostrada a geometria das quatro imagens pancromáticas em uma DMC (PAN 1 a PAN 4) e os referenciais utilizados, bem como o centro de projeção virtual. A

área sombreada é a aerofoto digital a ser utilizada nos procedimentos de aerotriangulação, restituição, ortorectificação e etc.

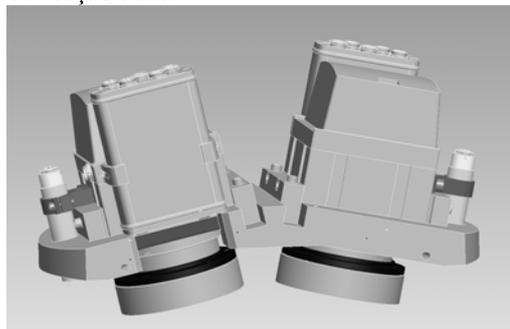


Fig. 5 - Representação esquemática de um sistema sincronizado de 2 módulos. Fonte: RolleiMetric

### 2.2.3 Método sintópico

A segunda metodologia para a obtenção de aerofotos digitais de grande formato, através de sensores CCD de área, foi desenvolvida pela Microsoft-Vexcel, na Áustria. Essa tecnologia, denominada sintópica, consiste na obtenção das imagens de forma não-simultânea, mas alinhando-se os sensores pancromáticos no sentido do vôo e atrasando as tomadas fotográficas de forma que todas sejam feitas a partir do mesmo centro perspectivo. As imagens originais não são convergentes e o quadro da imagem é mais facilmente definido do que pelo método sincronizado. A figura 5 mostra o princípio da tomada das imagens com essa metodologia.

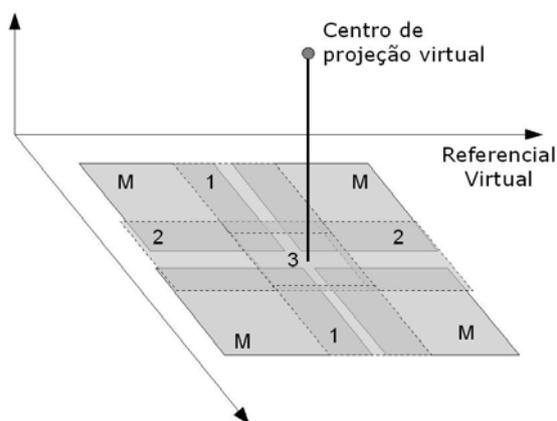


Fig. 6 - Concepção da geração da imagem sintética pelo método sintópico

A UltraCamX (modelo mais recente da Vexcel), tem quatro módulos (cones) pancromáticos, cada qual com seu sistema óptico. O principal deles, chamado “master” contém 4 sensores CCD, e define a dimensão da imagem. As cores são obtidas por outros 4 cones multiespectrais, de resolução mais baixa. As lacunas desse cone master são preenchidas pelos outros três cones: dois com dois sensores CCD cada, e um com um único, conforme a figura 6, na qual o “M” representa o cone master e os números 1, 2 e 3 representam os demais cones. O ajuste é feito

utilizando-se os parâmetros de calibração de cada cone, bem como pontos nas zonas de sobreposição entre as imagens (HONKAVAARA *et al.*, 2006). Cada CCD tem uma resolução de 16Mp. Os cones pancromáticos têm uma distância focal de 100mm e os multispectrais de 33mm. A aerofoto gerada pela UltraCamX possui uma resolução de 14430x9420 pixels. A tomada das imagens é esquematizada na fig. 7 abaixo:

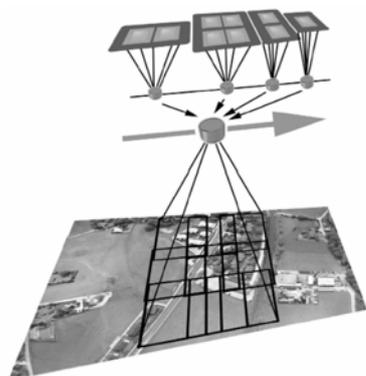


Fig. 7 - Tomadas das imagens pelo método sintópico.  
Fonte: Vexcel

### 2.3 Sensores lineares

No final de 1998 a LH Systems (hoje Leica Geosystems) anunciou que obteve sucesso em um sensor digital para aerofotogrametria. Esse desenvolvimento, feito em conjunto com a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - a agência espacial alemã), resultou no lançamento de dois sistemas aerofotogramétricos digitais: o ADS40 da Leica (comercial) e o HRSC da DLR baseados em sensores CCD lineares de grande capacidade. (PAPARODITIS *et al.*, 2006). Basicamente, projetou-se uma câmera com visadas à vante, ao nadir e à ré. Foram incluídos sensores pancromáticos e multispectrais, todos com mesma resolução. Assim, não se faz necessário o procedimento de pan-sharpening, como nos modelos DMC e UltraCam. A figura 8 mostra a obtenção dos dados com o ADS40: à vante um sensor pancromático; no nadir um pancromático, um infravermelho e 3 para o visível (RGB); e na visada de ré a mesma configuração do sensor do nadir. Todos os sensores CCD têm 12.000 pixels (SANDAU *et al.*, 2000; SANDAU *et al.*, 1999).

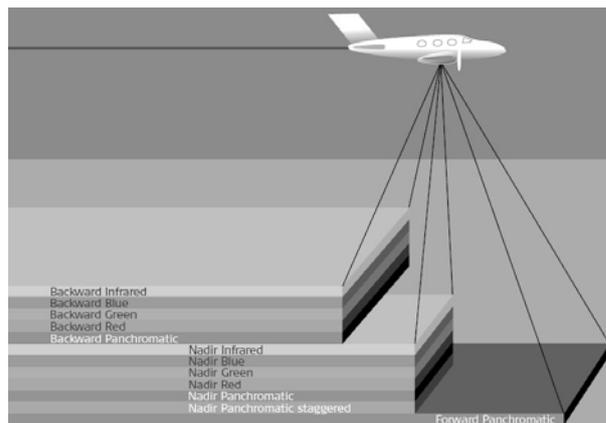


Fig. 8 - Dados obtidos com o ADS40. Fonte: Leica

Para a obtenção das imagens, além dos sensores óticos, é obrigatório o uso de sistemas de GNSS (posicionamento: X, Y e Z) e IMU (orientação:  $\kappa$ ,  $\phi$  e  $\omega$ ). Para cada linha obtida pelos sensores CCD devem ser determinados, através de interpolação, esses seis parâmetros de orientação. Com essas informações são geradas imagens iniciais para cada faixa de voo. Com o auxílio de pontos de apoio de campo e através de métodos de aerotriangulação, as faixas são ajustadas entre si. No sistema de restituição da Leica (GPro), pode-se visualizar toda a faixa em estereoscopia. Na figura 9 é mostrada a geometria básica do processamento das imagens pancromáticas: com as três visadas e os parâmetros de orientação exterior, pode-se executar uma “intercessão à vante”, e assim obter as coordenadas no referencial de terreno. São mostradas somente três linhas para fins de maior clareza.

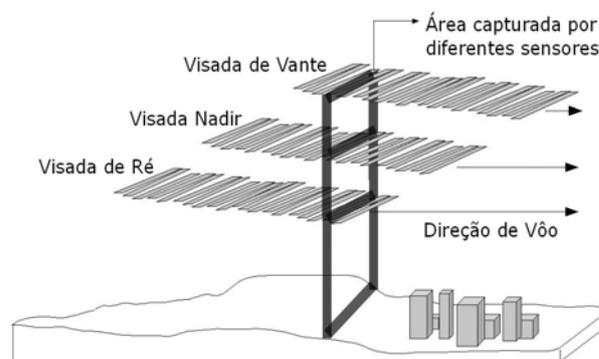


Fig. 9 - Tomada de dados de um sensor linear.  
Fonte: Adaptado de SANDAU, 2005

### 3. CONSIDERAÇÕES SOBRE NORMATIZAÇÃO PARA AEROLEVANTAMENTOS DIGITAIS: DIN 18740-4 (SET/2007)

O número de sistemas digitais operando vem crescendo rapidamente. Assim, torna-se clara a necessidade de uma normatização relativa a esses sensores, com o objetivo de guiar os operadores dos sistemas, os usuários das imagens, bem como facilitar a contratação desses serviços.

Nesse intuito, a DIN - Deutsches Institut für Normung (instituto alemão de normatização), preparou a DIN 18740-4 - “Photogrammetrische Produkte - Teil 4:

Anforderungen an digitale Luftbilkameras und an digitale Luftbilder” (Produtos Fotogramétricos - Parte 4: Especificações sobre câmeras aerofotogramétricas digitais e sobre aerofotos digitais). Neste trabalho, serão discutidos os principais pontos abordados por essa norma. Além da DIN, a ISO (International Organization for Standardization) desenvolve a ISO 19130 sobre modelos de dados e sensores de imagens para fins de mapeamento (DI *et al.*, 2004).

Segundo a DIN 18740-4, uma câmera aerofotogramétrica digital deve gerar imagens que permitam a medição estereoscópica de coordenadas, bem como uma perfeita distinção espectral das cores. O sistema deve ser calibrado geometricamente e radiometricamente. Os fabricantes devem certificar a qualidade das imagens, através da apresentação das precisões planimétrica e altimétrica obtidas, da qualidade radiométrica e da resolução espacial máxima possível. O fabricante deve oferecer um certificado de calibração geométrico e radiométrico. No caso de haver diferença de resolução entre os sensores pancromáticos e os multiespectrais, faz-se necessário um processamento digital para a obtenção das imagens coloridas (pan-sharpening). Nesse caso a relação entre as dimensões dos pixels ao nível do solo entre as bandas pancromáticas e multiespectrais (ver DIN 18740-3) não deve ultrapassar a relação de 5:1. A seguir são apresentados mais pontos referentes à norma.

### 3.1 Especificação dos componentes das câmeras aerofotogramétricas digitais

Em um sistema aerofotogramétrico digital identificam-se três conjuntos principais: os sistemas de lentes e sensores espectrais; os sistemas de estabilização, orientação e posicionamento; e o sistema de armazenamento dos dados.

#### 3.1.1 Sistemas de lentes e sensores espectrais

O sistema de lentes deve gerar uma imagem sobre os detectores espectrais de forma que não ocorram erros de amostragem durante a discretização e, ao mesmo, tempo maximizar a resolução da imagem gerada. Para isso, a distância entre o sistema ótico e os detectores deve ser coerente. As resoluções (radial e tangencial) do sistema ótico devem ser indicadas no certificado de calibração, em  $\mu\text{m}$ , e devem obedecer à eq. 2: onde “RO” representa a resolução ótica do sistema de lentes e “dp” a distância entre os pixels no sensor:

$$RO = \frac{1000}{2 \cdot dp} \quad (2)$$

Os detectores são instalados no plano focal do sistema ótico, e as medições realizadas por estes sofrem interferências estáticas e dinâmicas. Os erros causados por interferências estáticas devem ser corrigidos por parâmetros indicados no certificado de calibração. As principais interferências estáticas são: a não-

uniformidade da resposta luminosa (em inglês PRNU – Photo Response Non Uniformity), a não-uniformidade do sinal escuro (em inglês DSNU – Dark Signal Non Uniformity); e defeitos no detector. A parte dinâmica do DSNU não deve ser superior a 7% da resolução radiométrica dos detectores. Essa resolução deve ser de no mínimo 10Bit (1024 tons de cinza por canal). Para um sensor de 12Bit, por exemplo, com uma resolução de 4096 tons de cinza, o ruído não pode ultrapassar 20 tons. Além disso, a relação sinal-ruído (em inglês SNR - Signal Noise Ratio) deve ser sempre superior a 8Bit. No caso da utilização de sensores CCD, o efeito de “blooming” (linhas claras que surgem na imagem quando da exposição a um ambiente extremamente iluminado), deve ser minimizado.

#### 3.1.2 Sistemas de estabilização, posicionamento e orientação.

As câmeras aerofotogramétricas digitais, especialmente as de CCD linear, devem ser instaladas sobre uma plataforma estabilizadora que empregue o sistema de navegação mais avançado possível, a fim de se obter as melhores sobreposições laterais e longitudinais.

No caso da determinação exata dos centros perspectivos (vôo apoiado), utilizando-se de técnicas GNSS, exige-se a utilização de um receptor de no mínimo 6 canais, numa taxa de recepção de no mínimo 1Hz. No caso de se optar por posicionamento diferencial, deve ser respeitada a distância entre a estação base o avião, de acordo com a metodologia de processamento escolhida. Para se garantir a qualidade do posicionamento com GNSS, o receptor deve estar ligado, antes do início do imageamento, de modo que o posicionamento obtenha a precisão requerida. Durante o sobrevôo da faixa, deve haver sempre mais do que 4 satélites com altura superior a 15° e continuamente rastreados. A antena do receptor da aeronave deve estar o mais próxima possível do centro perspectivo da câmera. O desvio-padrão da posição da antena em relação ao centro perspectivo deve ser inferior ao desvio-padrão esperado da posição do centro perspectivo no referencial geodésico utilizado (DIN 18740-1). Os registros temporais das tomadas fotográficas devem ser registrados diretamente no arquivo do receptor GNSS.

Para as câmeras com CCD linear, é essencial o uso dos sistemas de posicionamento preciso (GNSS) e inercial (IMU). Neste caso, ambos devem ser integrados e instalados tão próximos quanto possível do eixo ótico (DIN 18716-1), bem como devem estar rigidamente fixados à câmera. A taxa de observação do IMU deve ser aproximadamente igual à taxa de observação do sensor CCD. A precisão angular do IMU deve ser melhor que o IFOV (Instantaneous Field of View). Um vôo de calibração deve ser realizado antes de cada missão conforme procedimento indicado pelo fabricante.

#### 3.1.3 Sistema de armazenamento dos dados

O sistema aerofotogramétrico digital deve permitir, durante o aerolevanteamento, o armazenamento e controle dos parâmetros significativos do vôo. Deve ser possível visualização das imagens tomadas em tempo real. A capacidade de armazenamento deve ser compatível ao projeto aerofotogramétrico, o que corresponde, para uma missão aerofotogramétrica típica, a cerca de 1 Terabyte, com a adequada previsão de discos rígidos e fornecimento de energia.

### 3.2 Especificações para o vôo aerofotogramétrico

As especificações quanto à documentação, condições ambientais e adequação aos objetivos do mapeamento são os mesmos da aerofotogrametria convencional e por isso serão destacados apenas os pontos divergentes.

A resolução geométrica de um sistema aerofotogramétrico digital é um indicativo da sua capacidade de diferenciar objetos vizinhos próximos: para se detectar um objeto, este deve ser cerca de 3 vezes maior que pixel no terreno e para identificá-lo a partir de 10 vezes. Como medida dessa capacidade é utilizada o tamanho do pixel no terreno, (no inglês GSD - Ground Sampling Distance). Para um GSD de valor  $s_0$ , indicado nas especificações do projeto, calcula-se a escala média da imagem ( $m_b$ ), conhecendo-se da o tamanho do pixel no CCD ( $s_b$ ), conforme a equação (3):

$$m_b = \frac{s_0}{s_b} \quad (3)$$

A partir deste valor calcula-se, com a equação (4), a altura de vôo  $h_g$ , desde que conhecida a distância focal ( $c$ ):

$$h_g = c \cdot m_b = c \cdot \frac{s_0}{s_b} = \frac{c}{s_b} \cdot s_0 = k \cdot s_0 \quad (4)$$

Nesta equação,  $k$  representa o fator específico da câmera para a conversão entre GSD e altura de vôo. A tolerância admitida para o GSD e a altura de vôo, devido a variações topográficas e de vôo, é de no máximo 5% em relação ao valor definido pelo projeto. Quando da utilização de câmera com sensor linear, a taxa de observação do sensor deve ser ajustada de forma que a distância entre duas observações, no terreno, seja igual ao GSD. O desvio, durante o vôo, entre a trajetória da aeronave e a linha formada pelos pontos de entrada e saída da faixa, não deve ultrapassar a metade do equivalente à sobreposição lateral exigida. No caso do projeto prever as posições das tomadas fotográficas, uma tolerância deve ser determinada.

#### 3.2.1 Condições ambientais para operação

A missão aerofotogramétrica deve ser realizada sob condições ambientais ideais e com a instrumentação adequada, conforme as especificações convencionais.

### 3.3 Considerações sobre a aerofoto digital

O original fotogramétrico passa a ser definido pelo conjunto de dados originais obtidos pelos sensores. No caso da correção dos dados antes do armazenamento, devem ser armazenados também os parâmetros dessas correções.

A aerofoto digital métrica é formada a partir dos dados originais, após, no máximo, um processo de reamostragem (DIN 18716-3). Durante essa reamostragem devem ser realizadas as correções radiométricas e geométricas. Nas demais etapas de processamento digital das imagens, os ruídos não podem ser aumentados. O tamanho do pixel na aerofoto digital não pode ser inferior ao tamanho do pixel nos dados originais. A orientação interna da aerofoto digital é definida pelas extremidades da mesma. Para as câmeras de CCD linear são exigidos também os dados de orientação externa, bem como suas precisões, para a geração das imagens métricas.

Quando da conversão e compressão das aerofotos, este processo não pode causar a perda de qualidade dos produtos fotogramétricos que serão extraídos das imagens. No caso de não se conhecer o objetivo das imagens antes do vôo, não se deve utilizar um método de compressão com perda de dados. No caso da utilização de um método de compressão com perdas, os processos de correção geométrica e radiométrica devem ser executados antes da compressão. O tipo e o grau da compressão devem ser especificados no projeto aerofotogramétrico, bem como o formato (extensão) da imagem final.

Além da imagem em si, devem ser registrados os "metadados" da mesma. Para cada câmera utilizada devem constar os dados do sistema: identificação da câmera, versão do firmware e hardware, distância focal, tamanho dos pixels na imagem, data da última calibração geométrica e data da última calibração radiométrica. Para cada original fotogramétrico devem constar a data e hora da exposição e os sinais de sincronização para equipamentos externos (por exemplo, IMU e GNSS). Para cada aerofoto digital devem ser conhecidas a hora e a data da exposição, bem como os dados da orientação interna.

### 4. CALIBRAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS AEROFOTOGRAMÉTRICOS DIGITAIS

Segundo a DIN 18740-4, a calibração de uma câmera aerofotogramétrica digital deve ser realizada tanto geometricamente quanto radiometricamente. Todo o sistema ótico-eletrônico deve ser calibrado, bem como os filtros óticos e o plano focal. Além disso, a relação entre o centro ótico e os sistemas de posicionamento e orientação também devem ser calibrados. Essa calibração deve ser comprovada pelo fabricante da câmera. A validade indicada pela norma para o certificado de calibração é dois anos para cada nova

calibração e de um ano para uma validação da calibração existente. Essa validação consiste na utilização de um campo de testes de alta precisão para a avaliação da qualidade planimétrica e altimétrica das coordenadas obtidas, através do uso de pontos de cheque nas aerotriangulações realizadas. Os valores de referência devem constar no certificado de calibração, e a validação só é aceita no caso das variações não ultrapassarem 25% do que consta no certificado.

#### 4.1 Calibração geométrica

A calibração geométrica deve ser realizada para cada um dos sistemas de lente e para cada canal espectral. Nas câmeras de CCD linear, devem ser calibradas as relações espaciais entre o sensor de orientação (IMU) e o plano focal, bem como a sincronização entre o sensor ótico e o IMU. Nas câmeras com mais de um detector, podem estes compartilhar o mesmo plano focal, ou estarem associados a sistemas de lentes independentes. No caso de haver somente um plano focal, este plano deve ser devidamente calibrado. No caso de mais planos focais, cada um deve ser calibrado separadamente. Se a aerofoto digital for formada a partir de mais imagens, a relação espacial entre essas imagens originais deve ser comprovada para cada aerofoto gerada.

#### 4.2 Calibração radiométrica

Cada canal espectral e/ou cada módulo da câmera deve ser calibrado radiometricamente pelo fabricante e essa calibração deve constar no certificado. A calibração deve indicar a resposta radiométrica linear de cada sensor, a parte estática do DSNU, a sensibilidade de cada pixel, e por fim falhas que existam no sensor. Se a câmera for utilizada para fins de sensoriamento remoto, os parâmetros da transformação entre os níveis de cinza e os valores físicos da radiação devem constar no certificado de calibração. Além disso, a sensibilidade espectral da câmera deve ser certificada. Para a geração de uma imagem com cores realistas, o fabricante deve oferecer as transformações de cores específicas para a câmera. Isso pode ser verificado através de paletas de cor oferecidas pelo fabricante. Há de se observar a influência da atmosfera nas cores finais.

#### 4.3 Certificação e validação dos sistemas aerofotogramétricos digitais

O propósito tradicional da calibração de câmeras fotogramétricas é tornar possível a reconstrução da geometria do feixe de raios de luz que entraram na câmera no momento da exposição, utilizando-se das coordenadas bi-dimensionais medidas nas imagens obtidas. Além da calibração em laboratório, com colimadores, a melhor solução para esse problema nas câmeras convencionais é a utilização de modelos matemáticos de distorção de lentes (radial

simétrica e descentrada), inseridos equações de colinearidade. No entanto, para os novos sistemas aerofotogramétricos digitais, o processo de calibração é mais complexo do que na visão geométrica tradicional, devido à diversidade dos métodos e sistemas disponíveis. Nesses sistemas, devem ser calibradas, por exemplo, as posições entre os diversos sensores óticos, de orientação, de posicionamento, bem como o aspecto radiométrico, além dos parâmetros de distorção tradicionais. Este procedimento é denominado “calibração completa”, pois esta passa a ser uma completa caracterização do sistema (CRAMER, 2006b).

Com base nessas necessidades, duas importantes organizações internacionais de referência em geoinformação, a USGS (United States Geological Survey) e a EuroSDR (European Organization of Spatial Data), estão trabalhando em conjunto com as fabricantes de câmeras aerofotogramétricas digitais no intuito de tornar o processo de certificação desses sistemas mais claro e sistemático e passaram a adotar o conceito de “certificação do modelo”, isto é, certifica-se que os sistemas produzidos e calibrados por determinada fabricante podem ser utilizados com o objetivo de mapeamento.

##### 4.3.1 Certificação do USGS

Desde o ano 2000 a USGS vem trabalhando em conjunto com a ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing), afim de discutir a questão da certificação de sistemas digitais. Em 2005 foi criado um grupo de trabalho chamado “Inter-Agency Digital Imagery Working Group” (IADIWG), cuja missão foi determinar um plano de certificação da qualidade de sensores digitais de imageamento (USGS Plan for quality assurance of digital airborne sensors), divulgado em 2006.

Esse plano de certificação consiste de um conjunto de procedimentos adequados na geração e processamento de produtos baseados em sensores aerofotogramétricos digitais. Ele é dividido em duas grandes áreas: o domínio da geração dos dados e o domínio da utilização dos dados. A figura 10 mostra o fluxo do trabalho entre esses domínios.

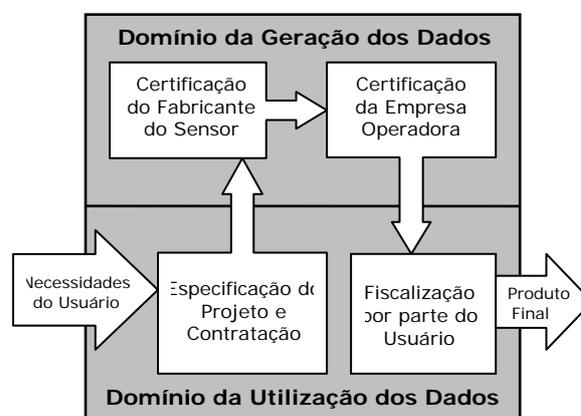


Fig. 10 - Plano USGS de certificação de qualidade.

Fonte: Adaptado de STENSAAS, 2007

No domínio da geração da imagem, a primeira etapa consiste na certificação do fabricante do sensor. Um grupo de trabalho da USGS realiza uma análise da documentação referente à fabricação da câmera e ao seu processo de calibração, bem como realiza uma inspeção nas dependências da fabricante. Sendo um modelo aprovado, todas as suas cópias também estão aptas a operar. No caso de qualquer modificação importante no sistema, uma nova análise deve ser realizada. Até o setembro de 2007 havia quatro modelos certificados pela USGS: DSS, da Applanix (certificada em 15/12/2006); DMC, da Z/Imaging (15/12/2006); UltraCam da Vexcel (15/12/2006) e ADS40 da Leica (26/08/2007). Uma segunda etapa é a certificação das empresas operadoras, ou seja, o USGS certificará, com bases semelhantes à certificação das fabricantes, as empresas aptas a realizar trabalhos aerofotogramétricos digitais de qualidade.

No domínio da utilização dos dados, é necessário compatibilizar os novos conceitos de aerolevantamento digital com as formas de contratação dos serviços aerofotogramétricos, o que vem sendo feito pelo o USGS. A última etapa do plano, também pelo lado do usuário, é a fiscalização do trabalho executado. O USGS, em trabalho conjunto com o IADIWG desenvolve um conjunto de ferramentas na análise da qualidade dos dados finais.

#### 4.3.2 Certificação da EuroSDR (EuroDAC<sup>2</sup>)

A EuroSDR é uma organização fundada em 2003, representada por 18 países europeus, e tem por objetivos principais o desenvolvimento e melhoria dos métodos, sistemas e padrões de obtenção, processamento e disseminação de dados espaciais, principalmente aqueles advindos de levantamentos aéreos e espaciais. Para poder chegar a um certificado internacionalmente aceito, a EuroSDR está desenvolvendo desde 2003 um projeto relacionado à calibração de câmeras aerofotogramétricas digitais. A primeira fase, de cunho teórico, foi concluída em 2004 (<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/euroedr>) e teve como principais conclusões que o número de calibrações em laboratório está se reduzindo, enquanto o número de vôos de calibração de campo, bem como a utilização de métodos de auto-calibração vêm aumentando. Tais resultados são comprovados pelos desenvolvimentos nas metodologias de calibração dos sistemas disponíveis, as quais vêm sendo gradualmente aperfeiçoadas e automatizadas pelos fabricantes.

A segunda fase do projeto consiste na avaliação empírica e imparcial dos sistemas aerofotogramétricos digitais mais comuns no em operação (CRAMER, 2007). A linha de ação da EuroSDR difere da USGS pelo fato de testar vários sistemas em campos de prova reais. Essa metodologia se encaixa muito bem no conceito de validação constante na DIN 18740-4. Os principais resultados

desses testes serão mostrados no item 5.1.

## 5. DESEMPENHO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS AEROFOTOGAMÉTRICOS DIGITAIS

É de grande interesse da comunidade aerofotogramétrica os desempenhos dos principais sistemas digitais disponíveis. Os resultados geométricos apresentados a seguir foram extraídos a partir dos trabalhos da EuroSDR (CRAMER, 2007; STENSAAS, 2007; CRAMER *et al.*, 2006), e os resultados radiométricos foram extraídos de testes realizados pelo FGI (Finish Geodetic Institute), apresentados em (HONKAVAARA *et al.*, 2007).

### 5.1 Desempenho geométrico

Para os testes geométricos da EuroSDR foram utilizados dois campos de teste: Fredrickstad (Noruega), para os testes da DMC e da UltraCamD; e Vaihingen-Enz (Alemanha), para os testes do ADS40 (CRAMER, 2006). O campo de Fredrickstad é formado por 51 pontos pré-sinalizados, com precisão planialtimétrica na ordem de milímetros. Para o processamento, foram utilizados 20 pontos como apoio e os demais para o controle. O campo de Vaihingen-Enz contém cerca de 200 pontos pré-sinalizados com precisão da ordem de 2cm. Neste caso, foram utilizados 12 pontos de apoio e os demais para o controle. Para todos os testes, foram realizados vôos em duas altitudes diferentes. Várias organizações participaram dos processamentos, e essas só tiveram acesso às coordenadas dos pontos de apoio aerofotogramétrico. Foram utilizados vários programas de aerotriangulação, com o uso de parâmetros adicionais. Os resultados das coordenadas obtidas foram enviadas à EuroSRD e comparadas aos valores de terreno.

A configuração dos vôos está apresentada na tabela 1. Na 3ª coluna são apresentados os valores de GSD. As sobreposições longitudinais e laterais são indicadas na 4ª coluna. Os erros médios quadráticos obtidos são mostrados nas últimas 3 colunas:

TABELA 1 – EuroSDR: CONFIGURAÇÃO DOS VÔOS DE TESTE

Vôo	Altura (m)	GSD (m)	Sob. (%)	Erro Médio Quadrático		
				E(m)	N(m)	H(m)
ADS40 Vaihingen-Enz 26/06/2004						
1	1500	0,18	100/44	0,031	0,040	0,057
2	2500	0,26	100/70	0,064	0,059	0,087
DMC Fredrickstad 10/10/2003						
1	1800	0,18	60/30	0,048	0,047	0,116
2	950	0,10	60/30	0,040	0,048	0,132
UltraCamD Fredrickstad 16/09/2004						
1	1900	0,17	80/60	0,076	0,060	0,059
2	3800	0,34	80/60	0,048	0,068	0,103

Fonte: Adaptado de CRAMER, 2007

A principal conclusão que se obteve é que os sistemas testados apresentam resultados geométricos de

ótima qualidade. No entanto, a utilização de parâmetros adicionais na aerotriangulação é fundamental para a obtenção de bons resultados, principalmente para a DMC e a UltraCam. Não se pode fazer uma comparação qualitativa direta entre as câmeras testadas, pois a configuração dos vãos é distinta.

A DMC apresentou alguns erros sistemáticos na distribuição de resíduos, e o tratamento desses erros é fundamental para se obter bons resultados com esta câmera. Um estudo está sendo realizado pela Z/Imaging no intuito de se verificar as causas e corrigir esse problema (DÖRSTEL, 2007). Esses erros sistemáticos também foram observados em (ALAMÚS *et al.*, 2006). Com a UltraCamD, resultados a respeito de erros sistemáticos semelhantes são apresentados em (HONKAVAARA *et al.*, 2006).

Devido a esses problemas os três fabricantes envolvidos no estudo estão trabalhando no sentido de melhorar o tratamento dos erros sistemáticos observados, bem como têm aprimorado seus programas de aerotriangulação, incluindo melhores modelos para os parâmetros adicionais. Esse tipo de ação por parte dos próprios fabricantes ressalta a necessidade de investigações independentes dos sistemas que são lançados no mercado.

## 5.2 Desempenho radiométrico

As características radiométricas de um sistema de imageamento descrevem como este responde a vários níveis de radiação. As propriedades radiométricas de sensores digitais são superiores aos sensores analógicos baseados em filmes. As principais características radiométricas de um filme aerofotogramétrico são uma resposta logarítmica, equivalente a uma resolução radiométrica de 6 a 7 bits, grande ruído na imagem devido a granulação e baixa estabilidade. As imagens digitais possuem uma resposta radiométrica linear, resolução radiométrica de 12 bits ou superior, baixo nível de ruído e boa estabilidade. Por essa razão, o uso de imagens digitais em tarefas fotogramétricas clássicas, como medição automática de pontos homólogos, extração de feições e geração de modelos digitais de terreno, apresenta melhores resultados do que o uso de imagens digitalizadas de filmes. Além disso, a melhor qualidade radiométrica permite um desenvolvimento mais rápido em áreas como extração automática de feições, segmentação e classificação (HONKAVAARA *et al.*, 2007).

Com o objetivo de avaliar a resposta radiométrica dos três principais sistemas aerofotogramétricos digitais disponíveis no mercado (ADS40, DMC e UltraCam), o FGI realizou vôos teste sobre o campo de calibração de Sjökkulla, na Finlândia, com o sol a uma altura de aproximadamente 30°. Neste campo há um alvo com 8 níveis de refletância (5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 45%, 50% e 70%). Cada nível é materializado com um alvo de 5m x 5m. As refletâncias foram determinadas por métodos precisos de laboratório. A distribuição dos alvos no campo de

testes Sjökkulla (à esquerda), bem como o alvo de oito níveis (à direita), podem ser vistos na figura 11.

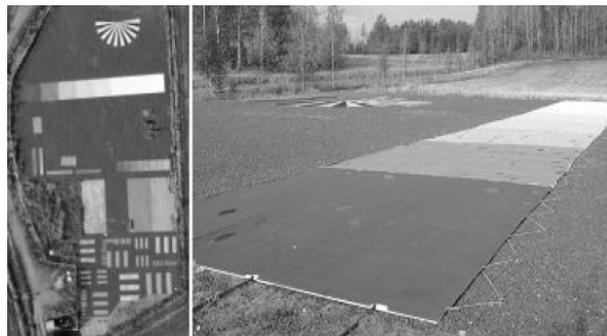


Fig. 11 - Campo de testes de Sjökkulla.

Fonte: HONKAVAARA *et al.*, 2007

Após o vôo e a correção atmosférica adequada à região do campo de testes, foram medidas a linearidade das respostas de cada canal, a resolução radiométrica, a calibração absoluta e a sensibilidade de cada sensor. Essas medidas foram feitas com base em uma área de 2m x 2m dentro de cada alvo.

O uso dessa escala de cinza na avaliação da qualidade radiométrica dos principais sensores no mercado mostrou que esses possuem uma excelente resposta radiométrica, e podem ser absolutamente calibrados. Os resultados quantitativos demonstraram uma alta linearidade da resposta radiométrica, bem como uma resolução radiométrica de até 13 bits, e ainda um baixo ruído. Os principais problemas detectados são o risco de subexposição no ADS40 e um risco de superexposição na DMC e na UltraCam. A Vexcel e a Leica lançaram nos novos modelos dos seus sensores, e esses problemas foram reduzidos. Assim como ocorreu no estudo geométrico da EuroSDR, o estudo radiométrico do FGI influenciou modificações e melhorias nos sistemas.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho apresentou um resumo do estado da arte na área das câmeras aerofotogramétricas digitais, bem como a nova normatização alemã a respeito desses equipamentos. Foram apresentadas as tendências em certificação desses equipamentos e por fim alguns dados sobre o desempenho desses sensores. Sem dúvida a transição para os sistemas sensores digitais é um caminho sem volta na obtenção de imagens para a fotogrametria. As vantagens desses sistemas são uma melhor resolução das imagens e uma superioridade radiométrica na obtenção dessas. Pode-se afirmar também que esses sistemas já alcançaram o mesmo patamar de precisão geométrica dos sensores analógicos convencionais. No entanto, o desenvolvimento desses sensores digitais levou a uma variedade de tecnologias disponíveis. Para cada sensor existe uma série de soluções apropriadas, tornando ainda mais complexa a compreensão dos sistemas por parte dos usuários. Tendo em vista essas dificuldades, importantes organizações reconhecidas internacionalmente (como DIN, ISO,

EuroSDR e USGS), estabeleceram grupos de trabalho do intuito de criar diretrizes a respeito da fabricação, certificação e uso das novas câmeras.

Uma desvantagem das câmeras aerofotogramétricas digitais é a impossibilidade de acesso a informações brutas e a algumas das técnicas aplicadas aos dados em cada sistema. Isto inviabiliza o desenvolvimento de tecnologias independentes, implicando numa maior dependência do usuário a licenças e contratos de manutenção. Um exemplo é a inacessibilidade às imagens separadas nas câmeras modulares, sem as quais se dificultam técnicas de confrontação aos procedimentos pré-definidos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de doutorado que permitem a estadia na Alemanha. Agradecemos à DIN por ceder uma cópia da DIN 18740-4, sem a qual não seria possível escrever este trabalho. Agradecimento especial à Topocart, por possibilitar o acompanhamento da Photogrammetric Week 2007 em Stuttgart (Alemanha), bem como pelas visitas à Z/Imaging em Aalen (Alemanha), à TopoSys em Biberach (Alemanha), ao ITC em Enschede (Holanda), e por fim à Slagboom em Peeters Luchtfotografie, em Teuge (Holanda). Por fim agradecemos ao Sr. Achim Hellmeier, da RolleiMetric, pela cordial visita ao IPF.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAMÚS R.; KORNUS, W.; TALAYA, J. Studies on DMC Geometry. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Volume 60, Issue 6, September 2006, pp. 375-386. 2006.
- CRAMER, M. The ADS40 Vaihingen/Enz geometric performance test. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Volume 60, Issue 6, September 2006, pp. 363-374. 2006.
- CRAMER, M. Calibration and validation of digital airborne cameras. In: ISPRS Commission I Symposium "From Sensors to Imagery", Paris - Marne le Vallee, July 4-6. 2006. **Proceedings**. 2006b
- CRAMER, M. The EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera Systems. **Photogrammetric Week '07, Wichmann**. p. 89-106. 2007.
- DI, Liping; KRESSE, Wolfgang; KOBLER, Ben. The Current Status and Future Plan os the ISO 19130 Project. Commission II, WG II/4 **Proceedings of the XXth ISPRS-congress**, 2004.
- DIN 18716-1**, Photogrammetrie und Fernerkundung - Teil 1: Grundbegriffe und besondere Begriffe der photogrammetrischen Aufnahme.
- DIN 18740-1**, Photogrammetrische Produkte - Teil 1: Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild.
- DIN 18740-4**, Photogrammetrische Produkte - Teil 4: Anforderungen an digitale Luftbilkameras und an digitale Luftbilder.
- DÖRSTEL, C.; JACOBSEN, K.; STALLMANN, D. DMC - Photogrammetric Accuracy - Calibration Aspects and Generation of Synthetic DMC Images. In: **Optical 3D Measurement Techniques VI**. Institut for Geodesy and Photogrammetry. **vol. I**, ETH, Zürich, p. 74-88. 2003.
- DÖRSTEL, C. DMC – (R)evolution on Geometric Accuracy. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 81-88. 2007.
- FRICKER, P. Raising the Bar for Multi-Band, High-Resolution Airborne Imagery. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 71-79. 2007.
- GRUBER M.; LEBERL, F.; PERKO, R. Paradigmenwechsel in der Photogrammetrie durch Digitale Luftbildaufnahme? **Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation**, v.4, p. 285-297. 2003.
- GRUBER, M. UltraCamX, the new Digital Aerial camera System by Microsoft Photogrammetry. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 137-145. 2007.
- HINZ, A.; DÖRSTEL, C.; HEIER, H. Digital Modular Camera: System concept and data processing workflow, In: IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam. **Proceedings**, p. 164-171
- HONKAVAARA, E.; AHOKAS E.; HYYPPA, J.; JAAKKOLA J.; KAARTINEN, H.; KUITTINEN, R.; MARKELIN, L.; NURMINEN, K. Geometric test field calibration of digital photogrammetric sensors. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Volume 60, Issue 6, p. 387-399. 2006.
- HONKAVAARA, E.; MARKELIN, L. Radiometric Performance of Digital Image Data Collection – A Comparison of ADS40/DMC/UltraCam and EmergeDSS. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 117-129. 2007.
- LEBERL, F.; GRUBER M. Flying the new large format digital aerial camera Ultracam. **Photogrammetric Week '03**, Wichmann, pp. 67–76. 2003.
- PAPARODITIS, N.; SOUCHON, J.; MARTINOTY, G.; PIERROT-DESEILLIGNY M. High-end aerial digital cameras and their impact on the automation and

quality of the production workflow. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Volume 60, Issue 6, p. 400-412. 2006.

PETRIE, G., WALKER, A. Airborne digital imaging technology: A new overview. **The Photogrammetric Record**. Volume 119, Issue 22, p. 203-225. 2007.

SANDAU, R., FRICKER, P. UND WALKER, A. Digital photogrammetric cameras: possibilities and problems. **Photogrammetric Week '99**, Wichmann, p. 71-82. 1999.

SANDAU, R.; BRAUNECKER, B.; DRIESCHER, H.; ECKART, A.; HILBERT, S.; HUTTON, J.; KIRCHHOFER, W.; LITHOPOULOS, E.; REULKE, R. WICKI, S. Design principles of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor. In: IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam. **Proceedings**, p. 258-265. 2000.

SANDAU, R. **Digitale Luftbildkamera. Einführung und Grundlagen**. Wichmann, Heidelberg, 2005.

SIMONETT, D. **Manual of remote sensing: Theory, instruments and techniques**. 2. ed. Falls Church, 1983.

STENSAAS, G. U.S. Geological Survey Digital Aerial Mapping Camera Certification and Quality Assurance Plan for Digital Imagery. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 107-116. 2007.

TÖLG, T. Newest Technologies for Compact Digital Aerial Survey Câmeras. **Photogrammetric Week '07**, Wichmann, p. 131-136. 2007.

ZEITLER, W.; DÖRSTEL, C. Geometric Calibration of the DMC: Method and Results. In: Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002. **Conference Proceedings**. 2002.

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/euroedr> - Acessado em 6 de março de 2009 13:40