

CÂMARAS AÉREAS DIGITAIS, AS DE MÉDIO FORMATO!



As primeiras câmaras aéreas digitais comerciais foram anunciadas há cerca de dez anos. Depois de vários anos de utilização, pode-se constatar a consolidação desta brilhante tecnologia para o aerolevantamento. Na última Semana Fotogramétrica, realizada em setembro de 2009 na simpática Stuttgart, Alemanha, ouvi de vários colegas que na Europa quase não mais se fazem voos fotogramétricos com filme. As câmaras analógicas ainda existem, mas participam de muito poucos trabalhos no mundo. Dizem também que elas são, e ainda serão utilizadas principalmente nos países africanos, sul-americanos e nos mais pobres, de modo geral. Devido ao elevado custo das câmaras aéreas digitais de grande formato, à rápida evolução dos sensores de imagem, à alta demanda de serviços de menor porte e à pressão das empresas compradoras sobre os fabricantes, o mercado vem sendo invadido por uma grande oferta de câmaras aéreas digitais de médio formato. Em abril de 2010, no congresso da ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) em San Diego, EUA, cerca de quinze fabricantes anunciaram, divulgaram e debateram diferentes e interessantes concepções das ditas câmaras aéreas digitais de médio formato.

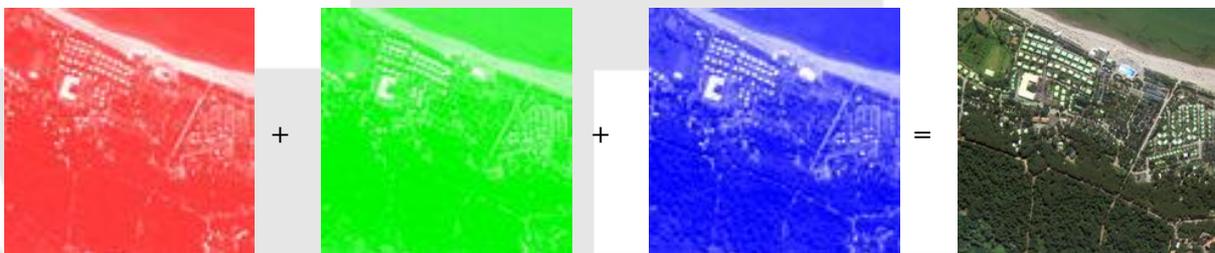
Durante muitos anos da história da aerofotogrametria, as câmaras de grande formato foram produzidas por pouquíssimas empresas. Estas, ou a essência delas, ainda existem e produzem hoje as câmaras aéreas digitais de grande formato. As empresas Intergraph (Zeiss) e Leica (Wild) são exemplos disso e são elas, além de poucas outras como a Microsoft (Vexcel), que acabam definindo o conceito de grande, médio e pequeno formato, pois o que é grande formato hoje, amanhã poderá ser o médio e depois de amanhã o pequeno. Tais empresas foram as responsáveis pela introdução e consagração de inúmeros recursos tecnológicos que, acrescidos aos mais recentes, compõem o mundo digital das câmaras aéreas.

As últimas câmaras aéreas analógicas produzidas, as famosas LMK 2000, RC-30 e RMK-TOP, nunca custaram mais do que meio milhão de dólares americanos. Possuem longa vida útil e, até os dias atuais, permitem obter imagens com alta qualidade, principalmente geométrica. Suas sucessoras digitais, as não menos famosas ADS, DMC e UltraCAM, custam bem mais de um milhão de dólares, têm um alto custo de manutenção e se desatualizam muito rapidamente; no entanto, produzem imagens com excepcional qualidade geométrica e radiométrica. O mercado contratante e as empresas prestadoras de serviço, pressionadas pela acirrada concorrência, exigiram dos fabricantes câmaras de menor porte, não tão caras e sofisticadas, mas que atendessem às exigências de uma demanda crescente de serviços de menor porte, em geral serviços de engenharia, que em sua maioria podem abrir mão de alta qualidade radiométrica da imagem e também das distorções perspectivas das lentes de menor distância focal. A resposta dos fabricantes foi a simplificação das grandes câmaras digitais.

Muitas são as opções de médio e pequeno formato existentes no mercado, e ainda as soluções “domésticas” – aquelas que são construídas geralmente pela própria prestadora de serviços e por vezes sem produção em escala comercial. Com todas as opções existentes, torna-se tarefa nada fácil a qualquer profissional estabelecer as condições mínimas e desejáveis a qualquer câmara aérea.

Para construir uma câmara aérea que custe entre dez e quarenta por cento do custo de seus concorrentes de grande formato, as câmaras de médio formato tiveram de abrir mão de parte dos recursos tecnológicos que permitiram às de grande formato obter imagens com altíssima qualidade radiométrica e geométrica. A verdade é que a maior perda foi na resolução radiométrica e em distorção perspectiva. De um modo geral, não é errado afirmar que as principais economias aconteceram nos seguintes recursos: formas de aquisição de imagem, sensores de imagem, qualidade e quantidade das lentes, plataforma estabilizadora, sistema de compensação de arrasto e sistema inercial.

A situação ideal para a obtenção de uma imagem com a melhor radiometria possível, seria que cada pixel da imagem tivesse um valor espectral adquirido diretamente para cada uma das bandas espectrais: Vermelha (R – *Red*), Verde (G – *Green*), Azul (B – *Blue*), Infravermelha (NIR – *Near Infra Red*) e Pancromática (PAN), sendo ainda os pixels de mesmo tamanho em cada uma das bandas. Esta condição ideal só acontece hoje nas câmaras aéreas de sensores lineares, conhecidas também como *pushbroom*.



As bandas R (vermelha), G (verde) e B (azul) somadas ou fusionadas geram a imagem RGB.

Alguns fabricantes de câmaras se utilizam de um artifício que consiste em coletar somente a banda pancromática com a resolução geométrica do tamanho ideal e, simultaneamente, coletar as bandas espectrais R, G, B e NIR em outra resolução geométrica, geralmente de 2 a 5 vezes menor. Posteriormente, a partir de processamento, utilizam-se das imagens de baixa resolução para colorir a de maior resolução geométrica. Dessa forma, o pixel pancromático recebe a informação RGB do pixel maior e passa a “ter” valores multiespectrais com a resolução geométrica da imagem pancromática. Esta técnica é chamada *pan-sharpening* e tem sido empregada com muito sucesso nas imagens aéreas e também nas imagens de satélite, onde sua aplicação conquistou inúmeros adeptos. Embora pareça não ser a solução ideal, várias câmaras usam esta técnica, até porque o olho humano não faz distinção de uma imagem com ou sem o *pan-sharpening*, desde que o pixel multiespectral não seja muito maior que o pancromático. Muitos

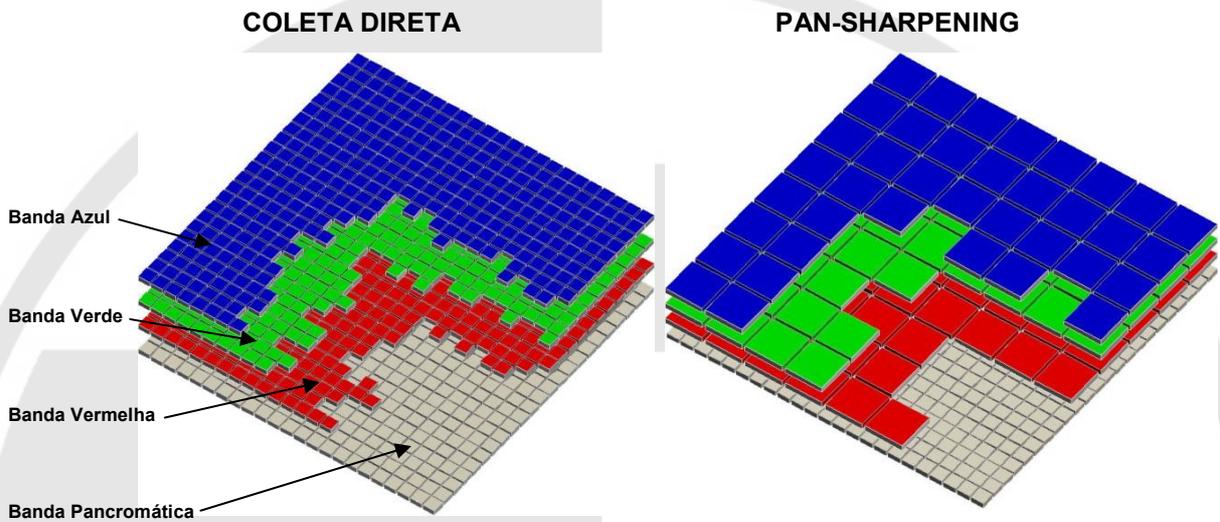
O *pan-sharpening*



Image Source: © Space Imaging, Inc., All rights reserved.

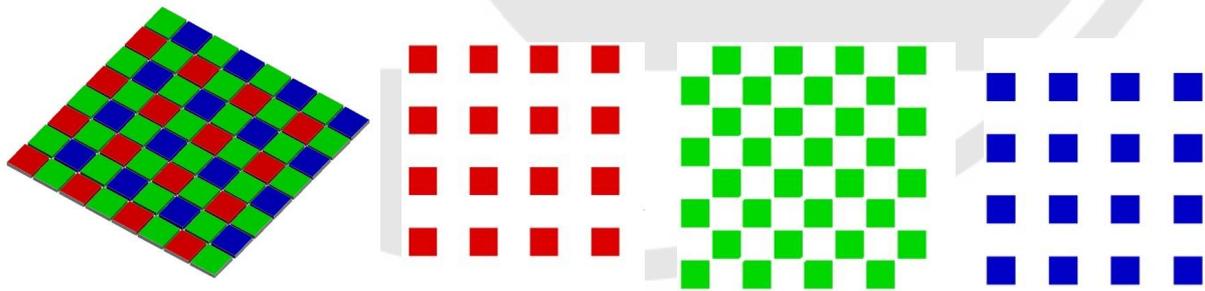
concordam que o fator cinco seja o limite, entretanto dois ou três são os mais indicados. Com este cuidado e um bom algoritmo no processamento, a perda de resolução espectral só seria percebida por softwares específicos e teria fundamental importância no processamento digital de imagem,

principalmente na classificação digital e processos decorrentes. Este recurso está presente em várias câmaras de sensores matriciais.



As figuras mostram esquematicamente como são obtidas as imagens multiespectrais de forma direta e com o *pan-sharpening*.

No que diz respeito à forma de aquisição da imagem, muitas das câmaras aéreas de médio formato hoje se assemelham mais às câmaras digitais comuns do que às suas irmãs de grande porte. As de médio formato, em sua maioria, se utilizam de sensores com tecnologia CCD (*Charge Coupled Device*) e com o filtro de Bayer, também conhecido como matriz RGGB. Esta matriz de filtros é colocada na frente do sensor CCD e permite coletar pixels com resolução radiométrica alternada, ou seja, uma linha com pixels verdes e vermelhos e outra com azuis e verdes, alternados. Após o processamento, por interpolação, obtêm-se os valores espectrais ausentes a partir dos pixels vizinhos, assim a imagem passa a ter valores espectrais em cada pixel. De cada quatro pixels da imagem original, dois são verdes, um vermelho e outro azul. Chamo de câmaras digitais comuns, ou turísticas, àquelas que todos nós conhecemos e utilizamos em viagens e passeios. Como se pode observar há perdas evidentes na qualidade da imagem.



Sensor CCD com matriz RGGB

Decomposição da matriz RGGB nas bandas R (Vermelho), G (verde) e B (azul)

Utilizando distintas tecnologias de aquisição, com diferentes resultados e ainda com diferentes custos, chega-se a imagens que para o olho humano, e só para ele, não apresentam grandes diferenças entre si. Somente especialistas e bons softwares é que podem de fato perceber tais diferenças. Por isso, não são incomuns situações em que uma melhor imagem pareça feia e uma imagem de qualidade inferior pareça bonita aos nossos olhos. Tal como as fotografias de modelos e celebridades que vemos nas revistas.

Todos nós vemos lindíssimas e impressionantes imagens de satélite, mas não há como elas serem melhores do que uma imagem aérea, pois a informação coletada a mais de 400 km de distância não tem como ser melhor qualitativamente do que uma coletada a algumas centenas de metros, desde que seja utilizada tecnologia semelhante para a aquisição da imagem, como é o caso quando comparamos

boas imagens de satélites com boas imagens aéreas. A regra de ouro é a seguinte: quanto menor for a distância câmara-objeto, melhor será a imagem obtida. Foi anunciado recentemente pela Digital Globe (produtora das imagens Quick Bird e um reconhecido e importante *player* do mercado internacional das imagens de satélites) que recobrirá a superfície americana e parte da europeia com imagens aéreas multiespectrais de pixel com 30 cm de resolução. É o projeto denominado “Clear 30”. E muitos perguntam: por que não com imagens de satélite? Isto só vem a comprovar a regra citada anteriormente.

Um grande fator de definição de preço dos sensores de imagem é a qualidade e confiabilidade, medida pela vida útil e também pela quantidade de pixels que podem falhar no sensor CCD. Em se tratando de câmaras de grande formato, somente aqueles sensores que passam, um a um, pelos mais rigorosos testes é que serão utilizados nas câmaras; portanto, os de altíssimo custo. Não é raro um fabricante vender um mesmo sensor por preços bem distintos, por conta dos resultados obtidos nos testes de qualidade após serem produzidos. Isto, associado a outros fatores, explica a grande diferença de custo que se pode encontrar no mercado para sensores de mesma resolução e por vezes até de mesma marca. Grande parte das câmaras de médio formato utilizam os bons, mas genéricos, sensores CCD disponíveis no mercado, e não aqueles que passaram em todos os rigorosos testes de bancada. São também poucos os bons fabricantes de sensores de imagem, sejam eles do tipo CCD ou CMOS, o que também pode justificar o alto custo.

Outro grande fator de redução de custo numa câmara aérea digital é o sistema de lentes, que pode representar cerca de quarenta por cento do custo total. Inúmeros são os recursos que as lentes oferecem: telecentricidade - incidência da luz de forma perpendicular ao CCD, mínimas aberrações e distorções, resolução óptica, filtros de luz, fator de transparência e etc. Alguns dos avanços, que as lentes sofreram para serem utilizadas nas mais sofisticadas câmaras de grande formato, por motivos de custo, não foram incorporados às câmaras de médio formato. Em sua grande maioria elas usam boas lentes, mas muito poucas são projetadas especificamente para a utilização em fotogrametria.

Esquema da lente telecêntrica
Leica com a trajetória da luz



As plataformas estabilizadoras foram introduzidas no mercado há mais de 30 anos, e têm importantíssima função na garantia da estabilização das câmaras, a



Plataforma giro-estabilizada PAV80

fim de evitar os indesejáveis movimentos durante a exposição da imagem. São fundamentais na obtenção da alta qualidade da imagem, principalmente a geométrica. Elas permitem correções automáticas de movimentos angulares, garantem a verticalidade da câmara, e grande estabilidade nas condições normais de vibração, turbulência e em outras mais adversas, durante o voo. Poucos também são os fabricantes de tais plataformas. Uma boa plataforma pode representar até dez por cento do custo de uma câmara de grande formato que nunca dispensa sua utilização. Muitas das câmaras de médio formato simplesmente não foram sequer preparadas para a utilização conjunta com tais plataformas.

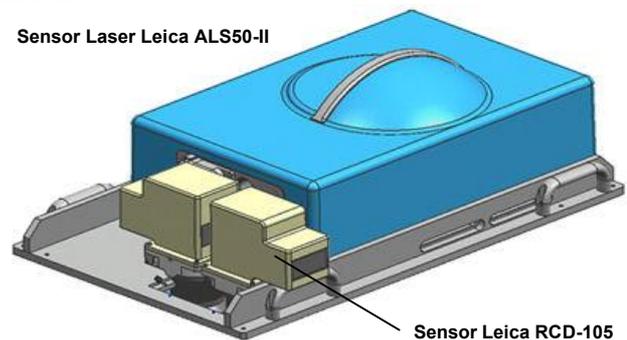
O sistema inercial tem a função de obter com precisão as coordenadas do sensor no momento da coleta da imagem – o tecnicamente chamado “centro perspectivo” da imagem. Com o conhecimento preciso deste ponto, há um grande ganho de precisão e a eliminação de pontos de apoio no terreno. Este

sistema, para uma câmara de médio formato, é de fundamental importância, pois devido ao grande número de imagens, muitos seriam também os pontos necessários no terreno caso não fosse utilizado o sistema inercial, inviabilizando economicamente a utilização do médio formato. Aliás, há quem diga que o posicionamento inercial foi o grande responsável pela viabilização do pequeno e médio formato.

Os sistemas inerciais, inicialmente desenvolvidos para aplicações militares, também tiveram de ser adaptados para a utilização nas câmaras menores. Na sua grande maioria, por interesses estratégicos e de segurança nacional, para a compra destes sistemas é necessária uma autorização expressa da defesa nacional do país fabricante. A solução encontrada para a redução de custo foi simplificar o sistema, tendo como consequência direta a redução de precisão. Existem hoje vários modelos de sistemas inerciais e a maior diferenciação entre eles é exatamente a precisão, que chega a variar em até dez vezes. Em alguns casos, esta perda de precisão, e consequentemente a não-aplicação militar, pode dispensar a especial autorização da defesa. Geralmente são os sistemas menos precisos e, portanto, mais baratos, que equipam as câmaras de médio formato. O sistema inercial numa câmara de grande formato representa cerca de dez por cento do custo e numa câmara de médio formato, mesmo com todas as simplificações, pode representar até quarenta por cento do seu custo. Entende-se aqui como sistema inercial a unidade de medição inercial, de sigla IMU, e um par de receptores GPS que funcionam em conjunto.

Não se pode falar em câmaras aéreas sem também falar do recurso denominado FMC (*Forward Motion Compensation*), ou dispositivo de compensação de arrasto da imagem. O FMC trouxe também um elevado ganho de qualidade para as imagens aéreas. Este recurso é contemporâneo às plataformas estabilizadoras e consiste em deslocar o filme no *magazine* na mesma velocidade da imagem que está sendo gerada, de forma que durante a exposição a imagem seja sensibilizada em uma única posição do filme. O resultado é uma imagem sem o arrastamento, ou dentro de limites mínimos permitidos. No mundo digital pode se conseguir o FMC com movimentos do sensor no momento da geração da imagem ou via processamento da imagem, um dos recursos mais empregado é o TDI (*Time Delay Integration*). Várias câmaras matriciais de grande formato possuem o recurso FMC. Nos sensores lineares, devido à forma de aquisição da imagem, o recurso é desnecessário. Somente no ano de 2010 é que o recurso FMC foi anunciado como parte integrante de alguns sensores de médio formato. Se utilizado nos eixos X e Y do sensor, poderia, em alguns casos, até dispensar a necessidade de uma plataforma estabilizadora, afirma a empresa LEICA que na INTERGEO de 2010 anunciou que colocará no mercado um novo sensor de médio formato com FMC nas duas direções.

As câmaras de médio formato pesam muito menos e demandam um consumo muito menor de energia elétrica. Isto simplifica sua instalação na aeronave, que pode ser de menor porte e de menor custo, ou, o que é também muito comum, usar a mesma aeronave em conjunto com outro sensor, e assim fazer levantamentos de forma simultânea. Em ambos os casos esta prática traz reduções significativas no custo dos serviços. A combinação mais desejada é a câmara de médio formato e o perfilador a laser, que podem inclusive usar a mesma abertura ou furo no assoalho da aeronave. Esta é uma tendência que vem ao encontro do desejo de vários contratantes, visando redução significativa de custo em trabalhos onde a qualidade radiométrica da imagem tem pouca ou quase nenhuma importância. Nem sempre existem condições atmosféricas, ou de iluminação, que permitam o emprego simultâneo dos sensores de imagem e laser, pois este inclusive pode ser utilizado à noite. Todos devem ter como objetivo a busca



de opções que reduzam os custos, e neste caso pode ser necessário um melhor planejamento para associar a mobilização à melhor época para a realização do voo. Com um planejamento adequado e execução em época favorável, é possível fazer o voo de forma rápida e assim obter a condição ideal de clima, iluminação, tempo e, conseqüentemente, custo.

A tecnologia empregada nas câmaras de médio formato não pode ser considerada totalmente de ponta. Portanto, deve-se ter em mente que o produto final pode não ser o melhor, pois, de modo geral, as lentes são menos complexas, o sistema inercial menos preciso, quase sempre não se utilizam as plataformas estabilizadoras e do recurso FMC, os sensores e a forma de coleta da imagem são mais simples, além do fato de que as câmaras de médio formato sempre serão inferiores às de grande formato. Entretanto, dependendo do caso, um bom processo produtivo pode compensar várias destas deficiências. Resguardando as devidas proporções, é como comparar carros alemães com os bons carros coreanos. Muitos dizem não ter comparação, mas há quem compare e até quem prefira estes, principalmente quando se leva em conta a relação custo/benefício. Espera-se que a cada dia as câmaras de médio formato evoluam e um dia cheguem a um nível muito próximo das suas irmãs de grande formato.

A Esteio, mais uma vez de forma pioneira, está introduzindo no mercado brasileiro a Câmara aérea RCD-105, produzida pela Leica Geosystems. Nossa opção por esta câmara aérea de médio formato se deve às inúmeras vantagens que, a partir de agora, estamos oferecendo aos nossos clientes. Essa câmara tem um CCD de 39 megapixels – um frame de 7.162 x 5.416 pixels – capaz de obter imagem RGB ou infravermelha. Ressalta-se ainda a possibilidade do uso de três objetivas com 35, 60 ou 100 mm de distância focal, obturador de fácil e rápida substituição, possibilidade de utilização de plataforma estabilizadora e da utilização simultânea com o perfilador laser, compartilhando o uso do altamente preciso sistema inercial dos nossos perfiladores a laser ALS50-II. A utilização simultânea, Laser e Câmara, é particularmente muito indicada para mapeamento de corredores e serviços de menor porte, sejam de engenharia ou mapeamento. A empresa continua a utilizar o sensor linear de grande formato ADS40/52, que recentemente passou por *upgrade* e é capaz de adquirir as melhores imagens do mercado, sejam elas no aspecto radiométrico, geométrico ou de menores distorções perspectivas. Entretanto, a partir de agora temos à disposição mais uma nova e importante ferramenta que poderá reduzir os custos de alguns serviços sem, no entanto, perder de forma significativa a qualidade geométrica. Também já estamos planejando investimento em outro sensor de médio formato nos próximos meses.

A preocupação da Esteio é a mesma de sempre: oferecer o que de melhor existe em tecnologia, de forma a obter a melhor relação entre o custo e o benefício dos nossos serviços. Ao poder ofertar aos nossos clientes as alternativas de médio e grande formato, com seus respectivos custos, e apresentando as vantagens e desvantagens de cada uma destas opções, sem induzir para uma ou outra, estamos praticando também a transparência na relação entre contratado e contratante. Prática característica de nossa empresa.

Valther Xavier Aguiar é engenheiro cartógrafo e atua como diretor técnico na Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A.. valther@esteio.com.br