



Leica CountryMapper

O novo sensor híbrido da ESTEIO

Valther Xavier Aguiar

No Brasil, a demanda por mapeamentos regionais vem crescendo e, para acompanhar esse movimento, a ESTEIO, mais uma vez, aposta no ganho de produtividade e flexibilidade com novas tecnologias e traz ao mercado um novo sensor aéreo – o sensor híbrido de grande formato Leica CountryMapper.

Entenda os motivos, a tecnologia, a qualidade e o que esperar desse novo equipamento que a ESTEIO, de forma inédita e com orgulho, passa a disponibilizar aos seus clientes.

A exemplo do que já fizemos anteriormente com outros sensores, o texto a seguir foi redigido na forma de perguntas e respostas, de maneira a facilitar a leitura e o entendimento deste sensor e suas tecnologias. Caso queira sugerir algum novo questionamento, por favor, entre em contato.

O que significa um "Sensor Híbrido"?

O nome "sensor híbrido" é dado aos sensores que reúnem duas ou mais tecnologias primárias de aquisição anteriormente utilizadas de forma independente. O sensor ou sistema Leica CountryMapper é um ótimo exemplo dessa nova geração de sensores, pois reúne num único equipamento uma câmera aerofotogramétrica multiespectral de grande formato e um perfilador Laser, operando de forma sincronizada e com fluxo de processamento totalmente integrado. Além de trabalhar de forma híbrida, pode-se também obter imagens ou dados LiDAR de forma isolada, trazendo muita flexibilidade de uso e aplicações. São inúmeros novos recursos tecnológicos, como o sensor CMOS BSI de alta sensibilidade, dispositivo de compensação do arrasto da imagem do tipo FMC, nova plataforma giroestabilizadora de alta performance, laser de grande precisão com coleta circular ou elíptica, sistema inercial e receptor GNSS, grande capacidade de armazenamento, entre outros.

Qual motivo fez a ESTEIO investir nesse novo sensor?

A ESTEIO acredita em seu mercado, e suas decisões de investimentos em tecnologia sempre procuram equilibrar estratégia, necessidade e oportunidade. A empresa, em 2020, investiu no sensor de grande formato Leica ADS100, e em 2023 por conta da demanda, uma segunda unidade foi adquirida. Em 2022 investiu no seu primeiro sensor híbrido, o Leica CityMapper H2+. Agora opta pela incorporação de um sistema híbrido de grande formato – o Leica CountryMapper, um equipamento de produção restrita. A ESTEIO figura entre as primeiras empresas do mundo a operar o CountryMapper. Recentemente, os estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul contrataram o mapeamento dos seus territórios, e a ESTEIO está envolvida nesses três projetos. Esse investimento em tecnologia representa uma preparação estratégica às demandas futuras do setor.



Atuais sensores
ESTEIO

ADS100 (2)

CityMapper H2

CountryMapper-S

O CountryMapper é um sensor específico para grandes mapeamentos?

Absolutamente não, trata-se do nome do sensor e da principal aplicação inicialmente projetada pelo fabricante. O CountryMapper possui três versões e optamos pela que consideramos mais adequada às nossas necessidades. Ele permite, por exemplo, o recobrimento de uma mesma largura de faixa para o imageamento e o levantamento laser de forma simultânea ou híbrida. A Leica especifica como melhor resolução o GSD de 2 cm e densidade laser simultânea de cerca de 20 pontos/m², varrendo 630 m de largura de faixa a uma velocidade de 150 nós ou 277 km/h. Um aerolevantamento com essas características é, certamente, destinado para aplicações mais específicas ou para áreas urbanas, e não para grandes

mapeamentos. A ESTEIO vem usando de forma bastante extensiva o CityMapper H2+, um sensor cujo nome remete ao uso urbano, nos grandes mapeamentos dos Estado de São Paulo e Paraná para a coleta de dados laser. O sistema híbrido CountryMapper-S reúne em uma única plataforma, câmara aérea multiespectral de grande formato, com imagem final, ou de composição, de 423 megapixels (31.520 x 13.440 pixels) e um sensor laser de alta performance – o Hyperion3 de 2 megahertz.

A ESTEIO já possuía dois sensores de grande formato adquiridos recentemente. Por que adquirir um terceiro sensor?

Com a demanda crescente, era extremamente importante aumentar a produtividade e a flexibilidade dos nossos recursos, principalmente para dados laser. Os nossos sensores de varredura ADS100/120 são excelentes e permitem a obtenção de imagens com qualidade geométrica e radiométrica espetaculares, eles superam diversos outros sensores em vários aspectos. Entretanto, possuem 20.000 pixels transversais à linha de voo. Já o CountryMapper-S, com largura de imagem de 31.520 pixels, é um sistema cerca de 58% mais produtivo na aquisição de imagens e ainda com a possibilidade de executar adicionalmente a varredura laser. A simultaneidade vem sendo desejada e até exigida por alguns contratantes e, a ESTEIO está trazendo ao mercado uma das melhores formas para esse tipo de levantamento. Embora já fizéssemos a coleta simultânea com o CityMapper, em uso desde 2022, não se tratava de imageamento de grande formato. A partir de agora podemos optar por levantamento laser com imageamento simultâneo de médio ou grande formato de alta qualidade e rapidez na execução. Além, obviamente, de também continuar ofertando o imageamento de grande formato obtido por sensor de varredura que fazemos desde 2006, praticamente quando a coleta de imagem aérea entrou na era digital.

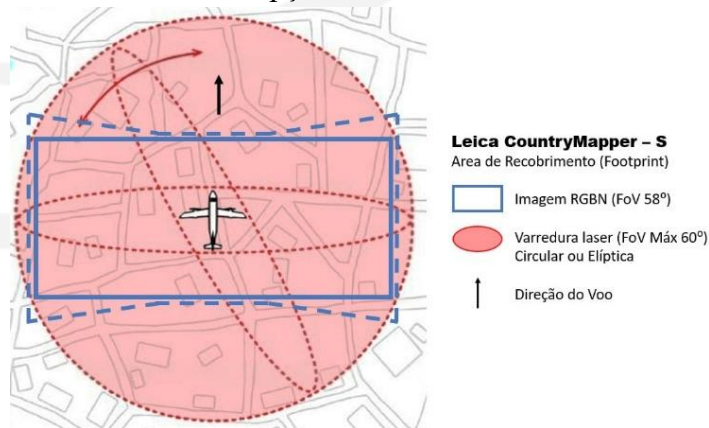
A tecnologia de varredura ainda estará disponível por quanto tempo?

Essa é uma pergunta difícil de ser respondida. Em janeiro de 2026, no site da Leica, constam os sensores de grande formato Leica ADS100, DMC-4, e o híbrido CountryMapper, portanto, o sensor linear, ou de varredura ADS100 ainda é comercializado. Por conta disso, sensores lineares poderão ainda ser utilizados por muito tempo. Em 2024 a Suíça divulgou a atualização do seu mapeamento territorial a partir de imagens coletadas por sensores ADS100/120. Entretanto, sabemos que, embora seja uma tecnologia maravilhosa e ainda capaz de coletar as melhores imagens aéreas, existe uma grande dificuldade na manutenção dessa tecnologia, pois o sensor CCD foi superado pelo CMOS, o TDI – Time Delay Integration (tecnologia digital para a compensação do arrastamento da imagem) só funciona nos CCDs e também porque a ótica ou o sistema de lentes do sensor ADS100 é único, extremamente caro, sofisticado e grande para os dias de hoje. Portanto, é possível que seja descontinuado no futuro, mas só o tempo dirá se e quando. Atualmente, com 20.000 pixels transversais à linha de voo, o ADS100 já não é tão produtivo como foi no passado; esse foi também um motivo para a ESTEIO investir agora em um sensor de frame de grande formato, além, evidentemente, de poder oferecer mais esta opção aos nossos clientes.

Foram citados os sistemas de grande formato Leica ADS100, DMC-4 e o CountryMapper. O que difere a DMC-4 do CountryMapper?

A Leica DMC-4 é uma câmara aérea de grande formato, lançada em 2022, para aquisição somente de imagens. O Leica CountryMapper, que foi lançado quase dois anos depois, é uma evolução da DMC-4 pois, além da aquisição de imagens multiespectrais, ele coleta também dados laser, ou seja, um sistema híbrido. Sua configuração é o equivalente a uma DMC

acrescida de um sensor LiDAR de alta performance. As imagens multiespectrais são coletadas com tamanho de 423 megapixels e os dados laser são coletados com o sensor Hyperion3, de frequência de pulso de 2.000 kHz, ângulo de abertura mais flexível, divergência de pulso de 0,17 mrad com maior capacidade de penetração, precisão planimétrica, produtividade e flexibilidade em relação ao seu antecessor Hyperion2+, sensor que já operamos desde 2022. O ângulo de abertura da câmara aérea (FoV – Field of View) é de 58 graus, e o laser tem abertura variável de 10 à 60 graus. Ou seja, na prática, pode-



se ter o mesmo campo de visão para imagem e laser, além de que a coleta laser pode ser alterada do modo circular para o elíptico e ainda ser rotacionada, o que dá grande flexibilidade na varredura. A figura acima mostra esquematicamente a área de recobrimento, o “footprint”, do CountryMapper-S.

Uma das vantagens do sensor linear ADS100 é a forma de aquisição direta das bandas espectrais sem interpolação de imagens. O CountryMapper, por ser um sensor de quadro, usa a interpolação?

Imagens multiespectrais coletadas diretamente, com a total separação de cores e sem passar por processo de interpolação, ainda são exclusividade dos sensores lineares. Entretanto, a grande qualidade radiométrica das imagens oriundas dos sensores lineares foi pouco explorada pelo mercado nesses mais de 20 anos de existência dos sensores ADS em suas várias gerações. O quadro resultante de 423 megapixels da imagem gerada pelo CountryMapper, é coletado por três câmaras de médio formato Leica MFC150, a imagem Infravermelha é coletada por mais duas dessas câmaras, ou seja, são cinco sensores de 150 megapixels combinados para a obtenção das imagens multiespectrais nas bandas Vermelha, Verde, Azul e Infravermelha Próxima (R, G, B e NIR). O CountryMapper emprega um algoritmo proprietário para fazer a interpolação de Bayer – o “debayering” ou “demosaicking”, desenvolvido pela Leica especificamente para a aerofotogrametria. Além disso, a relação RGB/NIR do CountryMapper-S é de 1:1,6, uma relação bem apropriada e melhor quando comparada a outros sistemas. Então, a resposta à pergunta é – sim, o CountryMapper utiliza-se do recurso de interpolação de imagens para gerar a imagem final nas quatro bandas espectrais, entretanto, explora todos os avanços tecnológicos disponíveis. E não mais é coletada uma imagem pancromática para posterior atribuição de cor – técnica conhecida como pansharpening, isso agora é feito com a imagem sintética RGB oriunda das três câmaras MFC150 que são utilizadas para a construção da imagem de composição com 423 megapixels.



Qual a importância da simultaneidade na coleta de imagem e dados laser?

A fusão das duas tecnologias do sensor híbrido – imagens e dados laser – permite, por exemplo, uma melhor definição e resolução em áreas urbanas verticalizadas, bem como em áreas rurais com reflorestamento ou em regiões com grandes variações de relevo. A simultaneidade dos levantamentos traz, ainda, benefícios operacionais relevantes, como redução de custo da operação aérea e redução no prazo de execução, uma vez que realiza um único voo para atividades que, em outras circunstâncias, seriam necessários dois ou mais. Respostas rápidas e assertivas são necessárias também em situações de catástrofes e desastres naturais. Adicionalmente, a simultaneidade traz alguns benefícios específicos, como a possibilidade de que todas as feições das imagens sejam rigorosamente as mesmas do levantamento laser e vice-versa. E ainda a possibilidade de utilização do, tão sonhado, georreferenciamento híbrido entre as imagens e os dados LiDAR, com consequente redução da necessidade de pontos de controle em campo, e ganhos significativos no resultado final dos produtos. Já existem vários contratantes brasileiros que exigiram ou desejaram essa simultaneidade. Um detalhe importante a ser observado no recobrimento simultâneo, ou híbrido, é que, para cada GSD, existe uma densidade correspondente e vice-versa, portanto, nem sempre esses valores correspondem aos desejados. Para o CountryMapper-S da ESTEIO, voando à velocidade de 222 km/h, ou 120 nós, alguns desses valores são: GSD de 5 cm e densidade média de 18 pts/m²; GSD de 10 cm e densidade média de 6 pts/m²; e GSD de 20 cm e densidade de 1pt/m².

A Esteio conta agora com três tipos de sensores. Como será a escolha de qual utilizar?

Já passamos por isso algumas vezes, pois durante a nossa história já utilizamos cerca de 60 sistemas de coleta de imagem. Primeiramente deve ser atendido plenamente a especificação do cliente ou do contrato. E depois, atender essa mesma especificação com o menor custo possível de execução. Alguns exemplos podem ser citados: no caso de modelagem 3D urbana, deve ser empregado o CityMapper por ser um sistema híbrido oblíquo; em contratos que sejam necessários grande qualidade radiométrica, análise espectral das imagens, maior produtividade na restituição, menor quantidade de mosaicagem nas ortofotos, menor quantidade de pontos de controle, ou se desejado o produto Semi-true ortofoto, a recomendação

seria o ADS100; e mapeamentos que exijam grande produtividade na operação aérea, possibilidade futura do uso de inteligência artificial na restituição digital, true-ortofotos, simultaneidade na coleta de dados laser e de imagem, a recomendação vai para o novo sensor CountryMapper. Nosso objetivo final é sempre atender nossos clientes com grande qualidade, preços e prazos compatíveis.

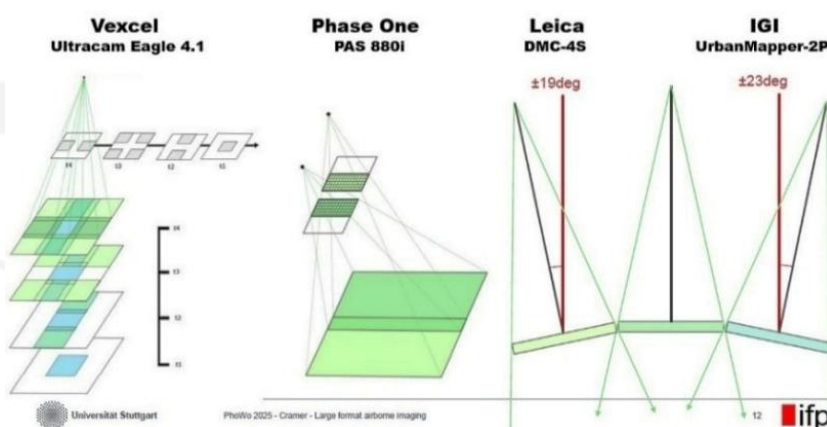
Quais são os concorrentes dos sensores híbridos Leica no mercado?

Sensor híbrido ou com coleta simultânea de dados laser e imagem de grande formato hoje ainda é exclusividade da Leica, embora talvez por pouco tempo. Como a Leica Geosystems é um fabricante tanto de sistemas de imagem como laser, naturalmente foi o primeiro a desenvolver o sensor híbrido. Em 2016 surgiu a primeira versão do CityMapper (imageamento oblíquo + laser) e mais recentemente o CountryMapper (imageamento de grande formato + laser). Alguns anos após o lançamento do CityMapper, a Vexcel, a partir de uma parceria com o fabricante de laser Riegl, lançou o seu sistema híbrido oblíquo UltraCam Dragon, atualizado recentemente, porém não se trata de sensor de grande formato para o imageamento. Entretanto, não existe um sistema exatamente igual ao outro, pois cada fabricante, ou integrador de sistemas, opta por diferentes formas de construir a imagem de grande formato, diferentes formas de compensar o arrastamento da imagem, diferentes lentes e também diferentes formas de aquisição dos dados laser. Ou seja, cada um deles, adota algumas tecnologias em comum, mas associadas a outras bem distintas para a integração dos seus sistemas. Embora semelhantes na finalidade e no visual, são contraditoriamente sistemas muito diferentes entre si. Curiosamente, vários sistemas das últimas gerações têm em comum o emprego do mesmo sensor Sony CMOS BSI para a aquisição da imagem que também é utilizado em diversas outras aplicações industriais e científicas de alta precisão, porém, pouca coisa mais em comum.

Como podem existir diferentes formas de construir uma imagem de grande formato?

A maioria dos atuais sistemas de imageamento de grande formato utilizam dois ou mais sensores CMOS, hoje ainda limitados a 150 megapixels, para a construção da imagem de grande formato, que pode chegar a um tamanho de até 508 MP. Cada fabricante adota uma maneira distinta de combinar lentes e sensores CMOS em uma geometria que permita a obtenção do quadro final da imagem. A Vexcel desde sua primeira câmara, lançada em 2003, adota o conceito Sintópico (syntopic) que consiste em combinar nove

Formas de construção da Imagem de grande formato



sensores em quatro lentes com visadas nadirais de maneira a formar o quadro pancromático, e mais quatro conjuntos de sensores de menor resolução e lentes independentes para a obtenção das bandas R, G, B e IR, depois faz o “panshapening” com essas imagens; entretanto, para a UltraCam Merlin, adotou mais recentemente uma variação na forma de aquisição, usa duas lentes nadirais e três sensores RGB para adquirir a imagem resultante, e mais dois conjuntos de lentes e sensores para a banda IR. A PhaseOne utiliza um conceito semelhante, mas com duas lentes e dois sensores RGB, com a possibilidade adicional de coleta da banda Infravermelha com o emprego de mais um conjunto de sensor e lente. A Leica, que já foi um importante fabricante de lentes, hoje somente projeta, mas de forma única e exclusiva, as lentes empregadas em seus sistemas, e tem uma abordagem também distinta, explora muito bem a melhor qualidade e região da lente, o “Sweet-Spot”, para o posicionamento do sensor imageador. No CountryMapper, e na DMC-4, é utilizado o conceito “borboleta” com um conjunto de lente e sensor RGB de visada nadiral e mais dois conjuntos laterais, com uma pequena faixa de superposição, com visadas ligeiramente inclinadas de 19 graus; com isso, utiliza três sensores para a construção da imagem sintética de 423 megapixels; e mais dois sensores, menos inclinados, para a coleta da banda espectral Infravermelha; e, usando sua própria rotina de interpolação, gera imagens multiespectrais nas quatro bandas. Ou seja, cada um desses três importantes fabricantes tem uma forma distinta de criar a imagem de grande formato. A figura acima mostra esquematicamente como é gerada a



imagem resultante de quatro sistemas. Hoje estamos numa transição entre gerações de sensores, e, em um futuro bem próximo, a geração seguinte de sistemas utilizará o recém lançado sensor imageador de médio formato Sony CMOS BSI de 247 megapixels, e com isso virão novos artifícios tecnológicos para garantir ou melhorar a qualidade com um novo grande ganho de produtividade. Diversos integradores já anunciaram alguns dos sistemas dessa próxima geração, como o Leica CityMapper-3 e o Vexcel UltraCam Merlin 5.0.

Como podem existir diferentes formas de compensar o arrasto da imagem?

O sistema mais conhecido e empregado para compensar o arrastamento da imagem nasceu na era analógica das câmaras aéreas. Consistia em deslocar mecanicamente o filme durante a exposição de forma que a imagem fosse sensibilizada sempre na mesma posição, permitindo obter imagens mais nítidas e de melhor métrica. Esse dispositivo recebeu o nome de FMC – Forward Motion Compensation. Na era do CCD, o FMC foi utilizado com o deslocamento do sensor durante a exposição, mas surgiu também o TDI – Time Delay Integration, a forma “digital” de fazer a compensação que concorria com o FMC e que diversos fabricantes usaram em seus sistemas. Com a mudança para os sensores CMOS e a não existência ainda de uma forma equivalente ao TDI para esses sensores, os fabricantes PhaseOne e Vexcel optaram por criar as alternativas BCT – Blur Control Technique e o AMS – Adaptive Motion Compensation, respectivamente. Portanto, os sistemas, com algumas exceções, quando são Leica empregam o FMC; quando Vexcel empregam o AMC, compensação do arrasto via software; e quando PhaseOne, o BCT, técnica que evita o arrasto utilizando um tempo bem menor de exposição com o emprego de um obturador bem mais rápido. Todas essas formas de compensação têm vantagens e desvantagens específicas, e cada um dos fabricantes ou usuários defende veementemente a sua solução. O mais importante mesmo é que usem tais recursos pois, com a miniaturização constante do pixel no sensor de imagem e consequente redução da quantidade de luz absorvida, cada dia torna-se mais importante e imprescindível o emprego de alguma forma de compensação do arrasto. Na era analógica só se exigia a compensação do arrasto em imagens de grande escala, já nos tempos atuais tem sido utilizada mesmo para imageamento com maior resolução no terreno, principalmente com aeronaves mais rápidas.

Qual a relevância de todas essas novas tecnologias na qualidade da imagem?

Todos esses recursos tecnológicos aportados nas últimas gerações dos sistemas de imageamento visaram a ganhos não só em precisão e qualidade, mas também e principalmente em produtividade e flexibilidade. À medida em que surgem evoluções ou mudanças tecnológicas nos principais insumos como, por exemplo, nos sensores imageadores, algumas soluções técnicas precisam ser implementadas ou, mesmo, readaptadas para contornar os obstáculos, gerados por essa evolução, para a construção de um novo sistema ou câmara aérea. Um bom exemplo disso é o conceito FMC para a compensação do arrastamento da imagem, inventado nos anos 80 pela Zeiss – hoje Hexagon/Leica, e usado até os dias atuais, claro que com as constantes e necessárias adaptações que o ambiente digital e sua evolução exigiram. Os novos sensores de imagem com o tamanho do pixel reduzido passaram a exigir também lentes mais adequadas a essa condição, principalmente para o uso aerofotogramétrico. Outro exemplo a ser citado é que sensor de imagem com matriz de Bayer já foi, no passado, exclusividade das câmaras aéreas de médio formato e agora, após as últimas evoluções, faz parte também de vários sistemas de grande formato. Resumidamente esses são, hoje, os principais e necessários recursos de uma câmara aérea para uso fotogramétrico: alta resolução e sensibilidade do sensor; capacidade de obtenção de imagens espectrais com qualidade; apropriada relação PAN/NIR ou RGB/NIR; calibração geométrica e radiométrica; dispositivo adequado de compensação do arrastamento da imagem; plataforma giroestabilizadora; pequeno intervalo de tempo entre imagens consecutivas, entre outros não menos importantes. De acordo com o prof. Michael Cramer, do ifp – Instituto de Fotogrametria, da Universidade de Stuttgart, a qualidade dos produtos finais do mapeamento depende também de outros fatores que vão além da qualidade da câmara aérea ou da imagem gerada por ela. Condições meteorológicas favoráveis, bons softwares de processamento e a experiência de toda a equipe envolvida são também fundamentais.

Seria correto um contratante especificar somente a qualidade do produto final e não o sistema de coleta de imagem e outros equipamentos ou fases do mapeamento?

Nem para o contratante nem para a empresa executora é uma tarefa simples especificar ou mesmo escolher o sensor necessário ou mais adequado. Nos anos de 2024 e 2025, o prof. Michael Cramer apresentou, no Fórum de Geomática de Hamburgo e na Semana Fotogramétrica de Stuttgart, respectivamente, uma criteriosa análise e avaliação dos atuais sensores de grande formato e suas características. Foram citados os sistemas de grande formato Leica DMC-4S e ADS100, Vexcel UltraCam Eagle Mark III e 4.1, IGI UrbanMapper-2P e o PhaseOne PAS880i. Os produtos gerados a partir de imagens coletadas por esses sensores, em área teste nas imediações da cidade de Stuttgart, atenderam plenamente as normas alemãs de mapeamento. Entretanto, não parece razoável que a especificação seja somente para o produto final. Em uma contratação deve ser permitida a liberdade tecnológica, e o sensor não deve ser especificado por marca ou modelo, mas sim, pelas suas características geométricas, radiométricas e de desempenho, obviamente, vinculadas à precisão do produto final e principalmente compatível com o valor da contratação, – não faz sentido exigir tecnicamente pouco numa grande contratação e vice-versa. Embora estimule a participação de mais empresas e amplie a concorrência, uma especificação com baixo nível de exigência corre o risco de atrair participantes que não atendem minimamente os requisitos do objeto contratual. Recentemente, no Brasil, uma empresa, apresentando um sensor analógico produzido na década de 1970, teve de ser considerada habilitada tecnicamente em uma concorrência por falta de exigências técnicas mínimas necessárias. Felizmente, a legislação para contratações públicas permite que sejam exigidos recursos mínimos e alternativamente até os desejados. A estes pode, por exemplo, ser atribuída, na recomendada concorrência na modalidade de técnica e preço, uma pontuação extra que seria ponderada na nota final da proposta. Essa é uma prática que vem ganhando força e adeptos nas contratações brasileiras.



E como seria especificar um sensor laser ao contratar um serviço de mapeamento?

De forma análoga ao sensor de imagem, devem ser exigidos alguns recursos como: frequência de repetição de pulso mínima admitida; limite máximo da divergência do pulso laser; recurso tecnológico Waveform; tecnologia MPiA - Multi Pulse in Air; quantidade mínima de registro do retorno do pulso; calibração geométrica; definição do ângulo máximo de abertura para a coleta dos dados, pois este é um parâmetro flexível nos sensores que impacta diretamente no custo. Não é raro, também, ser especificada precisão mínima do sistema inercial. E, ainda como recurso muito recomendável, pode ser estimulado o emprego de plataforma giroestabilizadora, que traz um ganho significativo de qualidade, uniformidade, precisão geométrica e também maior confiabilidade dos dados laser, permitindo, inclusive e com segurança, um recobrimento lateral menor entre as faixas de voo laser, o que pode reduzir o prazo de execução.

E o que esperar do futuro nessa área?

Evolução e adaptação constantes e aceleradas! A miniaturização dos sistemas, melhor qualidade, maior produtividade e flexibilidade, maior resolução de imagem, maior frequência de operação dos sensores laser e o menor custo dos equipamentos são demandas contínuas dos usuários e, consequentemente, buscas incansáveis dos fabricantes. Toda evolução tecnológica que acontece nos sistemas híbridos, lasers e de imagens de grande formato, de certa forma pode migrar para o médio e pequeno formato, assim como também para os sensores espaciais e vice-versa. A cada dia mais os recursos de Inteligência Artificial e de aprendizado de máquina (Machine Learning) vão fazer parte das rotinas de processamento e interpretação dos dados coletados, sejam eles dados laser, de imagem ou híbridos. Só nos resta acompanhar e tentar estar atualizados e adaptados com o uso dessas maravilhosas ferramentas.

Valther Xavier Aguiar é engenheiro cartógrafo, diretor técnico da ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. e presidente da ANEA – Associação Nacional de Empresas de Aerolevantamento. valther@esteio.com.br, www.esteio.com.br. Janeiro/26.

A redação deste texto não teria sido possível sem consultas e discussões com alguns dos entendidos no assunto, entre eles o prof. Michael Cramer, do Instituto de Fotogrametria, da Universidade de Stuttgart na Alemanha, e os engenheiros Klaus Neumann e William Kim da Hexagon/Leica da Suíça e Chile, respectivamente.