

LAUDO TÉCNICO PARA ATIVIDADES DE AEROLEVANTAMENTO COM USO DE RPAS

Para o encaminhamento do presente Laudo, excluir esta linha e todas as instruções em cinza.

(O conteúdo do Laudo descreve as principais características dos sistemas sensores de médio e pequeno formato que devem ser apresentadas pelas empresas interessadas em se inscrever como Entidades Executantes de aerolevanteamento, atentando para o disposto no Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD e na Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV)

1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS SENSORES

(A empresa deve apresentar as características dos principais sistemas sensores integrantes dos RPAS que serão utilizados para os seus projetos de aerolevanteamento. Estes sistemas sensores compreendem a câmera digital integrada a um Sistema de Navegação Global por Satélites – GNSS e Navegação Inercial – INS)

1.1 CARACTERÍSTICAS DA CÂMERA

(A empresa deve apresentar as características da câmera utilizada pelo RPAS, conforme abaixo)

- a) Modelo;
- b) Fabricante;
- c) Número de Série;
- d) Tipo de Lentes;
- e) Número de Série;
- f) Tipo de Sensor;
- g) Dimensão do Sensor;
- h) Número Efetivos de Pixels;
- i) Dimensão do Pixel em mm (no espaço imagem);
- j) Distância Focal Nominal; e
- k) Orientação da Imagem e Referenciais Envolvidos, conforme Figura 1.

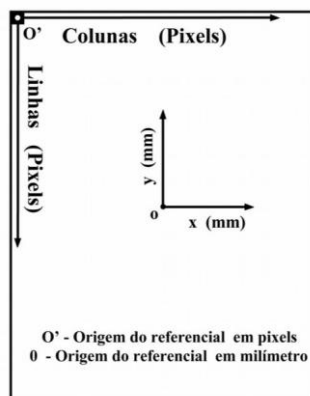


Figura 1: Orientação da Imagem e Referenciais Envolvidos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS – GNSS/INS

(A empresa deve apresentar as características do receptor GNSS integrado a uma Unidade de Medição Inercial – IMU e que será utilizado no SARP para aplicações de aerolevantamento com Georreferenciamento Direto – DG ou Georreferenciamento Integrado de Sensores – ISO)

(Para a aplicação de aerolevantamento com uso de DG, a empresa deve apresentar os valores dos Deslocamentos Lineares – *Lever Arms* e Desalinhamentos Angulares – *Boresight Misalignment Angles* entre a antena do receptor GNSS e o corpo da IMU, conforme Tabela 1)

Parâmetro	Descrição do parâmetro
$dX - \sigma_{dX}$	Deslocamento linear no eixo X em centímetro (cm), com respectivo desvio padrão
$dY - \sigma_{dY}$	Deslocamento linear no eixo Y em centímetro (cm), com respectivo desvio padrão
$dZ - \sigma_{dZ}$	Deslocamento linear no eixo Z em centímetro (cm), com respectivo desvio padrão
$d\omega - \sigma_{d\omega}$	Desalinhamento angular no eixo X em arcos de grau ($^{\circ}$), com respectivo desvio padrão
$d\phi - \sigma_{d\phi}$	Desalinhamento angular no eixo Y em arcos de grau ($^{\circ}$), com respectivo desvio padrão
$d\kappa - \sigma_{d\kappa}$	Desalinhamento angular no eixo Z em arcos de grau ($^{\circ}$), com respectivo desvio padrão

Tabela 1: Deslocamentos Lineares e Desalinhamentos Angulares entre o receptor GNSS e o corpo IMU.

(Para voos com altitudes inferiores a 150m, é desejável a utilização do método de posicionamento *Real Time Kinematic* – RTK do receptor GNSS do RPAS, visando a melhoria da exatidão posicional das imagens do DG)

2. CARACTERÍSTICAS DA CALIBRAÇÃO DA CÂMERA

(A empresa deve apresentar as características da calibração da câmera utilizada pelo RPAS para imageamento, após voo em campo de teste à sua escolha. No relatório, deve constar pelo menos a calibração geométrica da câmera, sendo desejável também a calibração radiométrica)

Parâmetros da calibração geométrica realizada:

- a) Método da Calibração;
- b) Campo de Teste;
- c) Tomada das Imagens;
- d) Número de Fotos utilizadas;
- e) Altura de Voo (m);
- f) Resolução no Terreno (GSD);
- g) Abertura Focal, ou Distância Focal Calibrada (mm);
- h) Sensibilidade (ISO);
- i) Tempo de Exposição;
- j) Número de Alvos utilizados;
- k) Número de Leituras;
- l) Programa Licenciado utilizado para as Medidas Fotogramétricas;

m) Parâmetros de Orientação Interior (POI) determinados, contendo pelo menos as informações, conforme Tabela 2;

Parâmetro	Descrição do parâmetro
$f_{ou\ c} - \sigma_{f_{ou\ c}}$	Distância focal calibrada em milímetro (mm), com respectivo desvio padrão
$x_o - \sigma_{x_o}$	Coordenada “x” do ponto principal em milímetro (mm), com respectivo desvio padrão
$y_o - \sigma_{y_o}$	Coordenada “y” do ponto principal em milímetro (mm), com respectivo desvio padrão
$K_1 - \sigma_{K_1}$	Primeiro parâmetro de distorção radial simétrica (mm ²), com respectivo desvio padrão
$K_2 - \sigma_{K_2}$	Segundo parâmetro de distorção radial simétrica (mm ⁴), com respectivo desvio padrão
$K_3 - \sigma_{K_3}$	Terceiro parâmetro de distorção radial simétrica (mm ⁶), com respectivo desvio padrão
$P_1 - \sigma_{P_1}$	Primeiro parâmetro de distorção tangencial ou descentrada (mm ⁻¹), com respectivo desvio padrão
$P_2 - \sigma_{P_2}$	Segundo parâmetro de distorção tangencial ou descentrada (mm ⁻¹), com respectivo desvio padrão

Tabela 2: Descrição dos POI.

(Caso a modelagem matemática utilizada na calibração da câmera seja diferente do modelo *Conrad-Brown*, a empresa deve apresentar os parâmetros determinados e seus desvios padrões, analogamente à Tabela 2)

- n) Aerobase (m) obtida;
- o) Matriz de Correlação entre os POI, apresentada com os valores numéricos das correlações entre os POI, conforme a Figura 2;

f	1							
x_o		1						
y_o			1					
K_1				1				
K_2					1			
K_3						1		
P_1							1	
P_2								1

Figura 2: Modelo de Matriz Correlação entre POI.

- p) Gráfico dos Resíduos dos Pontos Fotogramétricos, contendo as tendências dos resíduos das fotocoordenadas dos pontos fotogramétricos, após a calibração da câmera, ao longo de toda a imagem em (mm), conforme Figura 3; e

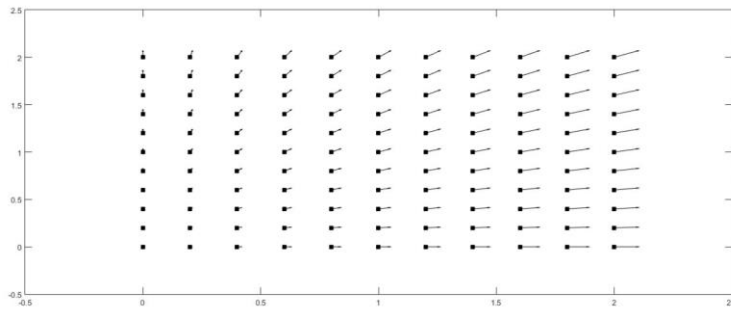


Figura 3: Resíduos das Fotocoordenadas dos Pontos Fotogramétricos utilizados na calibração da câmera.

- q) Apresentar a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM) ou Erro Quadrático Médio (EQM) dos **Resíduos das Fotocoordenadas dos Pontos Fotogramétricos no espaço imagem** (em mm, obtidos da alínea “p”), após a calibração da câmera.

Obs.: Para o espaço imagem, a REQM ou EQM dos Resíduos das Fotocoordenadas dos Pontos Fotogramétricos não pode ser superior ao tamanho de 1 (um) pixel (em mm), constante na alínea “i”, item 1.1 (valor retirado do manual da câmera, fabricante, etc.).

- r) Dentre os Pontos Fotogramétricos (constantes da alínea “p”), devem existir os Pontos de Verificação ou *Check* (Pontos que possuem Coordenadas Tridimensionais determinadas por levantamento GNSS – *Global Navigation Satellite System*), visando a avaliação da exatidão posicional da calibração no espaço objeto. Assim, os Resíduos das coordenadas dos Pontos de Verificação no espaço objeto são obtidos pela diferença entre as Coordenadas calculadas pela calibração e determinadas pelo levantamento GNSS. Do exposto, a empresa deve apresentar a REQM ou EQM dos **Resíduos das coordenadas dos Pontos de Verificação no espaço objeto** (em cm), após a calibração da câmera.

Obs. i: Para o espaço objeto, a REQM ou EQM dos Resíduos das coordenadas dos Pontos de Verificação planimétricas não pode ser superior ao tamanho de 1 (um) pixel (em cm), constante na alínea “f” acima (valor GSD calculado, no processo de calibração, de acordo com a escala do voo);

Obs. ii: Para o espaço objeto, a REQM ou EQM dos Resíduos das coordenadas dos Pontos de Verificação altimétricas não pode ser superior ao valor de “dz” (exatidão altimétrica esperada), dado por:

$$dz = \frac{\sqrt{2} \cdot H^2}{B \cdot f} \cdot \sigma$$

onde:

H = Altura de Voo (m), obtida da alínea “e” acima;

B = Aerobase (m), obtida da alínea “n” acima;

f = Abertura Focal, ou Distância Focal Calibrada (mm), obtida da alínea “g” acima; e

σ = tamanho do pixel no espaço imagem (em mm), obtido da alínea “i”, subitem 1.1, item 1.

3. PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR (POE)

(A empresa deve fornecer a qualidade da posição X, Y, Z e da orientação ω , ϕ , κ dos POE das imagens após a calibração da câmera. Deve ser utilizado o REQM e o valor médio das discrepâncias entre os valores originais e calibrados dos POE, conforme apresentado na Tabela 3)

Métricas das discrepâncias	X(m)	Y(m)	Z(m)	ω (°)	ϕ (°)	κ (°)
REQM						
Média						

Tabela 3: Consolidado da qualidade da posição e orientação das imagens.

.....
Local / Data

.....
Assinatura / Identificação do responsável pelo laudo

(O presente modelo de laudo técnico se concentrou na descrição dos principais sistemas sensores que constituem o RPAS. Porém, é desejável que a empresa forneça outras informações técnicas que julgar necessárias para evidenciar sua capacidade técnica. É recomendável que a empresa apresente sua estratégia para a minimização dos erros sistemáticos oriundos dos sistemas sensores. Além disso, a empresa deve realizar uma avaliação posicional de todos os produtos gerados a partir do imageamento com uso de RPAS)

DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Estratégia Nacional de Defesa (END) – Decreto no 6703, de 18DEZ08. Portaria Normativa nº 101/GM-MD, de 26DEZ18.

Manual de Geoinformação (EB20-MC-10.209), 1ª Edição, 2014.

Manual of Photogrammetry, 5th Edition, 2004.

Norma de Execução INCRA/DF/02, de 19FEV18.