



APLICAÇÃO DO DECRETO-LEI 89.817/ET-ADGV NA AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE MAPEAMENTO URBANO EXECUTADO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

Application of Decree-Law 89.817/ET-ADGV in the Evaluation of the Positional Accuracy of Urban Mapping Performed with Remotely Piloted Aircraft

Niel Nascimento Teixeira

Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

URL: <http://www.uesc.br/> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3047-8932>

E-mail: nnteixeira@uesc.br

Dionísio Costa Cruz Júnior

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7148-9710>

E-mail: dionisio.junior@ibge.gov.br

Laíse Araújo Galvão

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIENCIA

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6967-5879>

E-mail: laisegalvao2009@hotmail.com

Trabalho enviado em 18 de abril de 2023 e aceito em 11 de julho de 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



Rev. Dir. Cid., Rio de Janeiro, Vol. 17, N.03., 2025, p. 172-204

Niel Nascimento Teixeira, Dionísio Costa Cruz Júnior e Laíse Araújo Galvão

DOI: 10.12957/rdc.2025.75106 | ISSN 2317-7721

RESUMO

O mercado de Geotecnologias tem observado o crescimento significativo do uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) em mapeamentos topográficos. Dentre os fatores preponderantes para este fenômeno tem-se o aumento da produtividade dos serviços em até 80% e redução de custos. Diante destas vantagens surge um questionamento: Nas aplicações urbanas, onde há necessidade de mapeamento topográfico com acurácia, as RPA podem ser utilizados para produção de Informações Geoespaciais? O objetivo principal deste trabalho é o de responder esta questão avaliando a acurácia posicional de RPA em mapeamento urbano, por meio do método de controle de qualidade cartográfica, estabelecido pelo Decreto-Lei nº 89.817/1984, que é o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) utilizando as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Após a execução do aerolevantamento com RPA na área urbana selecionada, seguido de processamentos fotogramétricos adequados, aplicou-se o Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV nos produtos topográficos gerados, que foram classificados como de Classe C na escala 1:1.000 e equidistância de curvas de nível de 2m. Deste modo, enfatiza-se neste trabalho a importância e necessidade de aplicação deste Decreto-lei no controle de qualidade de produtos topográficos gerados com RPA e os cuidados técnicos necessários para se obter uma melhor classificação.

Palavras-chave: Aeronaves Remotamente Pilotadas; DRONES; VANT; Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV; Mapeamento Topográfico.

ABSTRACT

The Geotechnology market has seen significant growth in the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) in topographic mapping. Among the main factors for this phenomenon, there is an increase in the productivity of services by up to 80% and a reduction in costs. In view of these advantages, a question arises: In urban applications, where there is a need for accurate topographic mapping, can RPA be used to produce Geospatial Information? The main objective of this work is to answer this question by evaluating the positional accuracy of RPA in urban mapping, through the cartographic quality control method, established by Decree-Law nº 89.817/1984, which is the Cartographic Accuracy Standard for Products Digital Cartographic Data (PEC-PCD) using the Technical Specifications for Vector Geospatial Data Acquisition (ET-ADGV). After carrying out the aerial survey with RPA in the selected urban area, followed by adequate photogrammetric processing, Decree-Law 89.817/ET-ADGV was applied to the generated topographic products, which were classified as Class C on a scale of 1:1,000 and equidistance of 2m level curves. Thus, this work emphasizes the importance and necessity of applying this Decree-Law in the quality control of topographic products generated with RPA and the technical care necessary to obtain a better classification.

Keywords: Remotely Piloted Aircraft. DRONES. UAV. Decree-Law 89.817/ET-ADGV. Topographic Mapping.

1. INTRODUÇÃO



Rev. Dir. Cid., Rio de Janeiro, Vol. 17, N.03., 2025, p. 172-204

Niel Nascimento Teixeira, Dionísio Costa Cruz Júnior e Laíse Araújo Galvão

DOI: 10.12957/rdc.2025.75106 | ISSN 2317-7721

O mapeamento urbano tem inúmeras aplicações e propósitos nas atividades humanas, tais como infraestrutura, segurança pública, recursos hídricos, saneamento, estruturas e fundações, planejamento e construções urbanas, arrecadação de impostos municipais, dentre outras.

Para a eficiente elaboração das peças técnicas deste mapeamento, são utilizadas as já consolidadas metodologias, instrumentação e processamento de dados presentes nas Geotecnologias, como por exemplo, imagens de satélites (Sensoriamento Remoto), fotografias aéreas (Aerofotogrametria), estações totais e receptores GNSS (Topografia e Geodésia), Sistemas de Informações Geográficas (Cartografia), e etc.

Porém, em aplicações onde se exige elevada precisão, como é o caso de projeto e execução de obras civis, o mapeamento urbano, tradicionalmente é executado pelas metodologias, instrumentação e processamento presentes na Topografia e Geodésia. Isto ocorre porque estações totais com precisão nominal angular de 2" e linear de $2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$; níveis digitais com precisão nominal de 0,3mm por km duplo de nivelamento e; receptores GNSS com precisões estática horizontal de $3\text{mm} + 0.1\text{ppm}$ e vertical de $3,5\text{mm} + 0.4\text{ppm}$ ou melhor, propiciam mapeamento com um grau de acurácia mais elevado, o que por sua vez, permite a execução e controle de obras civis ao nível do centímetro à poucos milímetros.

Por outro lado, nos últimos anos, o mercado de Geotecnologias tem observado um crescimento significativo do uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA - *Remotely Piloted Aircraft*) em mapeamentos topográficos. Os fatores preponderantes para este fenômeno são:

- a) Aumento de até em torno de 80% da produtividade dos serviços de campo, pois um levantamento topográfico tradicional com estação total que leva em torno 5 horas, com um RPA, o mesmo pode ser feito em 1 hora;
- b) Redução da equipe de campo;
- c) Redução do tempo de processamento dos dados levantados em campo; e
- d) Geração de uma elevada densidade de pontos para multifinalidades;
- e) Redução de custos.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) define como RPA uma aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação (ANAC, 2023). De maneira prática, os RPA's são equipamentos modernos impregnados de elevada tecnologia com grande potencial de uso em diversas áreas. Possuem sistemas embarcados, compostos de acelerômetros, giroscópios, sistema GNSS, câmaras fotográficas, dentre outros recursos, os quais dependem da aplicação a que se destinam.

Nas atividades de mapeamento topográfico são utilizados equipamento RPA de melhor qualidade, sistemas de posicionamento de alta precisão, maior autonomia de voo e câmaras de alta resolução. Após

o processamento do levantamento aerofotogramétrico com RPA, em software fotogramétrico específico, são gerados uma série de produtos que fazem parte da base cartográfica, os quais são: Mosaico de ortofotos (Ortofotomosaico), Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital da Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) e curvas de nível. Atualmente, sob específicas condições óticas e equipamentos de altíssima tecnologia e qualidade, é possível alcançar uma precisão absoluta de até entre 1 cm e 0,7 cm/pixel de GSD (*Ground Sample Distance* – distância de amostra do solo), o que possibilita um elevado nível de detalhamento das feições do terreno.

Diante destas irrefutáveis vantagens, surgem questões que merecem atenção: Nas aplicações de âmbito urbano, onde há necessidade de mapeamento topográfico com elevada acurácia, os RPA's podem ser utilizados como ferramentas para produção de Informações Geoespaciais, especificamente, plantas topográficas planialtimétricas? Os quesitos de alta produtividade e baixos custos são plenamente atendidos, e quanto ao quesito de acurácia posicional planimétrica e altimétrica? E ainda, considerando o RPA utilizado, o tipo e as características do levantamento e as metodologias de processamento é possível quantificar a qualidade das informações métricas produzidas?

Respostas adequadas à estas questões podem ser obtidas quando empregados métodos de controle de qualidade cartográfica para avaliar a precisão e a acurácia dos levantamentos com RPA, que servirão como base de dados para produção de Informações Geoespaciais (TEIXEIRA et al., 2022). A legislação nacional vigente que regulamenta as normas técnicas para a cartografia, por meio do DECRETO Nº 89.817 de 20 de junho de 1984, estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), como um índice que avalia a acurácia de produtos cartográficos (BRASIL, 1984). Em 2010, foram publicadas as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), documento este ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), que pode ser aliado ao Decreto-lei nº 89.817 para uma avaliação mais rigorosa de produtos cartográficos digitais (DSG, 2016; SANTOS et al., 2016; PEDREIRA et al., 2020).

Sendo assim, o principal objetivo deste trabalho, é o de avaliar a acurácia posicional – planimétrica e altimétrica – de uma RPA em mapeamento urbano, por meio do método de controle de qualidade cartográfica, estabelecido pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que é o Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) levando em conta as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) (CONCAR, 2011).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA – RPA



Rev. Dir. Cid., Rio de Janeiro, Vol. 17, N.03., 2025, p. 172-204

Niel Nascimento Teixeira, Dionísio Costa Cruz Júnior e Laíse Araújo Galvão

DOI: 10.12957/rdc.2025.75106 | ISSN 2317-7721

De acordo com Munaretto (2020), RPA é a nomenclatura (na forma original) utilizada pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) e adotada (na forma original ou traduzida – ARP) no Brasil pela ANAC e pelo DCEA. Também adotada a forma RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) e sua tradução SARP (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada).

Conceitualmente, RPA é uma aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação (ANAC, 2023). Ao sistema que inclui, além da aeronave, a estação de controle, e com possibilidade de usar outros subsistemas de lançamento (catapulta, foguete, etc.) e de pouso (paraquedas, rede, cabo, etc.) também são admitidas as formas Sistema ARP (SARP) e a versão inglesa RPAS – *Remotely Piloted Aircraft System* (MUNARETTO, 2020).

No Brasil, a ANAC desenvolveu uma classificação do RPAS e da RPA de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) da RPA da seguinte maneira (ANAC, 2023):

- Classe 1: RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- Classe 2: RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg; e
- Classe 3: RPA com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Os RPA's que atendem às aplicações de mapeamento topográfico em sua maioria são os de Classe 3. É importante salientar que no PMD do RPA devem ser considerados os pesos do equipamento, da bateria ou combustível, e da carga eventualmente transportada.

Outro conceito importante diz respeito à linha de visada (*Line of Sight*), que é uma linha reta visualmente não obstruída, através do espaço entre um transmissor e um receptor. Considerando-se este conceito, há três possibilidade de operação com RPA (ANAC, 2023):

- Operação BVLOS (*Beyond Visual Line-Of-Sight*): Operação na qual o piloto não consegue manter a RPA dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador;
- Operação VLOS (*Visual Line-Of-Sight*): Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com a RPA (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos);
- Operação EVLOS (*Extended Visual Line-Of-Sight*): Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com a RPA com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e de observadores de RPA.

A Figura 1 mostra uma resumo da regulamentação da ANAC para as três classes de RPA's.

Figura 1 – Resumo da regulamentação da ANAC

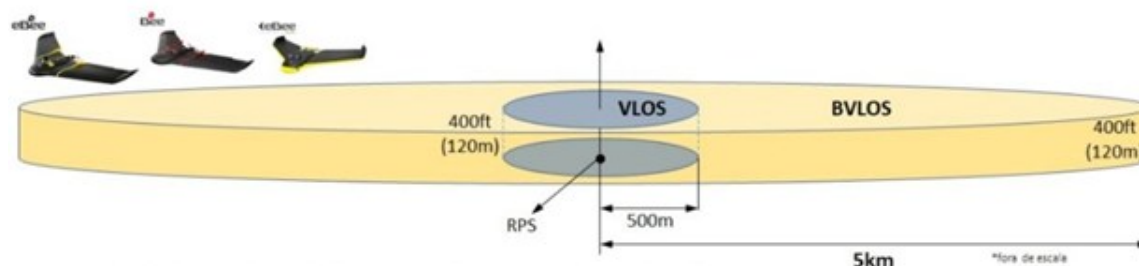
Resumo da Regulamentação da ANAC				
	RPA Classe 1	RPA Classe 2	RPA Classe 3	Aeromodelos
Registro da aeronave?	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim ¹	Sim ¹
Aprovação ou autorização do projeto?	Sim	Sim ²	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés ²	Não
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim	Não
Certificado médico?	Sim	Sim	Não	Não
Licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas para operações acima de 400 pés	Apenas para operações acima de 400 pés
Local de operação	A distância da aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. O limite de 30 metros não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. Esse limite não é aplicável para operações por órgão de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate a vetores de transmissão de doenças, de defesa civil e/ou do corpo de bombeiros, ou operador a serviço de um destes.			

Fonte: ANAC, 2017.

De acordo com a regulamentação RBAC-E N°94 da ANAC, o voo de RPA de até 25 quilos é permitido até 400 pés ou, aproximadamente, 120 metros, desde que ocorra em linha de visada visual, ou seja, ao longo da visão do piloto. Outra regra importante é que o voo seja durante o dia, e que o piloto mantenha contato visual constante com o RPA. Por esta regulamentação, realizando voos VLOS os usuários de qualquer tipo de RPA ficam limitados a voar em um raio de no máximo 500 metros. Para estender o alcance, seria necessário colocar um observador a cada 500 metros do ponto de lançamento, técnica está chamada de EVLOS, ou seja, o VLOS estendido, o que aumenta o custo com equipe de campo.

A RBAC-E N°94, define que para realização de voos BVLOS (além da linha de visada) ou acima de 400 pés em relação ao nível do solo é obrigatório que as RPA's classe 3 (até 25kg) tenham seus projetos aprovados pela ANAC para que possam receber o CAER – Certificado de Aeronavegabilidade Especial RPA. Um cuidado importante a ser tomado também, é que o voo seja realizado a, no mínimo, 5 km de distância de aeroportos. Estas regulamentações estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Regulamentações da ANAC para peso, altura de voo do RPA e distância de aeroportos



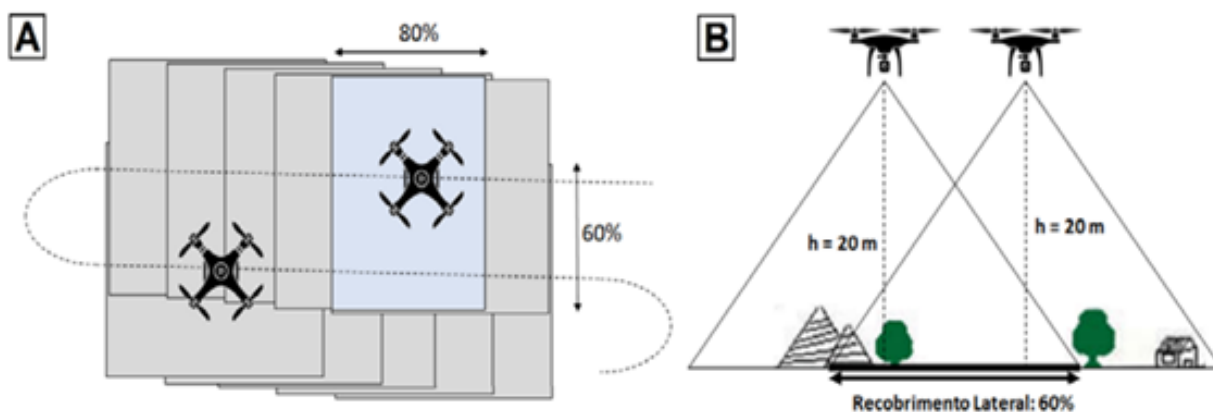
Fonte: DroneShow, 2022

Apesar da regulamentação tardia, o uso dessa tecnologia vem se destacando no Brasil. Os primeiros projetos de RPA no país iniciaram a partir de 1980 (MUNARETTO, 2020). Porém, segundo Moretto et al. (2016), foi na década de 90 que houve maior avanço e desenvolvimento desta tecnologia.

2.1.1. FOTOGRAMETRIA COM RPA

O uso e a aplicação de RPA na aerofotogrametria devem-se, principalmente, à boa resolução espacial e temporal das fotografias aéreas adquiridas, oferecendo grande liberdade ao usuário, pois apresenta alta resolução temporal (SILVA et al., 2022). Para atingir uma boa resolução espacial, os levantamentos por RPA devem ser precedidos de um planejamento de voo ou missão. Criado com base em mapas e informações cartográficas existentes da área a ser mapeada, o plano de voo é traçado em faixas de sobreposição de imagens sequenciais, sendo 60 a 70% lateralmente e 70 a 80% longitudinalmente. Quanto maior a sobreposição aliado à altura de voo ideal, maior será a qualidade na geração do ortofotomosaico, e consequentemente de seus produtos topográficos e cartográficos decorrentes. A Figura 3 apresenta o esquema da linha de voo com as sobreposições laterais e longitudinais.

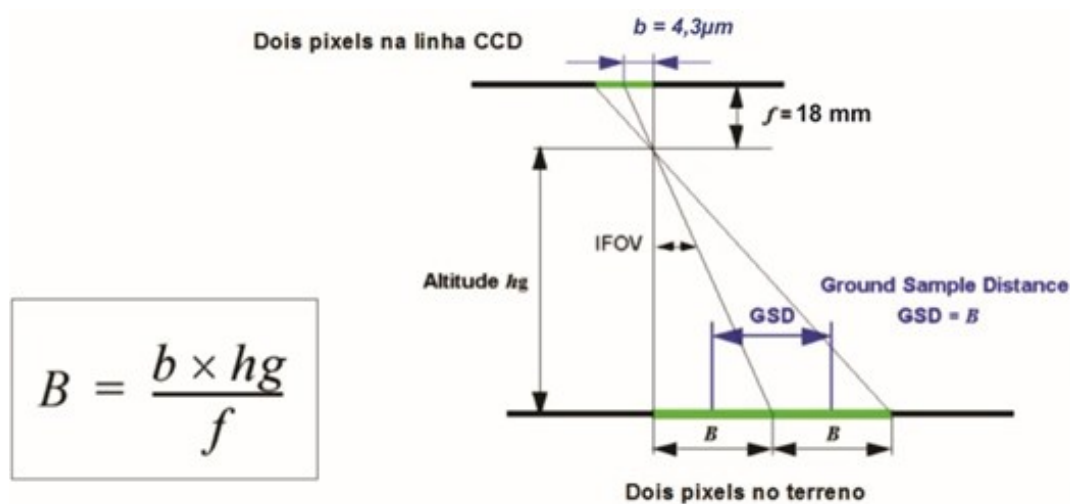
Figura 3 – Sobreposição entre Fotografias



Fonte: Menezes, et al., 2019.

A altura do voo e a qualidade da câmera influenciam na qualidade dos levantamentos aerofotogramétricos, e estão diretamente ligados ao GSD (*Ground Sample Distance*). O GSD é a representação do pixel no terreno, ou seja, é a porção do terreno que um pixel irá capturar e geralmente é representado em centímetros. Pode ser definido também como a resolução da imagem final em *cm/pixel*. A Figura 4 ilustra a relação entre o GSD e altitude de voo.

Figura 4 – Relação entre GSD e altitude de voo



Fonte: Bernardo, 2021

A equação do GSD - representado pelo termo B da Figura 4, em relação à altura de voo, é dada por:

$$B = \frac{b \cdot hg}{f} \quad (2.1)$$

Onde B é o GSD; b é o tamanho do pixel no sensor CCD; hg é a altura se voo e f é a distância focal da lente.

A equação (2.1), juntamente, com a Figura 4 mostram que o tamanho do GSD é inversamente proporcional ao nível de detalhamento, ou seja, quanto maior o GSD, menor é o nível de detalhamento e quanto menor for o GSD, maior será o nível de detalhamento. Deste modo, na fotogrametria com RPA, o GSD é uma das variáveis mais importantes, sendo então, a primeira a ser definida, pois a mesma propicia a resolução espacial do mapeamento, ou seja, o nível de detalhamento. A escolha do GSD influencia diretamente na nitidez do mapeamento e na capacidade do mesmo, pois, para aumentar o nível de detalhamento a altura de voo deve ser menor, com isso cobre-se porções menores do terreno, consequentemente mapeando-se áreas também menores.

Na fotogrametria com RPA são utilizados três sistemas de coordenadas (SILVA et al. 2022):

1. Um sistema externo à câmera (espaço-objeto) que é expresso de maneira convencional por três eixos (X, Y e Z), com unidade de medida em metros (m);
2. Um sistema interno (espaço-imagem), com unidade de medida em *pixel* e origem no canto superior esquerdo da imagem (u,v); e
3. Outro sistema também interno, com medidas em milímetros e origem no centro da imagem (x,y,z), sendo z apontado para o sentido de visualização da imagem.

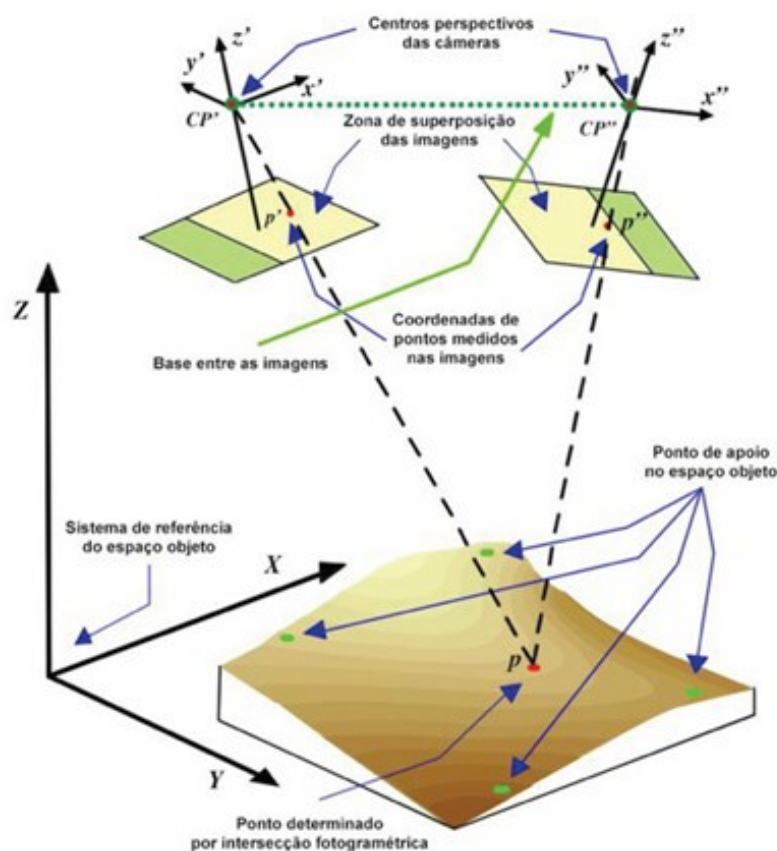
A Tabela 2.1 resume os sistemas de coordenadas aludidos anteriormente, e ilustrados pelas Figuras 5 e 6.

Tabela 2.1 - Resumo dos Sistemas de Coordenadas

Elemento	Espaço-Objeto	Espaço-Imagem Medidas Reais	Espaço-Imagem Medida Digital
Coordenadas	X, Y, Z	x, y, z	u, v
Unidade	m	mm	Pixel
Origem	Referência no objeto	Centro da Imagem	Canto superior esquerdo da imagem

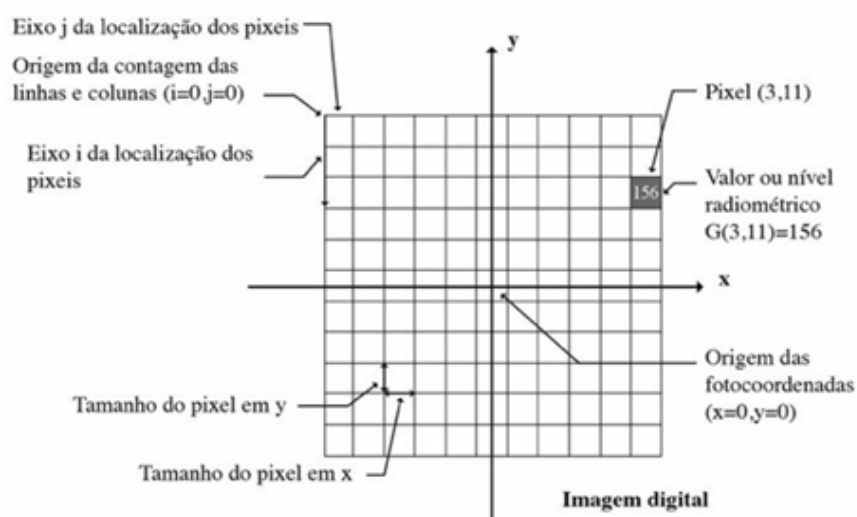
Fonte: Silva et al. 2022.

Figura 5 – Sistema de coordenadas do espaço-objeto



Fonte: UNESP, 2023.

Figura 6 – Sistemas de coordenadas do espaço-imagem



Fonte: Silva et al. 2022.

2.1.1.1. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Os modelos digitais de elevação assim como as ortofotos são os principais produtos cartográficos gerados por levantamentos aerofotogramétricos (PEDREIRA et al., 2020). Um MDE corresponde a um modelo matemático para representar um fenômeno qualquer de forma contínua, seja ela em forma Raster ou Malha. É também uma denominação genérica para modelos digitais altimétricos, sem a preocupação em diferenciar os modelos que representam ou não o solo exposto. Os MDE representam a superfície e outros objetos sobre o terreno (i.e, vegetação, edificações, etc.). Enquanto que o Modelo Digital do Terreno (MDT) é o modelo associado à representação do solo exposto, desconsiderando-se os acidentes encontrados acima do solo, ou seja, apenas a base de edificações, pontes, vegetação, etc. Sendo assim, o MDT leva em consideração apenas as informações da superfície do terreno (JENSEN, 2009).

Os MDE podem ser aplicados em projetos de estradas, gasodutos, linhas de transmissão, mineração, barragens, arqueologia e geologia, planejamento rural e urbano, bem como, no mapeamento e monitoramento ambiental e de áreas de risco. Assim pela sua importância, o controle de qualidade é de grande importância, para os produtos gerados. De acordo com o DSG (2016), para produtos cartográficos digitais, a metodologia de avaliação da acurácia de MDE utiliza análise de tendência e precisão proposta por Merchant (1982). Os dados recebem uma classificação de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), conforme exposto na seção 2.2.

2.1.2. MODELOS DE RPA

Assim, com o intuito de atender todas essas exigências, existe uma grande diversidade de modelo de RPA's no mercado, cuja classificação em função do tipo de plataforma podem ser (MUNARETTO, 2020, p. 120): Asa fixa, multirotores e asa rotativa. Para as atividades de mapeamento topográfico, os RPA's mais utilizados são os de asa fixa e multirotores. Os RPA's multirotores possuem decolagem e pouso vertical. Já os RPA's de asa fixa possuem maior autonomia de voo, porém apresentam maior dificuldade no pouso e decolagem. A escolha da aeronave, os sensores nela embarcados e as características do voo são de fundamental importância para obter uma acurácia geométrica das fotografias. Uma outra forma de elevar as precisões cartográficas em levantamento aerofotogramétrico usando RPA é o uso de pontos de controle, aumentando, assim, a acurácia do levantamento (PEDREIRA et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2022). A Figura 7 ilustra os dois tipos de RPA's supramencionados.

Figura 7 – Modelos de RPA Asa Fixa e Multirotor



Fonte: Santiago & Cintra, 2023.

2.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliação do desempenho do mapeamento executado com o RPA, em termos de acurácia, foram analisadas a existência de tendências e a precisão das coordenadas obtidas por meio deste serviço. A precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto que a acurácia (ou exatidão) está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos (GALO; CAMARGO, 1994). Sendo assim, na análise da acurácia, estes dois aspectos devem ser considerados: a precisão (efeitos aleatórios) e a tendência (efeitos sistemáticos). Para análise de tendências, utiliza-se o teste *t* de student, enquanto a precisão é examinada por meio do teste Qui-Quadrado.

Na sequência serão descritos os procedimentos para a análise de tendência e precisão baseadas em Merchant (1982), e aplicadas por Galo e Camargo (1994).

2.2.1. ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

A análise da acurácia do mapeamento executado com RPA, é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas obtidas por meio do mapeamento com RPA e as coordenadas obtidas com o levantamento topográfico convencional (neste trabalho serão as coordenadas de referência), calculada para cada ponto *i* por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad (2.2)$$

A média e o desvio padrão das discrepâncias amostrais são calculadas por:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2.3)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (2.4)$$

No teste de tendência podem ser avaliadas as seguintes hipóteses:

$$H_0: \overline{\Delta X} = 0; \quad H_1: \overline{\Delta X} \neq 0 \quad (2.5)$$

Onde:

H_0 : corresponde a hipótese básica;

H_1 : corresponde a hipótese alternativa.

Em seguida, calcula-se a estatística amostral t , e verifica-se se a mesma encontra-se dentro do intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese básica. O cálculo da estatística amostral (t_x) é dado por:

$$t_X = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2} \quad (2.6)$$

$$|t_X| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (2.7)$$

Onde:

n : número de amostras;

α : nível de significância.

Se a estatística t amostral não satisfaz a desigualdade, rejeita-se a hipótese básica, ou seja, as coordenadas possuem tendência significativa para um determinado nível de confiança. A detecção de tendência em alguma direção informa a ocorrência de problemas de natureza sistemática.

2.2.2. ANÁLISE DA PRECISÃO



A análise da precisão consiste em verificar, a partir de amostras de discrepâncias, se o valor do desvio-padrão populacional estimado é estatisticamente menor do que um determinado valor limite de precisão pré-estabelecido, ou Erro Padrão (EP) esperado. Neste trabalho, utilizar-se-á como base metodológica, o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), estabelecido através do Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984, que apresenta os critérios para classificação de cartas quanto à sua exatidão e à distribuição de erros nas mesmas, utilizando um indicador estatístico da qualidade posicional denominado de PEC. As Tabelas 2.2 e 2.3 apresentam um resumo dos valores de PEC e EP Planimétrico e Altimétrico, respectivamente, definidos pelo padrão Decreto-lei 89.817/ET-ADGV para as escalas: 1/1.000 à 1/10.000.

Tabela 2.2: Valores do PEC e do EP Planimétrico segundo Decreto-lei 89.817/ET-ADGV

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: DSG, 2016.

Tabela 2.3: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Pontos Cotados e do MDT, MDE e MDS para a Produção de Produtos Cartográficos Digitais Segundo Decreto-lei 89.817/ET-ADGV

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Fonte: DSG, 2016.

Nas Tabelas 2.2 e 2.3 tem-se que (DSG, 2016):

- (1) Valores pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984;
- (2) Produtos Cartográficos Digitais, baseado nos valores utilizados pelo “*Ordinance Survey*” e “*National Joint Utilities Group*” do Reino Unido; e

- (3) Valor calculado levando-se em consideração os erros existentes nos processos de medição de pontos de apoio e de fototriangulação.

Deste modo, seguindo os procedimentos aplicadas por Galo e Camargo (1994), a análise da precisão pode ser feita comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) esperado, que para este trabalho será obtido pela PEC-PCD, para uma determinada classe e escala analisada, conforme observado Nas Tabelas 2.2 e 2.3.

Portanto o teste de hipótese a ser formulado é o seguinte:

$$H_0: S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2, \text{ contra } H_1: S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2 \quad (2.8)$$

O termo $S_{\Delta X}$ corresponde ao desvio-padrão esperado para a coordenada X, que nada mais é do que o Erro Padrão esperado para aquela classe. Considerando que o Erro Padrão é fixado não para uma coordenada, mas para a resultante, considera-se para os testes planimétricos:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}}. \quad (2.9)$$

Uma vez calculada a variância esperada pode-se calcular a seguinte estatística:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (2.10)$$

e verificar se o valor acima calculado está no intervalo de aceitação, ou seja:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2. \quad (2.11)$$

Se a expressão anterior não for obedecida, rejeita-se a hipótese (H_0) de que as coordenadas obtidas por meio do mapeamento com RPA atendam a precisão pré-estabelecida. No caso da análise ser feita, não sobre as componentes, mas sobre as resultantes, a equação (2.9) fica mais simples: $S_{\Delta X} = EP$.

2.2.3. MEDIDA DE ACURÁCIA



De acordo com Monico et al. (2009), a medida de acurácia $\underline{a}$ pode também ser dada como a tendência $\underline{b}$ associada com sua precisão σ_x , ou seja:

$$a = b \pm \sigma_x \quad (2.12)$$

Onde:

σ_x representa a precisão da média amostral, dado por:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.13)$$

Em que:

σ é o desvio padrão populacional conhecido, numa amostra de tamanho n .

Considerando-se na equação (2.3), o valor de $\underline{\Delta X}$ como sendo a tendência calculada a partir das discrepâncias encontradas numa amostra de tamanho n , a medida de acurácia da equação (2.12) é reescrita como:

$$a = \underline{\Delta X} \pm \sigma_x \quad (2.14)$$

Uma outra medida de acurácia proposta por Gauss e apresentada por Mikhail e Ackermann (1976), é denominada de Erro Quadrático Médio (EQM), em inglês “Mean Square Error” (MSE), definida por:

$$MSE = \sigma_p^2 + (b)^2 \cong \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i^2}{n} \quad (2.15)$$

Onde σ_p^2 representa a dispersão das medidas (variância ou incerteza); e b representa a tendência ou vício do estimador.

De acordo com Monico et al. (2009), essa expressão, para amostras grandes, é praticamente igual à média quadrática dos erros (ε), onde ε é a diferença entre um valor observado (ou medido) e o tomado como referência (conhecido).

2.2.3. PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL DO DECRETO-LEI 89.817/ET-ADGV

Em 2016, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou a 2ª edição das Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), vinculada à



Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) criada em 2008 pelo Decreto-lei nº 6.666. Neste documento, a ET-ADGV explica como deve ser a aplicação do Decreto-lei nº. 89.817 e cria uma classe mais restritiva destinadas para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD).

De acordo, então, com este Decreto-lei, para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), e conseqüentemente para a INDE, em uma determinada escala e classe, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), devem ser atendidas duas condições (BRASIL, 1984; SANTOS et al., 2016; DSG, 2016):

- a) Noventa por cento (90%) dos pontos coletados no dado espacial, quando as suas coordenadas forem comparadas com as levantadas em campo, por método de alta precisão, ou levantadas em outro dado espacial de maior acurácia, deverão apresentar os valores de discrepâncias posicionais iguais ou inferiores ao valor da tolerância “PEC” em relação à escala e classe testada;
- b) O RMS (*root mean square*) da amostra de discrepâncias posicionais deve ser igual ou inferior à tolerância “EP” definido pela norma, para a escala e classe testada.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho envolveu duas quadras entre as Ruas Maria de Gois Canaã, Maria dos Anjos e a Rua Ismael, no Município de Uruçuca-BA, totalizando aproximadamente 21.000 m² de área levantada. Realizou-se um levantamento planialtimétrico cadastral, utilizando o método topográfico convencional com poligonal fechada. Para isto, utilizou-se uma Estação Total Nikkon Modelo DTM-320. O processamento dos dados, confecção da planta topográfica com curvas de nível e o Modelo Digital do Terreno – MDT foram realizados nos softwares Datageosis Office e AutoCad, respectivamente. Os resultados e produtos gerados por este levantamento foram considerados como de referência. A Figura 8 mostra a poligonal topográfica fechada envolvendo estas duas quadras.

Figura 8 – Localização da Área de Estudo

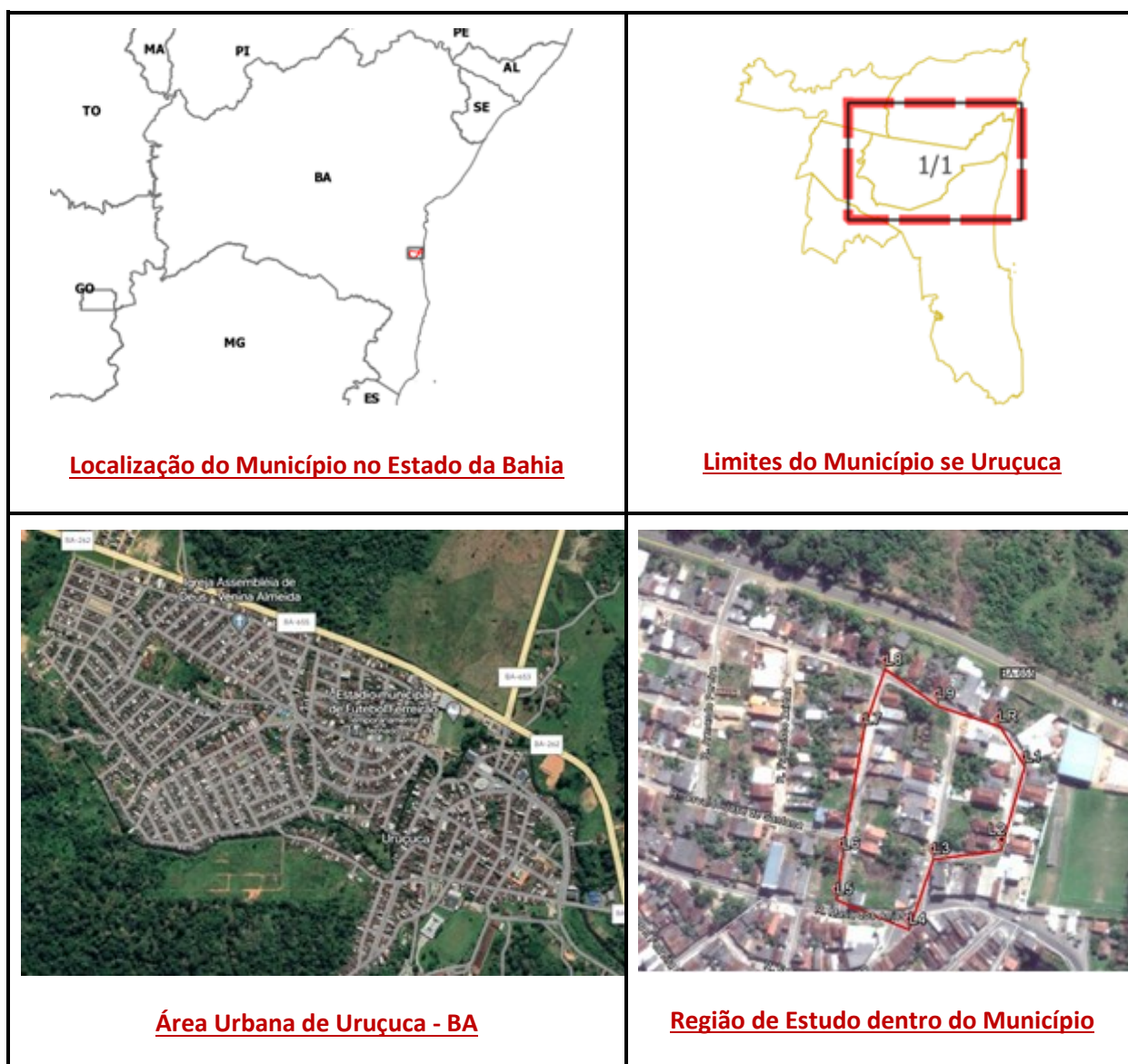


Figura 9 – RPA Modelo Inspire 2



Fonte: Os autores.

O RPA Inspire 2, da DJI, conta com um sistema de processamento de imagem de até 5,2K em Cinema DNG RAW, e capacidade de 0 a 50 mph em apenas 5 segundos, contendo um sistema de bateria dupla autonomia de voo de 27 minutos. Sua câmera modelo Zenmuse X4S, possui resolução de 20 MP e, é montada em um gimbal de 3 eixos, com estabilidade e precisão de $\pm 0,01^\circ$.

O planejamento do voo foi realizado com o software DroneDeploy, onde definiu-se as seguintes característica de voo: GSD de 6,55 cm; altura média de voo de 184m (operação *BVLOS*); taxas de sobreposição lateral e longitudinal, de 60% e 70%, respectivamente; velocidade do voo de 10m/s, dentre outros parâmetros necessários para um planejamento efetivo. A cobertura aerofotogramétrica compreendeu uma área total de 27.300m², um pouco maior, portanto, do que a área de estudo. A área de recobrimento maior que a área de estudo evita possíveis distorções no modelo a ser gerado nas etapas posteriores.

As imagens obtidas no sobrevoo da área foram processadas no software PhotoScan. Utilizou-se 12 Pontos de Apoio – para georreferenciar as imagens, cujas coordenadas tridimensionais de Alta Precisão foram obtidas por meio de um Levantamento GNSS, cujos dados foram processados por meio do Serviço de Pós-Processamento online IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Foram adquiridas durante o voo um total 279 fotografias.

Após o processamento no software Photoscan, gerou-se a planta topográfica com curvas de nível, MDT e o MDE, com cujos resultados analisou-se o desempenho de forma gráfica e analítica do mapeamento topográfico planialmétrico executado com RPA e também classificou-se a carta proveniente do levantamento topográfico com RPA de acordo com o Padrão de Acurácia Posicional do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV, afim de conhecer sua qualidade posicional.

Para isto, utilizou-se o software científico GeoPEC, que possibilita a avaliação da acurácia posicional de acordo com o Decreto nº. 89.817 de 1984, aliada às Especificações Técnicas de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais de 2016 (ET-CQDG) - da INDE, que proporciona a análise da qualidade dos produtos da cartografia nacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ACURÁCIA POSICIONAL PLANIMÉTRICA

4.1.1. COMPARAÇÃO GRÁFICA ENTRE AS PLANTAS GERADAS PELOS DOIS MÉTODOS

Analisando visualmente a sobreposição do levantamento convencional no ortomosaico gerado pelo levantamento com RPA, percebe-se que a delimitação geométrica nas quadras 1 e 2 descreve a mesma forma, assim como os arruamentos. Procedeu-se à sobreposição do levantamento topográfico convencional (LTC) ao ortomosaico gerado pelo levantamento com RPA, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Sobreposição do Levantamento Topográfico Convencional ao Ortomosaico Gerado pelo Levantamento com RPA



Fonte: Os autores.

Observa-se que a delimitação geométrica nas quadras 1 e 2 (LTC) descreve a mesma forma dos arruamentos gerados pelo ortomosaico, mostrando a potencialidade do RPA nas definições de feições e detalhes.

4.1.2. COMPARAÇÃO ANALÍTICA ENTRE AS PLANTAS GERADAS PELOS DOIS MÉTODOS

De posse das plantas topográficas elaboradas por ambos os métodos de levantamentos, realizou-se a análise de área de perímetros que podem ser vistos no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparação Analítica

COMPARATIVO ÁREAS E PERÍMETROS		
Especificação	Quadra 1	Quadra 2
Área no levantamento convencional (m ²)	5.385,43	11.934,25
Área no levantamento com RPA (m ²)	5.457,50	11.878,28
Diferença entre as áreas (m ²)	72,08	55,96
Perímetro no levantamento convencional (m)	301,19	489,81
Perímetro no levantamento com RPA (m)	303,33	489,81
Diferença entre os perímetros (m)	2,14	0,00

Fonte: Os autores.

Por meio do Quadro 1 observa-se que existe discrepância entre as medidas, principalmente entre as áreas das quadras. As principais causas destas diferenças podem ser a presença de sombras em alguns trechos da imagem, que dificulta a interpretação, bem como, algumas residências, cujas coberturas ultrapassam o limite do muro, impedindo a correta definição do perímetro da quadra.

4.1.3 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA PLANIMÉTRICA PELO DECRETO-LEI 89.817/ET-ADGV

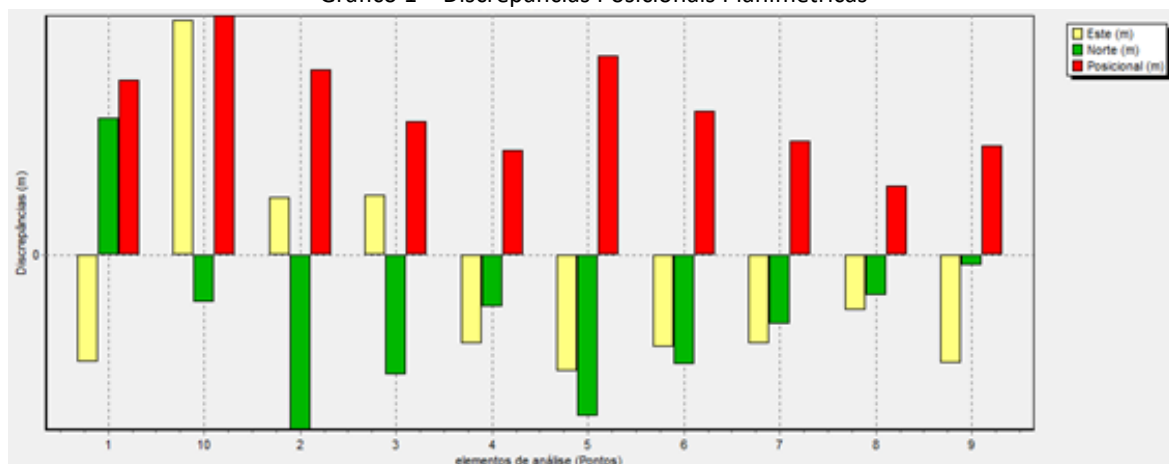
Para avaliação da acurácia planimétrica do mapeamento topográfico realizado com RPA, foram selecionados 10 pontos amostrais. Em seguida, calculou-se as diferenças entre as coordenadas de referência e as coordenadas encontradas na carta em cada ponto, definindo, assim, as discrepâncias para Este (E) e Norte (N), que podem ser vistas no Quadro 2 e no Gráfico 1.

Quadro 2 – Pontos Selecionados para a Avaliação da PEC – PCD

Levantamento Clássico (Campo)			MEDIDAS (Carta)			
Coordenadas de REFERÊNCIA			Coordenadas na CARTA			
ID	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
1	469417,377	8387220,959	469417,062	8387221,360	-0,315	0,402
2	469337,726	8387121,198	469337,895	8387120,685	0,170	-0,514
3	469419,736	8387197,451	469419,909	8387197,101	0,174	-0,350
4	469332,585	8387080,997	469332,323	8387080,843	-0,262	-0,153
5	469308,401	8387061,688	469308,061	8387061,215	-0,340	-0,473
6	469289,917	8387070,615	469289,648	8387070,293	-0,269	-0,322
7	469258,916	8387079,024	469258,654	8387078,820	-0,262	-0,204
8	469276,398	8387206,665	469276,236	8387206,545	-0,162	-0,120
9	469283,732	8387241,721	469283,414	8387241,690	-0,318	-0,030
10	469292,352	8387294,795	469293,038	8387294,657	0,686	-0,138

Fonte: Os autores.

Gráfico 1 – Discrepâncias Posicionais Planimétricas



Fonte: GeoPEC, versão 3.5.2.

Para a componente planimétrica (2D), os dados apresentaram distribuição normal no teste de normalidade de Shapiro-Wilk à um nível de confiança de 95%.

Na tabela 4.1 mostra-se a análise do teste *t* de student, com nível de confiança α de 90%, para verificação da presença de tendências nas coordenadas analisadas.

Tabela 4.1. Análise do Teste *t* de Student

Análise de Tendência	ΔE	ΔN
Média das Discrepâncias (ΔX)	-0,090m	0,190m
Variância ($S_{\Delta X}^2$)	0,111m ²	0,068m ²

Desvio Padrão ($S_{\Delta X}$)	0,334m	0,261m
Estatística Amostral (t_x)	0,853	2,306
$T_{90\%}$ Tabelado	1,833	1,833
Resultado do Teste	Aceita	Rejeita

Fonte: Os autores.

Por meio da Tabela 4.1, observa-se que a hipótese nula (teste t Student) para a componente E foi aceita, enquanto que para N foi rejeitada. Isto indica a existência de tendência – efeitos sistemáticos – no eixo N, que apesar de não comprometer a exatidão, esse resultado mostra que problemas podem ter ocorrido como, por exemplo, falha na calibração do RPA Inspire 2.

Logo em seguida, realizou-se a análise da precisão por meio do teste Qui-Quadrado, ao nível de confiança α de 90%, conforme descrito na seção 2.2.2, cujos resultados podem ser vistos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Análise do Teste Qui-Quadrado na Escala 1/1000

Parâmetros	PEC-PCD Classe C	
	Coord. E	Coord. N
Valor de χ^2_X amostral	7,99	4,89
Estatística $\chi^2_{(n-1; \infty)}$	14,68	14,68
Resultado do Teste: Hipótese H_0 aceita?	Sim	Sim

Fonte: Os autores.

Verifica-se por meio da Tabela 4.2, que foram aceitas as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1/1000 para as componentes E e N, ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe C, escala 1/1000. A estimativa da medida de acurácia pode ser vista na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Resumo das Medidas de Tendência, Precisão e Acurácia

Componente	Tendência (m)	Precisão (m)	Acurácia final (m)
E	-0,090	0,333	-0,090 $\pm$ 0,333

N	-0,190m	0,261	0,190 ± 0,261
Horizontal (E,N)			0,430 ± 0,151
Erro Quadrático Médio (EQM) Horizontal			0,453

Fonte: Os autores.

Observa-se, pela Tabela 4.3, que o Erro Quadrático Médio (EQM) horizontal, que resultou em 0,453m, é menor que é 0,50m, que corresponde ao Erro Padrão Planimétrico (EP) esperado, do PEC-PCD, para Classe C, 1/1000, o que corrobora com os resultados vistos nas Tabelas 4.2 e 4.3. Salienta-se que o EQM é um valor representativo de acurácia, apresentado por Mikhail e Ackermann (1976).

Logo após procedeu-se a avaliação da acurácia posicional planimétrico conforme especificação do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV e descrito no item 2.2.3. Os resultados deste teste podem ser vistos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resultados da Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica de Acordo com o Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV

ITENS/ESTATÍSTICAS	RESULTADO
Média (d_{2D})	0,430m
RMS (d_{2D})	0,453m
Desvio-Padrão (d_{2D})	0,151m
Nº da amostra n	10
Dado Espacial é Tendencioso?	SIM
PEC-PCD (1:1000 – Classe C)	0,80m
EP (1:1000 – Classe C)	0,50m
% discrepâncias < PEC	100
RMS<EP	SIM
Dado Espacial é Preciso? (Atende ao Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV)	SIM
Dado Espacial é Acurado?	NÃO

Por meio da Tabela 4.4 observa-se que o ortofotomosaico gerado pelo levantamento aéreo com RPA, atendeu aos padrões de precisão do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV, o que não ocorreu no processo de análise de tendências. Como a acurácia envolve tanto a precisão (efeitos aleatórios) e a tendência (efeitos sistemáticos), a conclusão final é a de que o ortofotomosaico não é acurada posicionalmente (planimetria) para a escala 1:1.000 e Classe C.

4.1.4. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA ALTIMÉTRICA PELO DECRETO-LEI 89.817/ET-ADGV

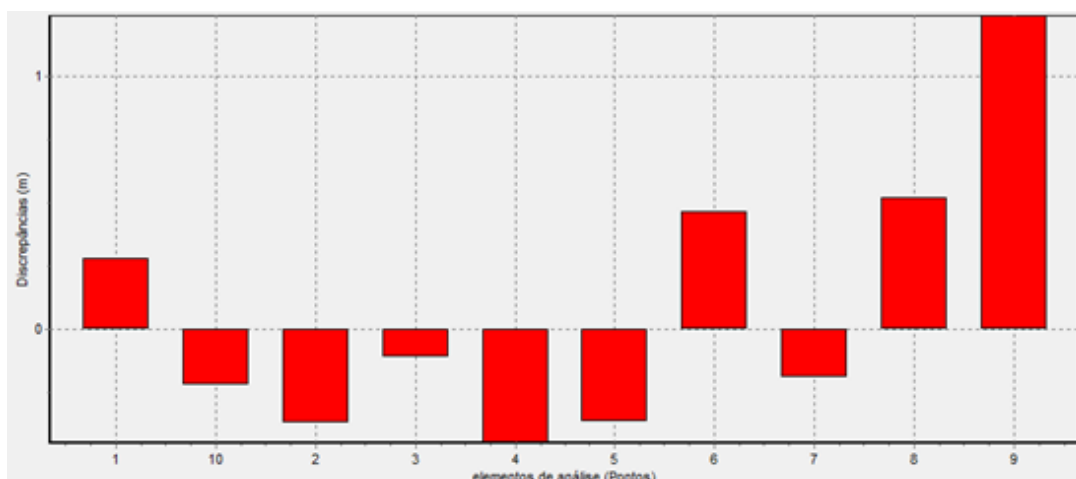
Para avaliação da acurácia altimétrica do mapeamento topográfico realizado com RPA, utilizou-se os mesmos 10 pontos amostrais usados na avaliação anterior. As altitudes usadas para avaliação da acurácia altimétrica foram obtidas do MDE gerado pelo aerolevantamento; enquanto que as altitudes de referência são àquelas provenientes do levantamento de campo híbrido Estação Total/GNSS. Em seguida calculou-se as diferenças entre estas duas altitudes, definindo, assim, as discrepâncias altimétricas (ΔH), que podem ser vistas no Quadro 3 e no Gráfico 2.

Quadro 3 – Pontos Seleccionados para a Avaliação da Acurácia Altimétrica

	Levantamento Clássico (Campo)	MEDIDAS (MDT)	
	Altitudes de REFERÊNCIA	Altitudes MDT	
ID	H (Campo)	H (Carta)	ΔH (m)
1	85,088	85,365	0,277
2	93,149	92,780	-0,369
3	85,759	85,647	-0,112
4	91,716	91,266	-0,450
5	92,789	92,422	-0,367
6	93,661	94,125	0,464
7	92,204	92,012	-0,192
8	96,587	97,105	0,518
9	98,118	99,356	1,238
10	93,222	93,000	-0,222

Fonte: Os autores.

Gráfico 2 – Discrepâncias Posicionais Altimétricas



Fonte: GeoPEC, versão 3.5.2.

Os dados apresentaram distribuição normal no teste de normalidade de Shapiro-Wilk à nível de confiança de 95%.

Na tabela 4.5 mostra-se a análise do teste *t* de student, com nível de confiança α de 90%, para verificação da presença de tendências nas altitudes analisadas.

Tabela 4.5. Análise do Teste *t* de Student

Análise de Tendência	ΔH
Média das Discrepâncias (ΔX)	0,079m
Variância ($S_{\Delta X}^2$)	0,289m ²
Desvio Padrão ($S_{\Delta X}$)	0,538m
Estatística Amostral (t_x)	0,462
T _{90%} Tabelado	1,833
Resultado do Teste	Aceita

Fonte: Os autores.

Por meio da Tabela 4.5, observa-se que a hipótese nula (teste *t* Student) para a componente ΔH foi aceita. Isto indica a inexistência de tendência – efeitos sistemáticos nas altitudes.

Logo em seguida, realizou-se a análise da precisão por meio do teste Qui-Quadrado, ao nível de confiança α de 90%, para avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD altimétrico classe B e

equidistância das curvas de nível de 2m, conforme descrito na seção 2.2.2, cujos resultados podem ser vistos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Análise do Teste Qui-Quadrado Altimétrico – Eq. de 2m

Parâmetros	PEC-PCD Classe B
	Altitude (H)
Valor de χ^2_X amostral	5,86
Estatística $\chi^2_{(n-1; \infty)}$	14,68
Resultado do Teste: Hipótese H_0 aceita?	Sim

Fonte: Os autores.

Verifica-se por meio da Tabela 4.6, que foram aceitas as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) para a componente H, ou seja, a altimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD Classe B e equidistância das curvas de nível de 2m. A estimativa da medida de acurácia pode ser vista na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Resumo das Medidas de Tendência, Precisão e Acurácia

Componente	Tendência (m)	Precisão (m)	Acurácia final (m)
E	0,079	0,538	0,079 ± 0,538
Erro Quadrático Médio (EQM) Altimétrico			0,516

Fonte: Os autores.

Observa-se, pela Tabela 4.7, que o Erro Quadrático Médio (EQM) altimétrico, que resultou em 0,516m, é menor que 0,6667m, que corresponde ao Erro Padrão altimétrico (EP) esperado, do PEC-PCD, para Classe B e equidistância das curvas de nível de 2m, o que corrobora com os resultados vistos nas Tabelas 4.6 e 4.7.

Logo após procedeu-se a avaliação da acurácia posicional altimétrico conforme especificação do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV e descrito no item 2.2.3. Os resultados deste teste podem ser vistos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Resultados da Avaliação da Acurácia Posicional Altimétrico de Acordo com o Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV

ITENS/ESTATÍSTICAS	RESULTADO
Média (d_{2D})	0,079m
RMS (d_{2D})	0,516m
Desvio-Padrão (d_{2D})	0,538m
Nº da amostra n	10
Dado Espacial é Tendencioso?	NÃO
PEC-PCD (Classe B, Eq. 2m)	1,00m
EP (Classe B, Eq. 2m)	0,6667m
% discrepâncias < PEC	90
RMS<EP	SIM
Dado Espacial é Preciso? (Atende ao Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV)	SIM
Dado Espacial é Acurado?	SIM

Fonte: Os autores.

Por meio da Tabela 4.8 observa-se que o MDE gerado pelo levantamento aéreo com RPA, atendeu aos padrões de precisão e tendência do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV. Como a acurácia envolve tanto a precisão (efeitos aleatórios) e a tendência (efeitos sistemáticos), a conclusão final é a de que o MDE é acurado posicionalmente em termos de altimetria, para Classe B e equidistância das curvas de nível de 2m.

4.1.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a avaliação da acurácia posicional do mapeamento urbano executado com RPA neste trabalho, realizado de acordo com o Decreto nº. 89.817 de 1984, aliada às Especificações Técnicas de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais de 2016 (ET-CQDG) - da INDE, que proporciona a análise da qualidade dos produtos da cartografia nacional, chegou-se aos seguintes resultados:

- Produto cartográfico, em planimetria, classificado como preciso para a Classe C na escala de 1/1000, porém sem acurácia;



- Produto cartográfico, em altimetria, classificado como acurado para a Classe B e equidistância das curvas de nível de 2m.

Nos testes de tendências realizados nos dados de planimetria foram detectados efeitos sistemáticos e, classificação do produto cartográfico em classe cujo EP esperado é de 0,50m, o que remete à impossibilidade de utilização deste produto para atividades urbanas que requeiram acurácia, como é o caso, de planejamento, projeto e execução de obras civis, onde exige-se acurácia de poucos centímetros à milímetros. Esta inferência é confirmada pela magnitude encontrada no Erro Médio Quadrático planimétrico de 0,453m, o qual é um valor representativo de acurácia final do produto cartográfico, proposto por Mikhail e Ackermann (1976). Entretanto, este produto pode ser utilizado para finalidades em que a tolerância para erros seja maior.

Estas análises são plenamente confirmadas pelos resultados obtidos na avaliação da acurácia posicional altimétrica. Embora, os testes de tendência não tenham detectado efeitos sistemáticos nos seus dados, o MDE foi classificado como acurado somente para a Classe B e equidistância das curvas de nível de 2m, onde o EP é de 0,67, não sendo – portanto, recomendado para atividades que requeiram acurácia em altimetria, como por exemplo, projetos de drenagem urbana. O Erro Médio Quadrático altimétrico de 0,516m encontrado para este produto cartográfico, reforça esta conclusão.

Deste modo, afim de se obter uma melhor classificação do produto cartográfico – segundo Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV – elaborado por meio de aerolevantamento com RPA, deve-se executar a fase inicial de planejamento de voo com extrema cautela, dimensionando cuidadosamente com vistas à aplicação almejada os parâmetros de: GSD, altura média de voo, taxas de sobreposição lateral e longitudinal, velocidade de voo, Pontos de Controle, dentre outros parâmetros necessários não somente para um planejamento efetivo, como também, para minimização de erros e o devido aumento da qualidade do aerolevantamento.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o de analisar a acurácia posicional de mapeamento urbano executado com Aeronave Remotamente Pilotada de acordo com o Decreto nº. 89.817 de 1984, aliada às Especificações Técnicas de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais de 2016 (ET- ADGV) - da INDE, que proporciona a análise da qualidade dos produtos da cartografia nacional. Utilizou-se como referência, para este propósito, uma técnica já consolidada dentro da topografia convencional, que é o levantamento topográfico híbrido com Estação Total e receptor GNSS. Este objetivo foi alcançado por meio dos levantamentos realizados por ambas as metodologias, a partir dos quais foram geradas plantas



topográficas, MDT's e MDE, entre outros produtos, que propiciaram análises qualitativas e quantitativas do mapeamento topográfico com RPA.

Os dados numéricos extraídos deste experimento foram submetidos à análises de acurácia posicional, tendo como base o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), utilizando duas metodologias. Na primeira, considerou-se a junção de precisão (Teste Qui-Quadrado) com teste de Tendência de Merchant (1982); na segunda, considerou-se a junção das condições do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV com testes de tendências. Ambas as metodologias se mostraram totalmente consistentes pois apontaram para as mesmas conclusões finais a respeito da acurácia posicional do mapeamento urbano executado com RPA neste trabalho.

O teste de acurácia posicional realizado para o mapeamento topográfico planimétrico com RPA atendeu aos requisitos do PEC-PCD para a classe e escala testada, ou seja, as componentes E e N, representantes da planimetria, atingiram um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe C, escala 1/1000, muito embora tenha se observado a ocorrência de efeito sistemático na componente N. Outra observação digna de nota é que o EQM deste experimento resultou inferior ao Erro Padrão Planimétrico (EP) esperado, do PEC-PCD, para a classe e escala testada, mostrando a consistência da classificação dos produtos cartográficos elaborados neste trabalho. Porém, como detectou-se tendência na componente N, e tendo em vista que a acurácia envolve tanto a precisão (efeitos aleatórios) e a tendência (efeitos sistemáticos), a conclusão final é a de que o ortofotomosaico não possui acurácia posicional planimétrica para a escala 1:1.000.

Para a componente altimétrica, o teste de acurácia posicional atendeu aos requisitos do PEC-PCD para a Classe e equidistância de curvas de nível testada, atingindo um Padrão de Exatidão Cartográfico PEC-PCD classe B e equidistância das curvas de nível de 2m. Não houve ocorrência de efeito sistemático nesta componente, remetendo à conclusão final de que o MDE gerado neste mapeamento urbano com RPA é acurado para a equidistância das curvas de nível de 2m.

Infere-se também que, quanto maior a escala da planta topográfica, maior também será o nível de detalhamento da mesma, que poderá também acarretar numa maior acurácia, o que, definitivamente, são elementos imprescindíveis num produto topográfico para fins de utilização em atividades de engenharia, como por exemplo, o projeto, execução e acompanhamento de obras civis. Neste trabalho, não foi possível a geração de produtos cartográficos que atendessem aos requisitos do Decreto-Lei 89.817/ET-ADGV para uma Classe planimétrica e altimétrica superior, devido, aos parâmetros definidas para o aerolevanteamento. A altitude de voo do RPA, que foi de 184m deve ser menor, principalmente para se atender a RBAC-E nº94 da ANAC, que define operação de voos VLOS, a não ser que se tenha um CAER do projeto de aerolevanteamento; é recomendável que a sobreposição lateral e longitudinal seja

maior, preferencialmente de 80%, para ambas, o que aumentará o número de feições que podem ser combinadas nas imagens pelo algoritmo da *Structure from Motion*; realização de mais de um voo, cada um em uma altura diferente e cada voo em ângulo diferente, o que aumentará a qualidade do Ortofotomosaico, MDT e MDE, propiciando maior acurácia posicional.

6. REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, A. P; GOMES, L.N. Acurácia de pontos de projeção cartográfica de ortofotos obtidas com aeronave remotamente pilotada (RPA). **Revista GEOGRAFARES**, v. 34, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/geo.v1i34.36298>

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC-E nº94. Emenda N. 00** [On Line]. 2017. Disponível em: https://www.defesa.gov.br/arquivos/cartografia/dica/legislacao/rbac_e_94_anac_02_05_2017.pdf. 2017. Acesso em: 26 mar. 2023.

ANAC. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC-E nº94. Emenda N. 03**. Requisitos Gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil [On Line]. 2023 Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-03>. Acesso em: 16 abr. 2023.

BERNARDO, M. E. C. **APLICAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (DRONE) EM ENGENHARIA CIVIL: Levantamento Bibliográfico e Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia - Universidade Federal do Amazonas. 69p. Manaus, 2021.

BRASIL. 1984. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas Da Cartografia Nacional**. Brasil. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm.

CARBON HAWK. **Nossos drones**. Disponível em: <http://www.carbonhawk.co.uk/our-drones/> Acesso em: 27 de out. 2017.

CONCAR; EXÉRCITO BRASILEIRO – CONCAR-EB. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. 2.ed. Brasil, 2011.

DRONESHOW. VANT eBee é o primeiro certificado pela ANAC para voos BVLOS. Disponível em: <https://droneshowla.com/vant-ebec-e-o-primeiro-certificado-pela-anac-para-voos-bvlos/>. Acesso em: 04 out. 2022.

DSG. **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (EB80-N-72.003)**. 2ª Edição. Brasil. 2016.

EISENBEISS, HENRI. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and imageacquisition. International Workshop on "**Processing and visualization using high-resolution imagery**". Pitsanulok, Thailand. Nov. 2004. Disponível em: 28 mar. 2018.

GALO, M.; CAMARGO, P.O. Utilização do GPS no controle da qualidade de carta. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, p. 41-48, 1994.

GALVÃO, G., M. **Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. 2014. ix, 39 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Agronomia) -



Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/119194>. Acesso em: 28 out. 2017.

HORUS AERONAVES. Aerofotogrametria com Drone: Conceitos Básicos. Florianópolis, : **Horus Aeronaves**, 2016. Disponível em: <http://maptor.horusaeronaves.com/ebook-aerofotogrametria>. Acesso em: 28 abr. 2017.

IBGE. **Modelo de Ondulação Geoidal**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm. Acesso em: 6 mar. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Sciennce) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspective.

MENEZES, L. S.; SANTOS, M. R. R.; SENRA, A. S. Fotointerpretação Obtida por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) Aplicada em Mapeamento Litoestrutural de Escala 1:800, Afloramento do Domínio Macururé, Município de Capela – SE. **Revista Geociências**, UNESP – São Paulo, v. 38, n. 2, p. 483 - 493, 2019.

MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In.: **Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping** (1), 222-231, 1982.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 1976. 497 p.

MONICO, J. F. G; DAL POZ, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **ACURÁCIA E PRECISÃO: REVENDO OS CONCEITOS DE FORMA ACURADA**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Comunicações, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 469-483, jul-set, 2009.

MORETTO, M. A.; LAJÚS, C. R.; DA LUZ, G. L.; PEDRUZZI, D. R.. Prospecção de Patentes Relacionadas ao Uso de Aeronave Remotamente Pilotada como Inserção Tecnológica Aplicada em Agricultura de Precisão. **Revista Sodebras [on line]**. v.11, n. 129, Set./2016, p. 97-103. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N129.pdf>>. 12 mar. 2018.

MUNARETTO, L. **Vant e drones: a aeronáutica ao alcance de todos**. _3.ed. São Paulo: Edição do autor, 182p. 2020.

PEDREIRA, W. J. P.; OLIVEIRA, J. A.; SANTOS, P. S. Avaliação da acurácia altimétrica usando a tecnologia VANT. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 73, Mar/2020. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217348071>

SANTIAGO & CINTRA. Soluções para Lasers e Mapeamento Móvel. Disponível em: <https://santiagocintra.com.br/solucoes/lasers-e-mapeamento-movel/> . Acesso em: 16 abr. 2023.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; JUNIOR, J. G. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 22, n. 4, p.630-650, out - dez, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400036>

SILVA, C. F.; TEIXEIRA, N. N. Modelo de Ondulação Geoidal MAPGEO2015: Análise da Viabilidade de sua Utilização na Determinação de Altitudes Ortométricas do Estado da Bahia. SODEBRÁS. **Revista Sodebras [on line]**. v.15, n. 179, Set./2020, p. 82-91. ISSN 1809-3957. Disponível em: < <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.179.82> >.



SILVA, L. S.; ZANONI, V. A. G.; PAZOS, V. C.; SANTOS, L. M. A.; JUCÁ, T. R. P. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D**. Editora Universidade de Brasília, 78p. 2022.

TEIXEIRA, N. N.; JUNIOR, D. C. C. GALVÃO, L. A. (2022). Análise do Desempenho de Mapeamento Topográfico Planimétrico Executado com Aeronave Remotamente Pilotada - RPA. **SODEBRÁS**, v. 17, p. 45-57, 2022. DOI: <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.204.45> .

UNESP, Disponível em <http://www.unesp.br/prope/projtecn/Outras/Outras01a.htm> Acesso em: 16 abr. 2023.

Sobre os autores:

Niel Nascimento Teixeira

Engenheiro Agrimensor e Doutor em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná. Atualmente é Professor Titular-Pleno da Universidade Estadual de Santa Cruz e, realiza estágio de Pós-Doutoramento na Universidade Federal do Sul da Bahia, na área de Fotogrametria e Geodésia Espacial. É integrante do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - BASis (Avaliador Institucional e de Cursos de Graduação). É Líder do grupo de Pesquisa: Posicionamento Geodésico. Tem experiência na área de Engenharia de Agrimensura, com ênfase em Topografia, Geodésia, Ajustamento de Observações, Georreferenciamento de Imóveis Rurais, Técnicas Espaciais de Posicionamento (GNSS), Cartografia, Projeto de Rodovias e Engenharia de Avaliações e Perícias Judiciais. Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC
URL: <http://www.uesc.br/> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3047-8932>
E-mail: nnteixeira@uesc.br

Dionísio Costa Cruz Júnior

Doutorando em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia, mestre em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia - IME (2002), especialista em Análise, Projeto e Gerência de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio (2004) e graduado em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2000). Atualmente é Analista de Planejamento, Gestão e Infraestrutura em Informações Geográficas e Estatísticas do IBGE (Salvador-Ba), Professor Assistente da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Professor a nível de Graduação e Coordenador de Pós-graduação da Faculdade Escola de Engenharia de Agrimensura (FEEA-Salvador). Atua nas seguintes áreas: Sistema de Informações Geográficas, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Banco de Dados, Topografia e Geodésia. Tem experiência nos setores de Telecomunicação, Agricultura de Precisão, Geração e Transmissão de Energia, Petróleo e Gás. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7148-9710>
E-mail: dionisio.junior@ibge.gov.br

Laíse Araújo Galvão

Possui graduação em ENGENHARIA CIVIL pela FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIENCIA e atua no setor privado.
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIENCIA
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6967-5879>
E-mail: laiegalvao2009@hotmail.com

