

Georreferenciamento de imóveis rurais com ARP (aeronaves remotamente pilotadas): avaliação da aplicação da norma de execução nº 02 de 2018 e o manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais de 2022 – 2ª edição do INCRA

RESUMO

Glauber Marcos de Oliveira

glauberdeoliveira@yahoo.com.br

orcid.org/0009-0006-0525-1863

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Leonardo Franklin de Carvalho

leogeografia@gmail.com

orcid.org/0009-0006-7995-9899

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Marcelo Antonio Nero

marcelo-nero@ufmg.br

orcid.org/0000-0003-2124-5018

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

O georreferenciamento de imóveis rurais desempenha um papel fundamental na regularização fundiária e no planejamento territorial, permitindo uma gestão mais eficaz das áreas rurais. Este artigo tem como objetivo analisar a aplicação da Norma de Execução nº 02 de 2018 e o Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais de 12 de dezembro de 2022 - MTGIR 2ª Edição do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2022), no processo de georreferenciamento de imóveis rurais, com foco na utilização da aerofotogrametria como técnica de coleta de dados espaciais e na qualidade dos pontos de amostragem por meio do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). No levantamento topográfico tradicional para a determinação dos vértices que delimitam propriedades rurais, uma parcela expressiva do tempo é consumida no deslocamento e acesso aos pontos a serem identificados. No entanto, com o advento do levantamento aerofotogramétrico com a utilização de drones, houve uma minimização notável do tempo de execução do serviço, bem como redução dos custos. Isso se deve ao fato de que a coleta de dados é realizada de forma indireta e requer uma equipe de trabalho consideravelmente menor em comparação com a topografia tradicional. Este estudo teve como objetivo realizar um aerolevanteamento em uma propriedade rural, utilizando RPA (*Remotely Piloted Aircraft* e em português Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP) e GNSS/RTK (*Global Navigation Satellite System/Real Time Kinematic* - Sistema de Satélites de Navegação Global/Cinemático em Tempo Real). A distribuição dos dados submetidos aos testes estatísticos evidenciou a normalidade da distribuição e a não tendência dos dados. Os resultados indicaram discrepâncias posicionais dentro dos padrões estabelecidos pelo manual, com uma média de 0,05 cm, a maior discrepância registrada de 0,11 cm e a menor de 0,02 cm. Conforme o Decreto 89.817 (Brasil, 1984) que estipula uma tolerância de até 50 cm para vértices com feições artificiais na escala de 1:1.000, o desvio padrão foi de apenas 0,0342 cm, e o RMS apresentou valores de 0,061 cm, atendendo-se plenamente a norma vigente.

PALAVRAS-CHAVE: INCRA. Levantamento Aerofotogramétrico. Acurácia posicional. Georreferenciamento de Imóveis Rurais.

INTRODUÇÃO

O georreferenciamento de imóveis rurais é um procedimento técnico essencial para a determinação com boa acurácia (sem erro sistemático e com boa precisão compatível ao erro padrão exigido) dos limites de propriedades, sua localização e o registro adequado no Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR). Dessa maneira, a checagem da qualidade dos dados espaciais desempenha um papel fundamental no contexto do SNCR, para a obtenção do Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR). Este certificado é um documento de extrema importância, sendo indispensável para a realização de diversas ações, tais como o desmembramento, a locação, a hipoteca, a venda ou a promessa de venda de imóveis rurais. Tais assuntos são especificados com detalhe na Norma de Execução nº 02 e a recente atualização da 2ª Edição do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2018, 2022).

Devido à exponencial adesão das novas tecnologias para levantamentos de dados, tais como a utilização dos RPA (*Remotely Piloted Aircraft* e em português Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP), bem como *drones* e VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), pode ser comprovado em diversos trabalhos, na disseminação e na popularização dessa tecnologia, a exemplo do que é destacado em vários trabalhos publicados recentemente, tais como em Alshahrani (2024), Barr et al. (2024), Buchelt et al. (2024), Mishra et al. (2024), Alheeti et al. (2023), Guimarães et al. (2023), Salim et al. (2023), Shan et al. (2023), Silva et al. (2022), Barbosa et al. (2021), Lima et al. (2020), por exemplo. Além disso, os sucessivos avanços na regulamentação dos padrões de qualidade para produtos cartográficos, iniciado com a promulgação do Decreto nº 89.817, datado de 20 de junho de 1984 (Brasil, 1984), um marco significativo ao estabelecer critérios para a classificação de cartas analógicas, levando em consideração sua exatidão e a distribuição de erros ao longo das mesmas, todavia houve a necessidade de atualização de normas e manuais técnicos acerca deste tema. Este decreto elaborou um indicador estatístico da qualidade posicional, conhecido como PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). Na época, o propósito principal era garantir a exatidão cartográfica dos produtos, considerando as particularidades específicas de cada escala. No entanto, para os produtos digitais existe a normativa da CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia), a qual trata do PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos da Cartografia Digital) publicado pelo Ministério da Defesa (2016). No Brasil, o aerolevanteamento é regulamentado pelos Decretos-Lei nº 1.177 de 1971, nº 2.278 de 1997 (Brasil, 1997), e pela Portaria 953 de 2014 do Ministério da Defesa (Brasil, 2014). Esta tecnologia tem se mostrado valiosa para a maioria dos projetos que demandam informações atualizadas de pequenas e médias propriedades, oferecendo um produto de melhor resolução espacial com custos reduzidos (Jorge et al, 2014). Com a crescente demanda dos usuários e a disseminação do conhecimento para o cadastro de imóveis rurais, por meio da aerofotogrametria, o INCRA (2018) criou a Norma de Execução nº 02 com o artigo 5º, o qual é voltado para a avaliação da acurácia posicional do levantamento aerofotogramétrico. Em dezembro de 2022 ocorreu a atualização da 2ª Edição do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2022), a qual incorporou novas tecnologias e procedimentos ao levantamento aerofotogramétrico. Em termos de aplicações dentro da temática da presente pesquisa podem ser enumerados os seguintes trabalhos com referência adicional a esse artigo: 1) Fontes (2018), aborda todo o

trâmite da certificação de imóveis rurais gerado pelo INCRA/SIGEF (Sistema de Gestão Fundiária do INCRA), tratando de todas as etapas desde a coleta dos dados, a hierarquia das leis, a inserção dos dados espaciais no INCRA, até o registro documental do imóvel, bem como a atualização da base de dados no sistema nacional; 2) Barbosa et al. (2021) Avaliação da acurácia posicional planimétrica de uma ortofoto gerada através de uma plataforma VANT, considerando a influência do tamanho amostral na normativa do INCRA.

Diante da variedade de métodos e instrumentos disponíveis na atualidade, um ponto importante é sobre a definição de qual o método de coleta é o mais adequado. Os métodos de levantamentos tradicionais como o levantamento topográfico convencional com o emprego da estação total, do GNSS no modo de levantamento RTK - Real-Time Kinematic - (este último abordado com aplicações em georreferenciamento de imóveis rurais em Michels et al., 2021), que embora atinjam erros amostrais em escala milimétrica, se mostram, muitas vezes mais demorados e dispendiosos quando comparados à agilidade e à consequente redução de custos do levantamento aerofotogramétrico com *drones* para o georreferenciamento de imóveis rurais. Logo, fica a cargo do profissional a definição do melhor método a se utilizar, prezando pela qualidade dos dados e a necessidade específica de cada projeto.

Para esse objetivo a Norma de Execução 02 de 2018 do INCRA (2018) definiu diretrizes específicas para o processo de georreferenciamento, por meio de aerofotogrametria, enfatizando a importância de dados precisos.

O Art. 5º estabelece que ao se utilizar aerofotogrametria, para fins de georreferenciamento de imóveis rurais, deverá ser realizada a avaliação da acurácia posicional absoluta, obedecendo aos seguintes critérios:

- I. Utilização de no mínimo vinte pontos de checagem/verificação, os quais deverão ser devidamente sinalizados/identificados em campo;
- II. Teste estatístico que comprove a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de confiança de 95%, utilizando o método de Shapiro-Wilk;
- III. Teste de tendência ao nível de 90%, utilizando-se o teste t-Student, que comprove a não tendenciosidade;
- IV. 100% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à precisão posicional correspondente a cada tipo de limite.

Portanto os dados necessitam ser submetidos a testes de normalidade e tendenciosidade, bem como de discrepâncias posicionais. Conforme Santos et al. (2016): *“A avaliação por meio da discrepância posicional, se faz por meio de checagem dos pontos das coordenadas homólogas de referência obtidas em campo ou em um dado espacial com maior acurácia, no intuito de avaliar a qualidade dos dados por meio de teste estatístico”*.

Com a atualização do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2022), 2ª Edição, em dezembro de 2022, no item 3.41. Posicionamento por Aerofotogrametria – foram adicionados novos critérios para o GSD (*Ground Sample Distance*), proporcionalidade da área nos pontos de checagem/verificação, classe do PEC, pontos de controle e RMS (*Root Mean Square*), a saber.

1) Para o posicionamento com dados obtidos por aerofotogrametria deverá ser realizada a avaliação da acurácia posicional absoluta, obedecendo aos seguintes critérios:

- a) O GSD deverá ser compatível com a feição a ser identificada, devendo ser respeitada a precisão do tipo de limite a ser representado;
- b) Utilização de pontos de checagem/verificação, respeitando a proporcionalidade da área, geometria e relevo, objetivando atendimento ao PEC/PCD, conforme Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais ET-ADGV, ambos da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército;
- c) A classe resultante do cálculo do PEC deverá estar adequada à precisão exigida para o tipo de limite que se deseja representar;
- d) Caso se utilizem pontos de controle, estes não deverão ser utilizados como pontos de checagem;
- e) Para os vértices cujas coordenadas forem determinadas por aerofotogrametria, os valores de precisão posicional serão os valores de RMS obtidos no processo de avaliação da acurácia posicional.

O item 1.4.4 complementa com os valores da precisão posicional a serem considerados para os vértices da propriedade, são eles:

- a) Para vértices situados em limites artificiais: melhor ou igual a 0,50 m;
- b) Para vértices situados em limites naturais: melhor ou igual a 3,00 m; e
- c) Para vértices situados em limites inacessíveis: melhor ou igual a 7,50 m.

2) A tolerância admitida será de no máximo três vezes o valor da precisão para o tipo de limite, entre os valores de coordenadas de um ou mais vértices da parcela certificada em relação ao valor apurado por outro credenciado.

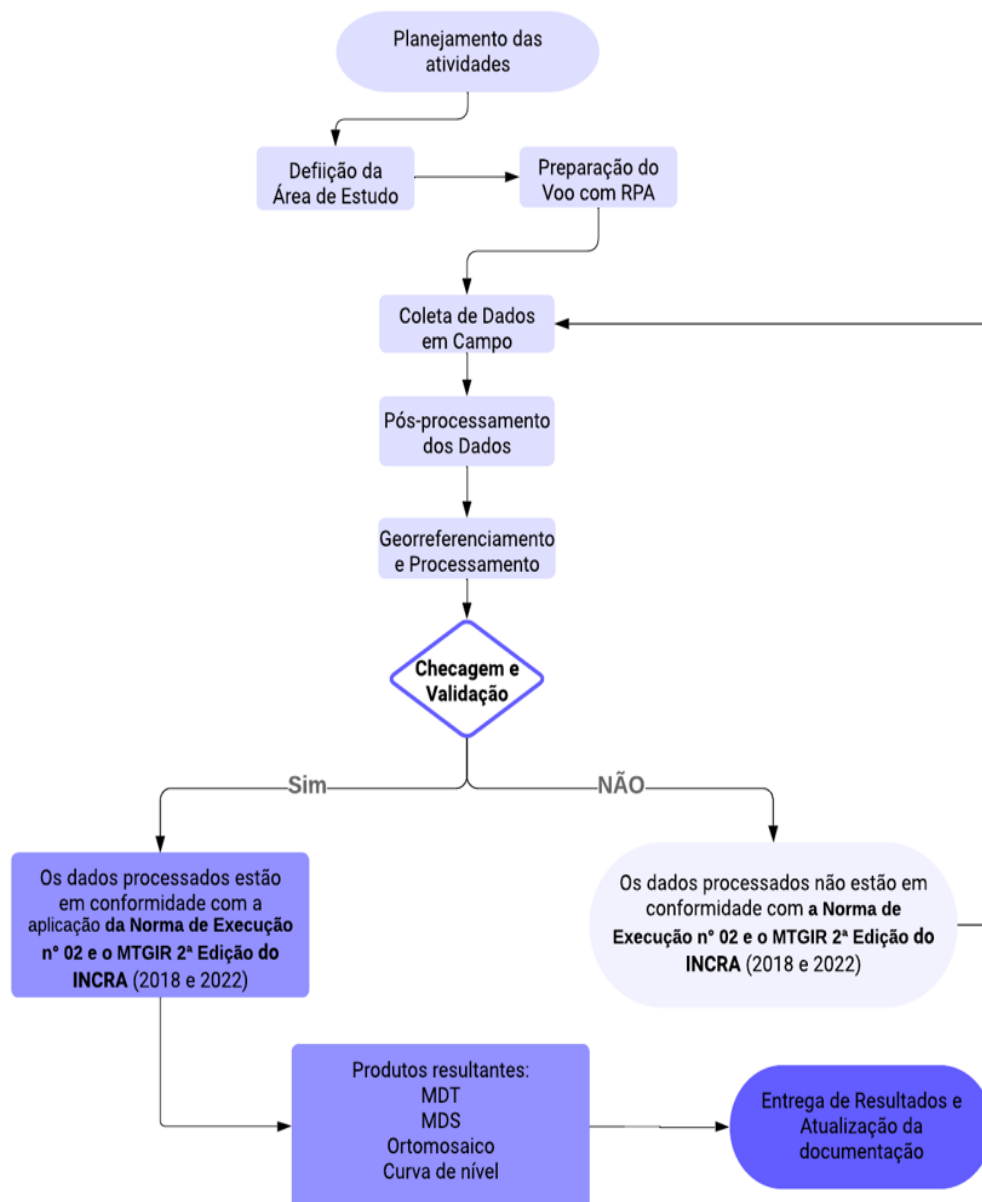
Com o objetivo de checar os parâmetros da qualidade da avaliação conforme a Norma de Execução nº 02 de 2018 e a 2ª Edição do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais de 2022, este estudo realizou um aerolevantamento com uso de *drone* multirrotor com apoio do sistema de correção RTK (Real-Time Kinematic) – Base/ Rover para definição dos vértices da propriedade, além do processamento e avaliação dos resultados por meio de teste estatístico conforme as diretrizes estabelecidas pelo INCRA (INCRA, 2018 e 2022) e a ET-CDQG (Ministério da Defesa, 2016).

De maneira geral, o presente trabalho consiste no georreferenciamento de um imóvel rural, utilizando ARP e RTK. O objetivo específico foi detalhar o planejamento, a coleta em campo, o processamento dos dados, bem com verificação dos mesmos em conformidade com as diretrizes do INCRA (2018, 2022), sendo este descrito detalhadamente a seguir.

METODOLOGIA

A descrição técnica e metodológica será abordada mais adiante. No fluxograma da figura 1 apresenta-se uma síntese da atividade realizada.

Figura 1 – Fluxograma Metodológico do Trabalho Prático

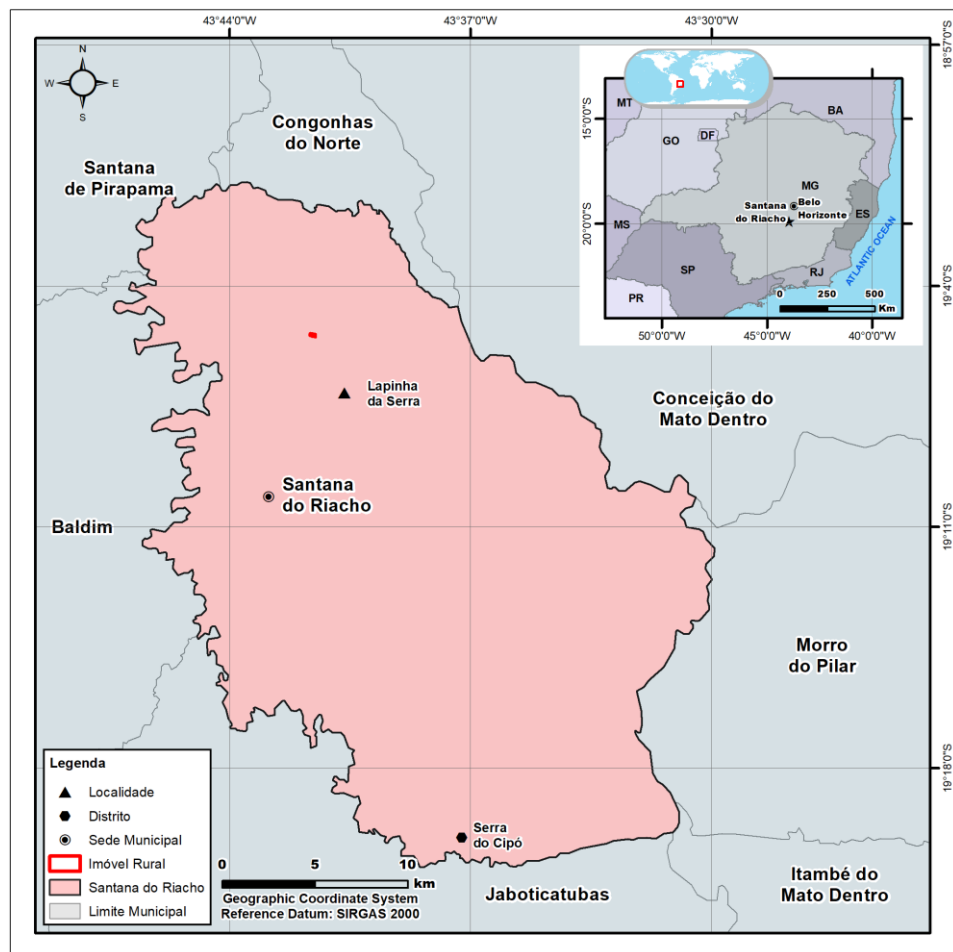


Fonte: Autoria própria (2024).

ÁREA DE ESTUDO

Para o levantamento foi selecionada uma propriedade rural de 2 hectares. No entanto, a área total levantada foi de 5 hectares, no intuito de extrapolar a poligonal da propriedade, conferindo maior qualidade dos dados em relação aos limites da propriedade. A área de estudo está localizada no município de Santana do Riacho, na localidade de Lapinha da Serra, na Região Central do estado de Minas Gerais, cerca de 150 km de Belo Horizonte. Conforme indicado na figura 2.

Figura 2 – Localização da Área de Estudo



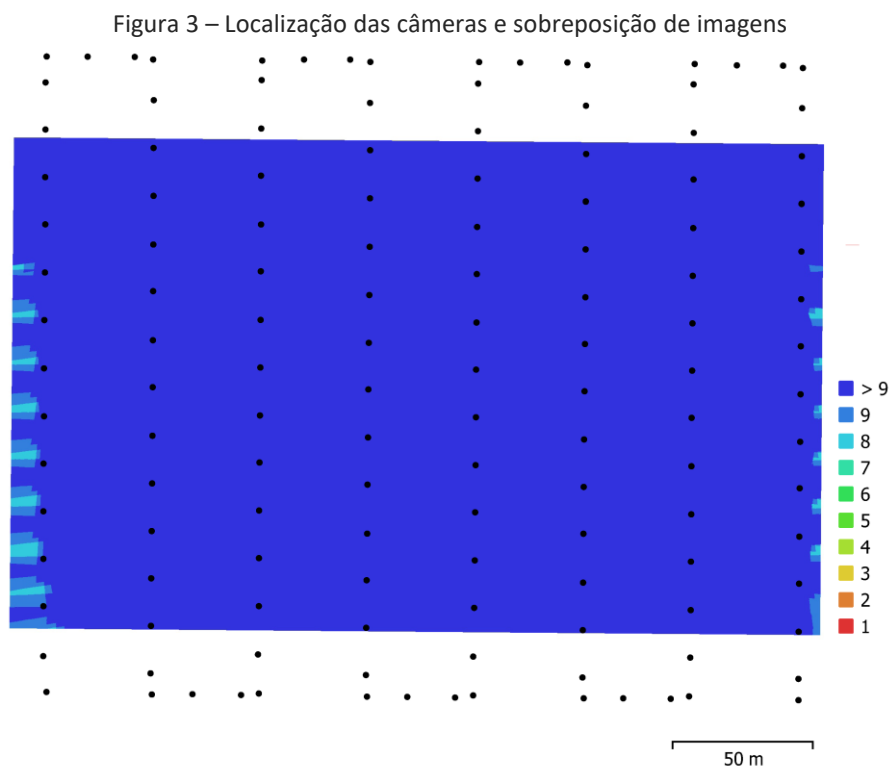
Fonte: Autoria própria (2024).

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa do projeto contou com o planejamento das atividades e a definição da área de estudo. Na etapa da coleta de dados em campo iniciou-se com a demarcação em campo de 8 pontos de verificação/checagem e 16 pontos de controle como suporte ao levantamento aerofotogramétrico. A conferência dos dados quanto à normalidade e tendenciosidade dos pontos de verificação/checagem foi realizada por meio de testes estatísticos com a aplicação do método de Shapiro Wilk (Henderson, 2006) e t-Student (Patrício et al., 2017), comprovando, desta forma, a normalidade das amostras e a não tendenciosidade dos pontos levantados.

O método utilizado para o levantamento destes pontos de apoio foi o diferencial semicinemático no modo RTK, uma técnica de posicionamento relativo GNSS para aplicar a correção das coordenadas da estação base, para o receptor rover, para o qual tem-se como referência vários trabalhos recentes, tais como em Michels et al. (2021), Štroner et al. (2021), Zhang et al. (2023), por exemplo. O plano de voo foi solicitado junto ao SARPAS - Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas, sendo empregada a aeronave modelo DJI Mavic 2 Pro. Já o programa de controle de operação remota de pilotagem do *drone* foi o DJI Pilot, sendo o voo programado em altura de 109 metros. Durante

o voo, foram coletadas 134 fotos, sendo estas processadas no software Agisoft Metashape Professional, com GSD de 2,47 cm/pixel. O relatório geral do voo que foi realizado, com as tomadas das fotos, bem como os seus respectivos resultados podem ser observados na figura 3, original do programa, com os respectivos parâmetros.



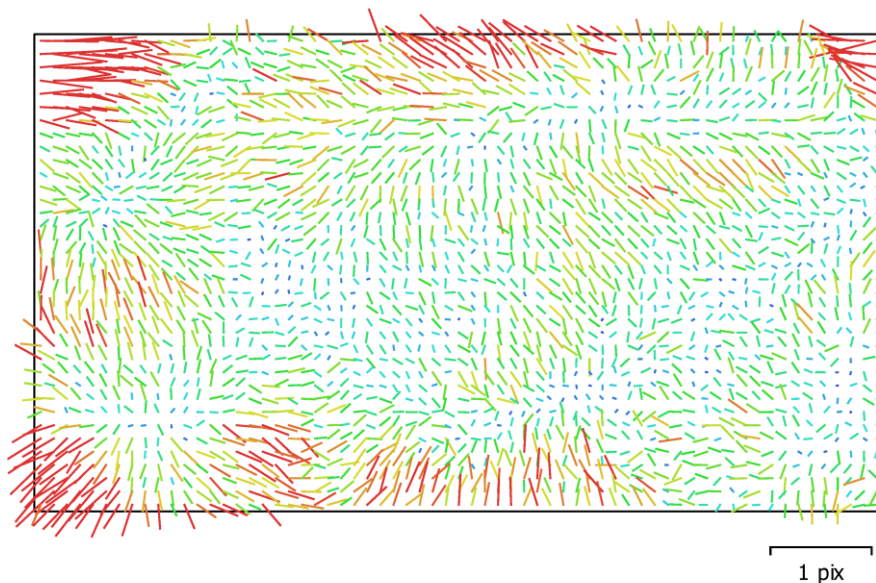
Number of images:	134	Camera stations:	134
Flying altitude:	109 m	Tie points:	46,696
Ground resolution:	2.47 cm/pix	Projections:	313,899
Coverage area:	0.0507 km ²	Reprojection error:	0.716 pix

Fonte: Autoria própria (2024).

Foi utilizada câmera com focal de 10,26 mm, tipo *frame*, com tomada de imagens de 5464 x 3070 pixels e com tamanho original de pixel de 2,53 x 2,53 μm, cuja distribuição de resíduos e coeficientes de calibração no Agisoft podem ser observados na figura 4.

Na aerotriangulação foram utilizados os pontos de controle em campo (GCP – *ground control point* em inglês) conforme apresentado na figura 5 com os seus respectivos resíduos representados nas elipses de erros nessa fase de processamento. Isso configura os erros médios de localização da câmara em relação aos pontos de controle.

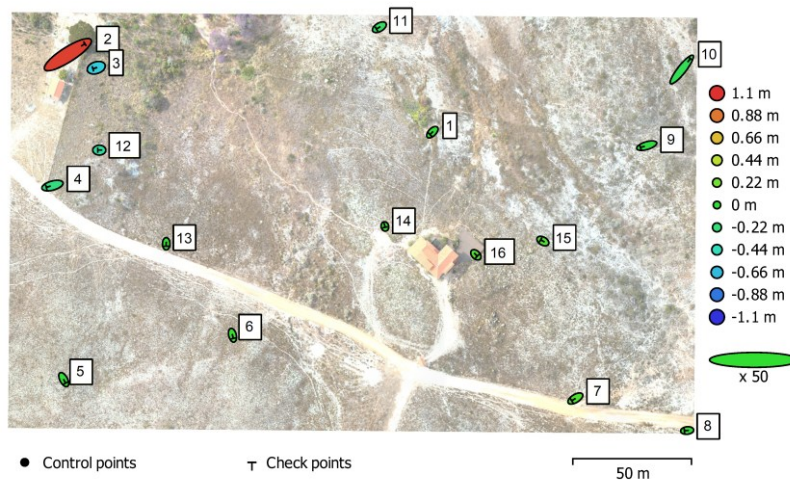
Figura 4 - Distribuição de resíduos e coeficientes de calibração



	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4248.8	1.8	1.00	-0.52	0.31	-0.18	-0.15	-0.70	-0.02	0.05	-0.00	0.54	-0.30
Cx	12.1141	0.15		1.00	-0.13	0.23	0.11	0.34	0.04	-0.04	0.02	-0.69	0.13
Cy	-52.507	0.11			1.00	-0.02	0.13	-0.22	0.00	0.01	0.01	0.17	-0.78
B1	-13.0287	0.038				1.00	0.05	0.10	0.01	-0.01	-0.00	-0.23	0.03
B2	-0.444549	0.033					1.00	0.09	0.02	-0.02	0.01	-0.13	-0.15
K1	-0.176582	0.00021						1.00	-0.68	0.63	-0.63	-0.39	0.22
K2	-0.0236413	0.00088							1.00	-0.99	0.96	0.00	-0.01
K3	0.0539965	0.0019								1.00	-0.99	0.01	-0.00
K4	-0.0114155	0.0014									1.00	0.02	-0.01
P1	0.000534005	5.9e-06										1.00	-0.16
P2	-0.000164263	4.6e-06											1.00

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 – Erros médios estimados de localização da câmara em relação aos pontos de controle

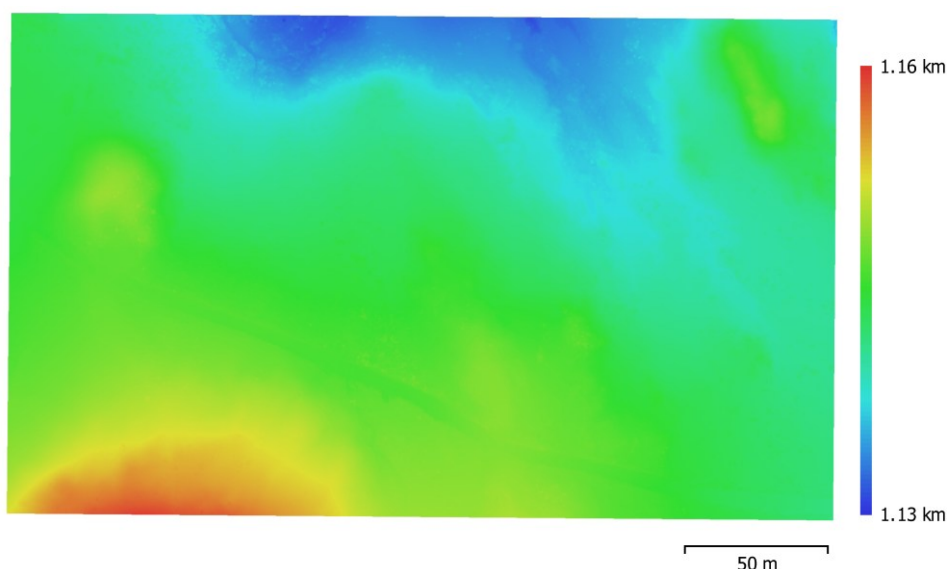


Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
16	9.45098	7.14358	32.867	11.847	34.9369

Fonte: Autoria própria (2024).

A etapa seguinte passa pela geração de nuvem densa de pontos, denominada no *software* por *Bild Dens Cloud*. Foram gerados 77.376.950 pontos, seguindo os seguintes parâmetros disponíveis no *software*: 1. *Quality*: **High**; 2. *Filtering mode*: **Mild**; 3. *Max neighbors*: **16**. Esta nuvem densa de pontos gerou um modelo digital de superfície (MDS), sendo que, para fins de ortorretificação das imagens, foi preciso gerar uma nuvem de pontos que representasse o modelo digital de terreno (MDT). Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Classify Groud Point*, com os seguintes parâmetros: 1. *Max angle* (°): **15**; 2. *Max distance* (m): **0.5**; 3. *Cell size*: **50**. Com a nuvem de pontos filtrada chegou-se à densidade de 410 pontos/m², onde foi possível gerar o MDT em formato *raster* e com resolução espacial de 4,94 cm, por meio da ferramenta *Build MDE*, cujo produto dessa etapa é apresentado na figura 6.

Figura 6 – MDT para a geração da ortomosaico



Fonte: Autoria própria (2024).

Na etapa de pós-processamento dos pontos levantados (o que engloba os pontos de controle de campo para a aerotriangulação, que foram apresentados na figura 5 anteriormente), adotou-se o serviço online para pós-processamento de dados GNSS do PPP - Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE para o vértice base, serviço que utiliza programa CSR-PPP – *GPS Precise Point Positioning* desenvolvido pelo pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*). Conforme o IBGE esse pós-processamento permite ao usuário processar os dados GNSS (GPS e GLONASS) e obterem coordenadas referenciadas em SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) através de um processamento preciso. Os resultados foram obtidos por meio de relatórios que são aceitos pelo INCRA para processos de certificação de imóveis rurais, conforme observado na figura 7.

Figura 7 – Relatório PPP

Coordenadas SIRGAS

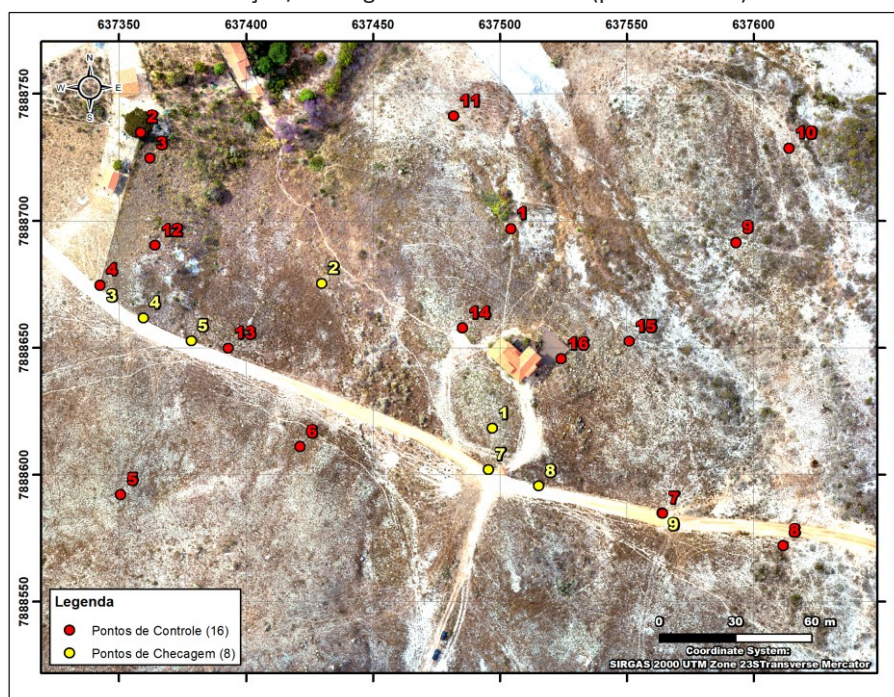
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴	-19° 05' 26,7022"	-43° 41' 34,7761"	1.142,09	7888618.157	637496.999	-45
Na data do levantamento ⁵	-19° 05' 26,6933"	-43° 41' 34,7785"	1.142,09	7888618.432	637496.931	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,001	0,002	0,003			

Fonte: IBGE (2023).

Os pontos de apoio foram distribuídos pela propriedade conforme o padrão de distribuição disperso aleatório (detalhado em Santos et al., 2016). Foram considerados 24 pontos sendo 8 de checagem e 16 de controle. Nos locais com ausência de alvos foto identificáveis foram fixados alvos no solo para auxílio ao georreferenciamento da ortofoto. A distribuição espacial dos pontos de controle de campo pode ser observada na figura 8.

Considerando-se o Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais - 2ª Edição (INCRA, 2022), o qual no seu item b propõe a adoção dos pontos de checagem obedecendo à proporcionalidade da área, levando-se em conta a geometria e o relevo da propriedade, chegou-se ao número de 8 pontos de verificação/checagem em campo para a avaliação do controle de qualidade final (observados na figura 8).

Figura 8 – Distribuição espacial dos Pontos de Controle e Pontos de Verificação/Checagem sobre a ortofoto (produto final)



Fonte: Autoria própria (2024).

A qualidade do produto foi submetida à classificação do PEC, considerando-se as devidas tolerâncias específicas na ET-CQDG (Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geospaciais, DSG, 2016) que define duas tolerâncias: PEC e EP – Erro padrão. Define três classes A, B e C, para determinar

a qualidade posicional (DSG, 2016). O quadro 1 fornece uma compreensão clara dos elementos que compõem cada classe do PEC, bem como a relação estabelecida entre a escala e a precisão de localização.

Quadro 1 – Quadro PEC

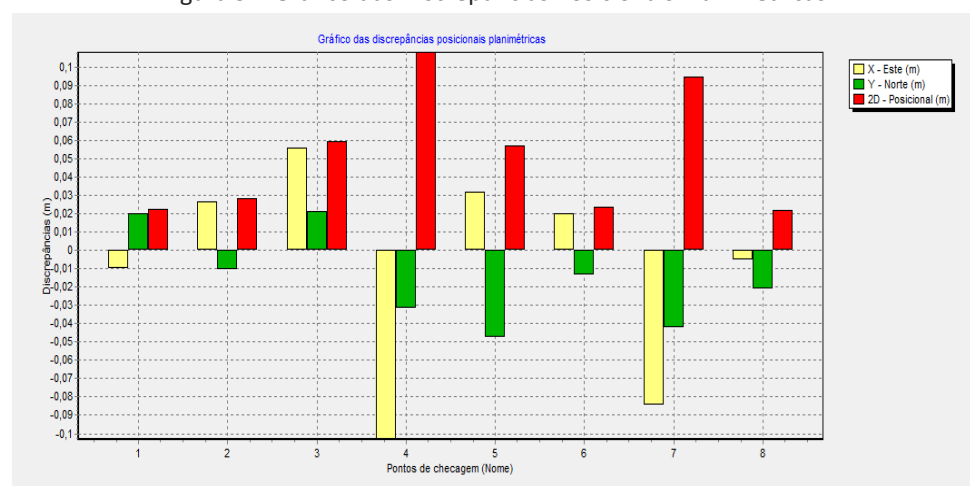
Carta	PEC Planimétrico	Erro Padrão	PEC Altimétrico	Erro Padrão
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 i. a. c. n.	1/3 i. a. c. n.
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 i. a. c. n.	2/5 i. a. c. n.
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 i. a. c. n.	1/2 i. a. c. n.

Fonte: adaptado do Decreto Lei 89.817 (Brasil, 1984) e DSG (2016), onde i. a. c. n. = intervalo de altitude entre curvas de nível.

Quanto ao teste de tendência foi realizada a análise de tendência ao nível de 90% por meio do teste t-Student, comprovando a não tendenciosidade dos dados. Verificou-se na análise dos resultados um desvio padrão no eixo posicional 2D de 0,0342 metros e RMS com valores de 0,0611 metros.

Percebe-se, que a acurácia está aceitável pelos padrões de precisão do MANUAL TÉCNICO DE POSICIONAMENTO DO INCRA de 2013 e do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais de 12 de dezembro de 2022 - MTGIR 2ª Edição (INCRA, 2013 e 2022), nos quais delimita-se o padrão de precisão para vértices em limites artificiais melhor ou igual a 0,50 metros, para vértices em limites naturais melhor ou igual a 3,00 metros e para vértices situados em limites inacessíveis melhor ou igual a 4,50 metros. Essas discrepâncias posicionais e o teste de tendência (t-Student) obtidos a partir dos dados levantados são representadas graficamente na figura 9 e obtidos com saída do GeoPEC 3.6 (Santos et al., 2016).

Figura 9 – Gráfico das Discrepâncias Posicionais Planimétricas.



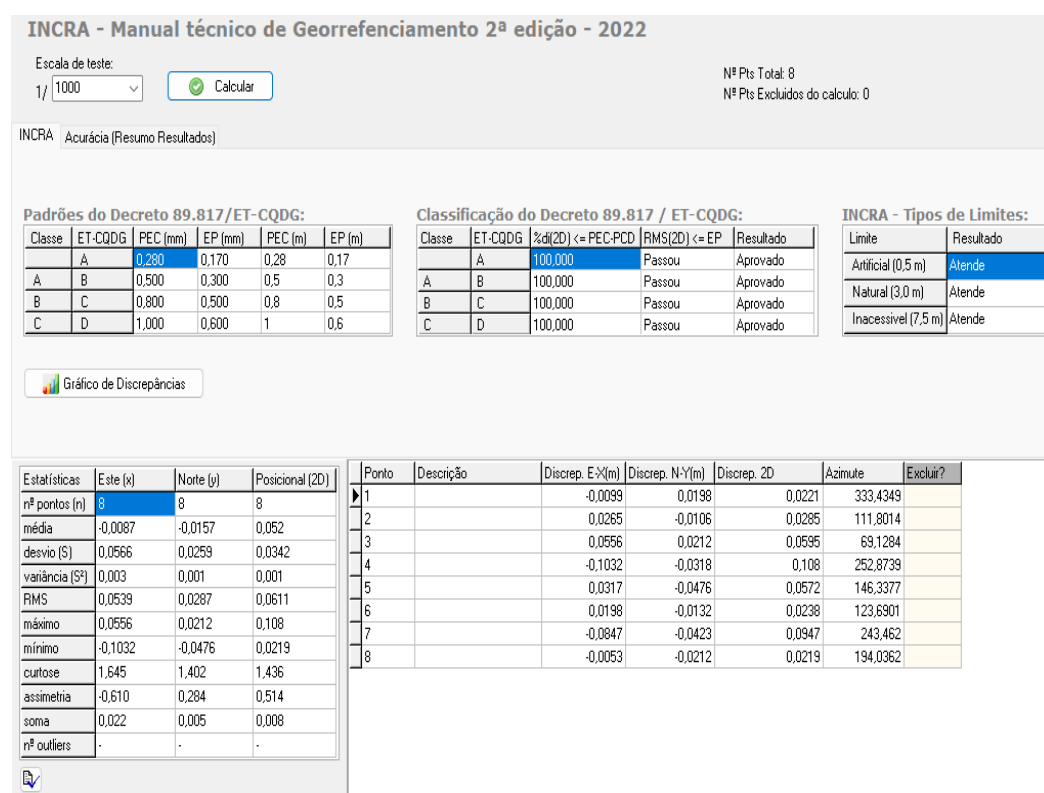
Fonte: Obtido no GeoPEC 3.6 (desenvolvido por Santos et al., 2016).

Na esfera do PEC do atributo geométrico, conforme observado na figura 7, o levantamento alcançou sucesso na obtenção da precisão exigida. Na avaliação da Norma Técnica de Classificação de Precisão obteve-se um PEC de 28 cm valores inferiores a 0,50 metros, toleráveis quanto ao erro de localização conforme a escala do mapa. Isso resulta em um produto acurado para a Classe "A" na escala de 1:1.000, com erro padrão abaixo do 0,30 metros.

Também pode ser observado na figura 10 que o padrão de acurácia utilizado foi o do decreto lei 89.817 (Brasil, 1984). A análise Planimétrica e Planialtimétrica conforme a metodologia de Santos et al (2016), com tolerância PEC-PCD fundamentada nos critérios do decreto lei 89.817 (Brasil, 1984), determina a equação do PEC planialtimétrico/altimétrico a partir dos valores do PEC x O denominador da escala.

A figura 10 apresenta uma síntese dos resultados obtidos pelo GeoPEC 3.6 (desenvolvido por Santos et al., 2016), conforme o MTGIR 2ª edição (INCRA, 2022), apresentando os seguintes valores estatísticos: o número de pontos, a média, o desvio padrão, a variância, o RMS, a assimetria, a soma dos dados e se houve a presença de *outliers*.

Figura 10 – Quadro Síntese dos Resultados conforme do MTGIR 2ª edição – 2022 - INCRA



Fonte: Obtido no GeoPEC 3.6 (desenvolvido por Santos et al., 2016).

CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa consistiu em conduzir e analisar os resultados práticos em termos de um aerolevantamento em uma propriedade rural, utilizando ARP e sistemas de posicionamento GNSS/RTK, com a finalidade de avaliar a acurácia e a precisão posicional dos dados levantados conforme as especificações técnicas do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA - 2ª Edição (2022).

Quanto à escolha e distribuição dos dados levantados submetidos aos testes estatísticos de Shapiro-Wilk e t-Student, foram validadas a normalidade da distribuição e a não tendenciosidade dos dados. Conforme os resultados

apresentados, os valores de discrepância posicional alcançaram a precisão descrita na 2ª Edição do Manual do INCRA (2022), os pontos amostrados obtiveram o resultado médio de 0,05 cm, em que a maior discrepância foi de 0,11 cm e a menor de 0,02 cm. Considerando essa estatística o desvio padrão foi de apenas 0,0342 cm, enquanto o RMS apresentou valores de 0,061 cm. Avaliando o PEC conforme o Decreto 89.817 (Brasil, 1984), o resultado foi acurado e classificado como classe A. Isso se deve ao fato de que a tolerância de erro foi mantida dentro dos parâmetros aceitáveis abaixo dos 0,30 metros na escala de 1:1.000. Assim, o resumo do resultado comprova a eficácia do aerolevante com ARP e a utilização do sistema GNSS/RTK no georreferenciamento de imóveis rurais.

Apesar do avanço apresentado pela 2ª Edição do Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2022) em definir a quantidade de pontos de checagem com a proporcionalidade da área de estudo, sua geometria e o relevo, é importante destacar que essa melhoria não estabelece critérios objetivos em relação à distribuição espacial desses pontos de checagem perante o tamanho da propriedade. Portanto, esse artigo enfatiza a importância por parte dos profissionais de exercerem cautela na aplicação de tecnologias e métodos considerando as características físico-geográficas de cada imóvel.

Georeferencing of rural properties with RPA (remotely piloted aircraft): the evaluation of the application of execution standard no. 02 of 2018 and the technical manual for georeferencing of rural properties of 2022 – 2nd edition by INCRA

ABSTRACT

The georeferencing of rural properties plays a fundamental role in land regularization and territorial planning, enabling more effective management of rural areas. This article aims to analyze the application of Execution Standard No. 02 of 2018 and the Technical Manual for Georeferencing Rural Properties dated December 12, 2022 - MTGIR 2nd Edition of the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (INCRA, 2022), in the process of georeferencing rural properties, focusing on the use of aerial photogrammetry as a technique for spatial data collection and on the quality of sampling points through the PEC (Cartographic Accuracy Standard). In traditional topographic surveys for determining the vertices that delimit rural properties, a significant amount of time is spent traveling to the accessing points to be identified. However, with the advent of aerial photogrammetric surveys using drones, there has been a notable reduction in the service execution time as well as cost reduction. This is because data collection is done indirectly and requires a considerably smaller work team compared to traditional topography. This study aimed to carry out an aerial survey on a rural property using RPA (*Remotely Piloted Aircraft* and in Portuguese *Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP*) and GNSS/RTK positioning systems. The distribution of the data subjected to statistical tests showed the normality of the distribution and the absence of data trends. The results indicated positional discrepancies within the standards established by the manual, with an average of 0.05 cm, the highest recorded discrepancy being 0.11 cm, and the smallest being 0.02 cm. According to Normative 89.817 (Brazil, 1984), which establishes a tolerance of up to 50 cm for vertices with artificial features on a 1:1,000 scale, the standard deviation was only 0.0342 cm, and the RMS showed values of 0.061 cm, fully complying with the current standard, and reaching much more satisfactory results.

KEYWORDS: INCRA. Photogrammetric survey. Positional Accuracy. Georeferencing of Rural Properties.

REFERÊNCIAS

ALHEETI, K. M. A. et al. A hybrid security system for drones based on ICMetric technology. **PlosOne**, v. 18, n. 3, p. e0282567, mar. 2023. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0282567&type=printable>. Acesso em: 07 ago. 2024.

ALSHAHRANI, A. Artificial intelligence technologies utilization for detecting explosive materials. **International Journal of Data and Network Science**, v. 8, n. 1, p. 617-628, jul. 2024. Disponível em: http://m.growingscience.com/ijds/Vol8/ijdns_2023_144.pdf. Acesso em: 07 ago. 2024.

BARBOSA, L. S.; MEIRELLES, S. K. S.; SANTOS, A. P. Avaliação da acurácia posicional planimétrica de uma ortofoto gerada através de uma plataforma VANT, considerando a influência do tamanho amostral na normativa do INCRA. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 158-178, abr./jun. 2021. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/viewFile/13698/8431>. Acesso em: 14 dez. 2023.

BARR, I. D. et al. Using drones to map and visualise glacial landscapes. In: **3D Imaging of the Environment**. CRC Press, 2024. p. 45-55. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429327575-3/using-drones-map-visualise-glacial-landscapes-iestyn-barr-kathryn-adamson-timothy-lane-konstantin-nebel-willem-van-der-bilt>. Acesso em: 14 dez. 2023. *E-book*.

BRASIL. Decreto Lei nº 1.177 de 21 de junho de 1971. Aerolevantamentos No Território Nacional. Brasil. 1971. Disponível em: https://www.gov.br/cnpq/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/servicos/copy_of_expedicao-cientifica/aex_20.pdf. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas Da Cartografia Nacional. Brasil. 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 10 nov. 2023.

BUCHOLT, A. et al. Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. **Forest Ecology and Management**, v. 551, p. 121530, jan. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723007648>. Acesso em: 07 ago. 2024.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico; Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Brasília, Brasil, 2016.

FONTES, M. L.. Certificação de imóveis rurais gerada pelo INCRA/SIGEF: transcrição da certificação em serviço de registro de imóveis. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 210-221, jul/set. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: 08 nov. 2023.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Acurácia planimétrica de ortomosaico produzida com imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 501-516, abr./jun. 2023. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/download/16230/9808>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

HENDERSON, A. R. Testing experimental data for univariate normality. **Clinica Chimica Acta**, v. 366, n. 1-2, p. 112-129, jan. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009898105006790?casa_token=YzhwQr0h5loAAAAA:V2F8WP3C526uxi0nK-NQcfAYvYBxMUe2jAX4zZzvhsCL-glXNQpQEdRIIUupkyk3VbGKHBcH>. Acesso em: 14 dez. 2023.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento do INCRA. Brasília-DF: INCRA, 2013.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Norma de Execução do INCRA nº 2. Brasília – DF: INCRA, 2018.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2ª Edição. Brasília-DF: INCRA, 2022. Disponível em <https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_geo_imoveis.pdf> Acesso em 08 set. 2023.

JORGE, L. A. C. INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. [et. al], editores técnicos. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar, 1ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109 134.

LIMA, G. O.; CALDEIRA, M. C. O.; CALDEIRA, C. R. T. Análise comparativa entre métodos de levantamento planialtimétrico para elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em Belém-PA. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 338-362, 2020. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/download/12307/7983>>. Acesso em 14 dez 2023.

MICHELS, N. B.; SILVA, R. M.; SOUZA, S. F. Georreferenciamento de Imóveis Rurais: Análise de Área entre Topografia, RTK e Sistema TM. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 062-084, jan./mar. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: 08 nov. 2023.

MISHRA, A. et al. Surveying techniques for urban areas. In: **Earth Observation in Urban Monitoring**. Elsevier, mar. 2024. p. 69-91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221723006653?casa_token=CaXOKaktzqwAAAAA:YUlfnn3EPBQSOWt1z6NNSmG6liR7vdEOzkeUmz6hK2mf9bukCz3bJbslg4N_RG_1_rzBn7bl>. Acesso em: 14 dez. 2023.

PATRÍCIO, M. et al. Comparing the performance of normality tests with ROC analysis and confidence intervals. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, v. 46, n. 10, p. 7535-7551, mai. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03610918.2016.1241410?casa_token=Vn7of14cRPkAAAAA:RdthgLSDeZP_RxxHSX6_lfrB3i5QWm-aLAqZ1k95GbpaypkEBPbmLDz0tpMZVT-W4JaVGBWSvl>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SALIM, D. H. C. et al. Unveiling Fernando de Noronha Island's photovoltaic potential with unmanned aerial survey and irradiation modeling. **Applied Energy**, v. 337, p. 120857, mai. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923002210?casa_token=sW8svl-RrDMAAAAA:mLX9Vh-agb3FnLbvBo42_VFyf-x-tpIN8yWq2UKFiVjgWBIDRp9wgfFXHlraHp7kCQTh4wx3>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SANTOS, A. P. RODRIGUES, D. D. SANTOS, N. T. T., GRIPP JUNIOR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 630-650, dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S198221702016000400036>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

SHAN, J. et al. Democratizing photogrammetry: an accuracy perspective. **Geospatial Information Science**, p. 1-14, mai. 2023. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10095020.2023.2178336>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SILVA, M. H.; ELIAS, A. R.; ROSÁRIO, L. L. Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG–GLI–TGI–VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 140-154, abr./jun. 2022. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/rbgeo/article/download/15042/8928>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

ŠTRONER, M. et al. Photogrammetry using UAV-mounted GNSS RTK: Georeferencing strategies without GCPs. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1336, mar. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/13/7/1336.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

ZHANG, Z. et al. Best Integer Equivariant Estimation With Quality Control in GNSS RTK for Canyon Environments. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, ago. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/7/7778228/10017340.pdf?casa_token=4MeCMY2oK0kAAAAA:AYBhXTHG9IbTMEemNT0YowI3xj1Jm5AU7jFQg42el2hO0KKe2A7z8jpfE6hr5nBN3mpXqPJF>. Acesso em: 14 dez. 2023.

Recebido: 19 dez. 2023

Aprovado: 16 out. 2024

DOI: 10.3895/rbgeo.v12n2.17954

Como citar: OLIVEIRA, G. M.; CARVALHO, L. F.; NERO, M. A.. Georreferenciamento de imóveis rurais com ARP (aeronaves remotamente pilotadas): avaliação da aplicação da norma de execução nº 02 de 2018 e o manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais de 2022 – 2ª edição do INCRA. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 179-196, jul./dez. 2024. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX

Correspondência:

Glauber Marcos de Oliveira

Rua dos Cometas, 47 - Ap: 402, CEP 30620-820, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

