

FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS
DEYVID PEREIRA COELHO

**Drone na Engenharia de Agrimensura – Vantagens da Utilização de Drone com
Sistema RTK**

Belo Horizonte
2024

DEYVID PEREIRA COELHO

Drone na Engenharia de Agrimensura – Vantagens da Utilização de Drone com Sistema RTK

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade Minas Gerais - FAMIG, como parte do requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Belo Horizonte

2024

RESUMO

A utilização dos drones na engenharia tem crescido de forma significativa nos últimos anos, inclusive estão a cada dia se modernizando e proporcionando vantagens significativas em termo de precisão. O presente trabalho aborda esse crescimento da utilização dos drones na engenharia Agrimensura bem como um caso real apresentando a precisão, eficiência e custo-benefício em comparação com métodos tradicionais. Inicialmente os drones começaram a ser utilizados durante a Segunda Guerra Mundial, evoluíram para ferramentas precisas e eficientes em diversos campos. Os resultados apontados mostram que os drones com RTK oferecem uma precisão centimétrica, crucial para levantamentos detalhados.

Palavras-chave: Drone; Engenharia; GPS RTK

SUMMARY

The use of drones in engineering has grown significantly in recent years, and they are modernizing every day and providing significant advantages in terms of precision. The present work addresses this growth in the use of drones in engineering surveying as well as a real case presenting the precision, efficiency and cost-benefit compared to traditional methods. Initially drones began to be used during the Second World War, they evolved into precise and efficient tools in various fields. The results shown show that drones with RTK offer centimeter precision, crucial for detailed surveys.

Keywords: Drone; Engineering; GPS RTK

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 GERAL	2
2.2 ESPECIFICOS	2
3 REFERENCIAL TEÓRICO	2
3.1 TOPOGRAFIA	2
3.1.1 Levantamento Topográfico	3
3.2 SISTEMA GNSS	4
3.2.1 Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real	4
3.3 FOTOGRAMETRIA	7
3.3.1 Conceito e Definição	7
3.3.2 Levantamento Aerofotogramétrico	7
3.3.3 Fototriangulação	9
3.3.4 Ortofotos	10
3.3.5 Modelo Digital do Terreno (MDT)	10
3.3.6 Fotogrametria por meio da utilização dos VANTs	11
3.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)	13
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Área Estudo	13
4.2 Base Cartográfica	14
4.3 Levantamento por Drone	14
4.3.1 Características do Equipamento	14
4.3.2 Planejamento do Voo	16
4.3.3 Pontos de Apoio	17
4.3.4 Programa e Software	18
4.4 Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC	18
5 RESULTADOS	19
5.1 Produtos gerados por Drone com RTK	19
5.2 Análise de Qualidade	22
6 CONCLUSÃO	22
7 REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

O mundo que conhecemos está em evolução constante em todas as áreas, e o homem sempre passou pela necessidade de encontrar novos lugares para se alojar, revelando então que o ser humano precisa constantemente se modernizar. Uma das muitas áreas que a engenharia engloba é a topografia, que apresenta tecnologias e seus instrumentos como Estação Total, GNSS e RTK, teodolito, nível, etc.

No âmbito da topografia, o uso de drones para levantamentos planialtimétricos apresenta custo inicial baixo e com rapidez de resposta quando comparado a outros levantamentos topográficos considerados convencionais. Os levantamentos planialtimétricos são necessários para a realização de qualquer projeto de construção civil, pois é preciso dispor da visualização de acidentes geográficos e outras características do relevo, evidenciando superfícies íngremes e planas.

Segundo Pereira (2017), o drone vem sendo explorado desde a segunda guerra mundial, projetado inicialmente pela Alemanha como um míssil guiado, sofrendo ao longo dos anos várias mudanças e melhorias, fazendo com que seja usado de maneira mais ampla. Sobre isso, Carvalho (2018, p. 46) afirma que “o tempo de um levantamento planialtimétrico efetuado com um drone é três vezes menor que o utilizado com métodos convencionais”. Ainda que, sua utilização trouxe algumas mudanças, que são, segundo a Droneng (2019), a facilidade na operação, a diminuição dos custos e também das equipes em campo, além de maior velocidade de aquisição de dados, tendo grande vantagem sobre o método tradicional.

A utilização de drones na engenharia de agrimensura tem se tornado cada vez mais comum e promissora. Essa tecnologia revolucionária, aliada ao sistema de posicionamento em tempo real (RTK), vem trazendo uma série de vantagens e benefícios para profissionais e empresas do setor. Exploraremos as principais vantagens da utilização de drones equipados com sistema RTK na engenharia de

agrimensura, destacando como essa combinação tem otimizado e aprimorado os processos de coleta de dados, mapeamento e monitoramento de áreas.

Neste trabalho, é realizado um breve comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico drone x levantamento planialtimétrico drone com RTK, revelando os pontos positivos e negativos que cada método pode apresentar, seja em seu custo, tempo necessário para o levantamento, precisão obtida, produtos gerados, custo de equipamentos, entre outros.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Mostrar a viabilidade técnica e econômica do emprego de dados planialtimétricos resultantes de levantamento aerofotogramétrico utilizando um Drone com RTK além de realizar um comparativo entre as metodologias, custo, tempo, precisão entre outros.

2.2 Específicos

- Obter imagens a partir de um Drone com RTK embarcado;
- Georreferenciar e vetorizar imagens obtidas por Drone com RTK e Drone sem RTK;
- Realizar a análise comparativa entre as duas tecnologias aplicadas tanto com Drone RTK e Drone sem RTK.
- Verificar a acurácia planialtimétrica do levantamento aerofotogramétrico empregando as duas metodologias, sendo que o drone sem o RTK irá utilizar os pontos de controle pré-estabelecidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Topografia

Segundo Blitzkow et al (2014), topografia é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da

posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc.).

O princípio da Topografia é baseado na geometria e na trigonometria, sendo necessárias observações lineares e angulares realizadas sobre a superfície da Terra. Com base nestas medidas, calculam-se coordenadas, perfil, áreas, volumes, perímetro etc. Sendo estas grandezas representadas de forma gráfica através de mapas ou plantas. O objetivo principal é efetuar o levantamento que permita representação de uma porção da superfície terrestre em uma escala adequada levando-se em conta os ângulos, distâncias e desníveis. As operações efetuadas em campo, com o objetivo de coletar dados para a posterior representação, denominam-se levantamento topográfico (ESPARTEL, 1987).

3.1.1 Levantamento Topográfico

Levantamento Topográfico é o conjunto de métodos e processos que, através de observações de ângulos (horizontais e verticais) e de distâncias (horizontais, verticais e inclinadas) e com instrumental compatível à precisão pretendida, primordialmente, implanta-se e materializa-se pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas, visando a sua exata representação planimétrica numa escala pré determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré determinada e/ou pontos cotados (ABNT, 1994).

De acordo com Erba et al. (2003) o levantamento de dados de natureza científica com objetivo de realizar a representação gráfica posicional e quantitativa, não considerando o relevo, dos elementos naturais ou artificiais existentes num espaço urbano ou rural.

O Levantamento Topográfico é subdividido em Planimétrico, Altimétrico e Planialtimétrico.

- Levantamento Topográfico Planimétrico: é o método que leva em consideração o terreno como um plano. De acordo com Veiga et al. (2012), um levantamento planialtimétrico baseia-se na medição de ângulos e distâncias horizontais para obtenção da representação das dimensões

horizontais da área, ou seja, quando representado em um plano cartesiano, as coordenadas requeridas são “X” e “Y”, as quais são relacionadas a uma origem pré-determinada no plano a ser definido.

- Levantamento Topográfico Altimétrico: levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência (plano local, elipsoide ou geóide), dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada. (ABNT, 1994). É o modelo de levantamento responsável por determinar o relevo do terreno levantado. No plano cartesiano é representado pela coordenada “Z” (VEIGA et al., 2012).
- Levantamento Topográfico Planialtimétrico: É o método em que, em uma única representação, obtêm-se as coordenadas horizontais (X,Y) e verticais (Z) do terreno, ou seja, quando apresentada conjuntamente o levantamento planimétrico e altimétrico, tem-se uma representação tridimensional da área levantada (VEIGA e tal., 2012).

3.2 Sistema GNSS

A utilização de satélites para posicionamento geodésico começou na década de 50 com o início do lançamento dos primeiros satélites na órbita terrestre.

Na década de 1990 surge o termo GNSS (Global Navigation Satellite System) (KRUEGER, 2011), que engloba os sistemas GPS (EUA) e GLONASS (Rússia) e atualmente abrange os sistemas GALILEO (União Europeia) e COMPASS (China).

No entanto, De Azambuja (2007) salienta que a integração de GNSS com topografia são relacionados com o uso das coordenadas obtidos primeiramente por sistema cartesiano global geocêntrico (X, Y, Z) e transformadas em coordenadas geodésicas ou UTM. Posteriormente as medidas de ângulos e distâncias são obtidas vinculados aos pontos obtidos pelo levantamento.

3.2.1 Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) teve a sua implementação no país no ano de 1996, onde ganhou destaque em virtude de

sua fundamental importância nas atividades relacionadas a manutenção e a atualização da estrutura geodésica do território nacional, além de ter se tornado a primeira rede estabelecida em um país da América do Sul. As Redes de operação Contínua GNSS desenvolvem ações onde o Sistema Geodésico de Referência tem papel fundamental de concepção geocêntrica como é o SIRGAS 2000, adotado oficialmente no Brasil em 2005 (COSTA, 2008).

Atualmente, o uso dessas técnicas de posicionamento baseadas nos Sistemas Globais de Satélite de Navegação (GNSS) vêm ganhando cada vez mais espaço e o seu desenvolvimento passa a ser fundamental e ter importância no cotidiano (SILVA et al., 2012).

As técnicas de posicionamento RTK (Real Time Kinematic) ou DGPS (Differential Global Positioning System) são baseadas no modo diferencial onde as correções dos sinais dos satélites GNSS são transmitidas, em tempo real, da estação de referência para uma estação onde se estabelece que sejam realizadas as coordenadas (Figura 1). É comum que as correções sejam enviadas via rádio UHF, onde são instalados, em conjunto com um receptor, em uma estação de coordenadas conhecidas, aos receptores móveis. Novas opções de coordenadas são estabelecidas constantemente para a transmissão das correções, que surgem através da Internet e o seu funcionamento wireless por meio da telefonia celular. O NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol) é um protocolo HTTP Hyper Text Transfer Protocol) desenvolvido com o propósito de substituir o link de rádio pela conexão via Internet (SILVA et al., 2012).

Figura 1: Posicionamento RTK.



Fonte: https://ww2.ibge.gov.br/confest_e_confega/pesquisa_trabalhos/CD/oficinas/553-2.pdf

O RTK é uma técnica de levantamento baseada no posicionamento relativo da portadora, com precisão de poucos centímetros em tempo real. Para a realização de um levantamento RTK convencional é necessário um receptor instalado em uma estação com coordenadas conhecidas, denominado de estação de referência ou base RTK, um receptor móvel (rover), e um rádio de comunicação para enviar os dados da estação de referência RTK ao receptor móvel. O link de comunicação entre a estação de referência e o receptor móvel, desempenha um papel fundamental para o sucesso do levantamento RTK, porque as correções da estação de referência têm que chegar ao receptor móvel em tempo real. Um fator que limita a área de abrangência para a realização do RTK é o alcance da transmissão das ondas de rádio, pois se existirem obstáculos entre a referência e o receptor móvel a precisão esperada não será alcançada (COSTA, 2008).

Em virtude de haver a separação entre dois canais de rádio e deste ser estreito o sinal pode receber a interferência de outros usuários trabalhando na mesma banda de frequência reduzindo a qualidade do levantamento. A opção para ajustar o déficit é trocar o link de rádio pela comunicação via modem GSM (Global System of Mobile), isso torna a disponibilidade dos serviços de telefonia celular correlacionada à área de trabalho (COSTA et al., 2008).

A técnica de posicionamento RTK tem inúmeras vantagens relacionadas as demais, uma vez que possui uma grande precisão e é de grande produtividade, ganhando destaque quando se compara as suas funções a técnicas mais conhecidas de topografia. As maiores limitações encontradas no levantamento RTK, encontram-se quando estão em ambientes com muita obstrução, destacando-se as áreas de mata e edifícios, além do alcance de link do rádio, que transmite as correções diferenciais (SILVA, 2012).

A utilização das bases cartográficas geradas pelo processo de coleta de dados com drones em conjunto com a base de rastreamento em solo obtido com GNSS RTK permitem análises técnicas, como mensuração de áreas, volumes e pela topografia do terreno, com alto nível de acurácia e precisão. As vantagens da utilização dos drones no desenvolvimento da infraestrutura urbana estão relacionadas, principalmente, à economia de tempo no desenvolvimento dos trabalhos, precisão dos dados que são coletados e à redução de custos comparado

a metodologias tradicionais de levantamento, tornando os resultados bem mais confiáveis. Além disso, o equipamento oferece ainda a facilidade de acesso a pontos considerados de difícil alcance (NICHETTI, 2016).

3.3 Fotogrametria

3.3.1 Conceito e Definição

A Fotogrametria é a ciência ou tecnologia de se obter informações seguras sobre objetos físicos e do meio ambiente, através de processos de registro, medição e interpretação das imagens fotográficas (FONTES, 2005).

O uso de fotogrametria como fonte de dados topográficos planimétricos e altimétricos a nível mundial, teve seu início nos meados dos anos 1950 (BLASCHKE, 1957; CARNAHAN, 1958; BELCHER, 1960; TERNRYD 1969; CANONICA, 1969).

A Fotogrametria se estende a análise de fotografias, englobando dados provenientes de sensores remotos. Esta definição também inclui duas áreas distintas com a fotogrametria (num sentido mais restrito), referindo-se aos métodos de obtenção de dados quantitativos, como coordenadas, áreas, etc., a partir dos quais são elaborados os mapas e cartas topográficas e a fotointerpretação, que consiste em obter dados qualitativos a partir da análise das fotografias e de imagens de satélite.

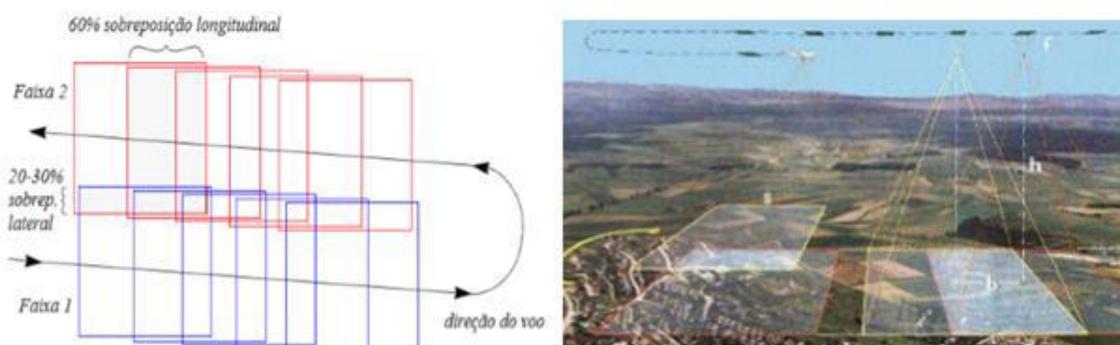
Os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos à grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, que é essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis. Como desvantagens são apontadas a menor precisão em comparação com os levantamentos topográficos, alto custo, necessidade de condições atmosféricas propícias.

3.3.2 Levantamento Aerofotogramétrico

Segundo Fontes (2005), a Aerofotogrametria refere-se às operações realizadas com fotografias da superfície terrestre, obtidas por uma câmara de precisão com o eixo ótico do sistema de lentes mais próximo da vertical e montada em uma aeronave preparada especialmente. Pode-se utilizar esta técnica aerofotogramétrica nas atividades de mapeamento Cartográfico, no planejamento e desenvolvimento de área urbana, e em engenharias afins. Segundo Paredes (1987), para um levantamento fotogramétrico completo, deve ser feita uma cuidadosa programação do voo fotogramétrico, que tem por objetivo a obtenção da cobertura aerofotográfica da área do terreno, cujo levantamento topográfico será realizado por meio da fotogrametria. A cobertura aerofotogramétrica é um conjunto de fotografias aéreas verticais tecnicamente tiradas a partir de uma aeronave, de forma a assegurar uma correta e completa representação de toda a área do terreno a ser estudado (PAREDES, 1987).

Conforme Fontes (2005), se o objetivo da cobertura é o mapeamento da região, as linhas de voo são planejadas com um espaçamento lateral tal que se obtenha uma área comum entre as faixas em torno de 20% a 30%, como mostra a Figura 2. Estas áreas comuns, resultantes da superposição entre faixas num sentido transversal à direção do vôo, são denominadas de recobrimento lateral ou transversal. Cada fotografia tomada ao longo de uma linha de vôo cobre uma área que se superpõe à área coberta pela fotografia anterior em aproximadamente 60% (Figura 2). Esta superposição entre as áreas fotografadas consecutivamente é denominada de recobrimento longitudinal. No caso de uma cobertura aerofotogramétrica cuja finalidade é a obtenção de ortofotos, a taxa de recobrimento longitudinal é de 80%.

Figura 2: Sobreposição lateral e longitudinal as linhas de voo.



Fonte: (Adaptado de FONTES, 2005)

3.3.3 Fototriangulação

A técnica de cálculo e ajustamento das coordenadas dos centros de perspectiva e dos ângulos de atitude do sensor no momento da aquisição de cada uma das imagens fotográficas que compõem um bloco fotogramétrico, de forma a permitir a obtenção de coordenadas tridimensionais no espaço objeto (terreno) a partir do espaço imagem denomina-se Fototriangulação.

Seu maior objetivo é proporcionar coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação de modelos fotogramétricos para a restituição ou elaboração de ortofoto (ANDRADE, 1998). Para obter resultados satisfatórios, deve-se dispor de dados iniciais de boa qualidade, sem, contudo, implicar dispêndios excessivos. Esses dados iniciais constituem-se, basicamente, na determinação dos pontos de controle e de verificação, parâmetros de Orientação Interior (POI), de Orientação Exterior (POE).

Os pontos de controle podem ser extraídos de cartas topográficas em escala apropriada ou por meio de levantamento em campo por topografia ou GPS, de acordo com a resolução espacial da imagem a ser corrigida (SILVA, 2000), e tem como função amarrar o bloco fotogramétrico ao terreno no método da fototriangulação. Obtidos através de referencial geodésico, para os resultados das informações desse processo possam permitir a transferência de informações oriundas de diversas fontes. Já que os pontos de verificação e pontos de controle são obtidos da mesma forma, contudo os pontos de verificação não são empregados no processo de fototriangulação, pois são pontos que servem para verificar a acurácia (qualidade posicional) dos produtos cartográficos gerados.

Brito & Coelho Filho (2007) destacam que o planejamento da fototriangulação deve iniciar na cobertura fotogramétrica, pois é necessário conhecer o número de pontos de campo, realizar um vôo apoiado, entre outros fatores que modificam os procedimentos futuros, pois é necessário confiar que os dados para a triangulação foram obtidos com qualidade.

3.3.4 Ortofotos

Ortofotos são representações cartográficas de uma região da superfície terrestre, produzidas mediante um conjunto de imagens aéreas, tomadas por avião ou satélite. Nas fotografias capturadas, ainda com deformações devido ao deslocamento do relevo, são aplicadas correções, seguindo um Modelo Digital do Terreno (MDT) para garantia da qualidade métrica da ortofoto, removendo qualquer distorção geométrica (posição e inclinação) (LIMA, 2018).

Ortofotos aéreas são produzidas através de um processo chamado retificação diferencial, que elimina deslocamentos da imagem devido à inclinação fotográfica e ao relevo (LOPES, 1987).

Segundo Campiteli, (2016 apud GALO 2016), o emprego de ortofotos apresenta algumas vantagens em comparação a um mapa, sendo elas:

- Um usuário pode retirar as informações desejadas, a partir da ortofoto de uma mesma área, diferente de uma ortofoto carta que já se encontra pré interpretada, sendo utilizado na maioria das vezes para uma mesma destinação;
- Os atributos geométricos da ortofoto são os mesmos de um mapa, no entanto tem qualidade pictoriais de fotos aéreas; e
- Fornece uma visão do terreno ainda mais compreensível que um mapa, com informações visuais completas fáceis de reconhecimento e identificação, auxiliando na qualidade do estudo da área.

3.3.5 Modelo Digital do Terreno (MDT)

Um Modelo Digital do Terreno – MDT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que varia continuamente no espaço, na superfície terrestre (FELGUEIRAS E CÂMARA, 2004).

Segundo Dalmolin; Santos (2003) apud Antunes (2007), o MDT trata dos pontos que representam o terreno, enquanto que o MNE trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície.

Desta forma, um MDT representaria apenas as informações referentes ao terreno que está sendo modelado e o MDE (Modelo Digital de Elevação) pode conter informações do terreno, como também de elementos existentes sobre este, como edificações, vegetações, etc.

3.3.6 Fotogrametria por meio da utilização dos VANTs

O uso da fotogrametria passou a ser cada vez mais utilizada em virtude do crescimento de tecnologias o que viabilizou o mapeamento topográfico de diversos tipos de projetos, antes tido como inviáveis, atualmente passaram a ser considerados como uma realidade. Nota-se que a aplicação da fotogrametria permite que sejam extraídos elementos geográficos específicos para as mais diversas aplicações (LARANJA; CORREA; BRITO, 2012)

Tommaselli (2009) destaca que a fotogrametria se mostra vantajosa, possuindo uma gama variada de funções e finalidades, uma vez a área ou objeto a ser mensurada não é tocado, “a quantidade de informações semânticas e geométricas é elevada, superfícies de difícil acesso podem ser determinadas, a precisão se adequa às especificações do projeto”. A fotogrametria aérea, permite que sejam realizadas fotografias do espaço, obtidas através de uma câmera instalada no VANTs.

Desse modo, a celeridade e precisão dos levantamentos planialtimétricos são imprescindíveis para o desempenho eficaz e eficiente das demais fases do processo regularização fundiária. Assim, os VANTs, conhecidos como drones, passam a ser estratégias importantes para o a avaliação e levantamento para a categorização quantiquantitativa dos espaços urbanos ainda irregulares, tendo como uma das atividades a aerofotogrametria (MARICATO et al., 2013).

Os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos a grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis (SILVA e COSTA, 2010).

Carvalho (2018) postula que o tempo de um levantamento planialtimétrico efetuado com um drone é três vezes menor que o utilizado com métodos convencionais, em, por exemplo, uma área de 5,71 hectares. Entretanto, sua precisão e acurácia de captação de imagens são inferiores às executadas nos demais métodos, e seu custo é 2,5 vezes inferior à Estação Total, porém com uma margem de erro maior ao valor real dos pontos georreferenciados.

Já Alberto (2015) apresenta de uma maneira mais simples as características dos drones, fazendo um comparativo entre as vantagens e desvantagens de seu uso. Essa pesquisa nos mostra os usos que o drone tem no meio topográfico como: cartografia, gestão na parte agrícola, serviços florestais, controle nas fronteiras, controle de obras e seus impactos, planejamento urbano, entre outros.

É fundamental que as informações contidas nos cadastrados da gestão pública, nas regiões urbanas sejam georreferenciadas e atualizadas. E a partir da evolução das geotecnologias, a disponibilidade de acesso aos equipamentos como VANTs, bem como a necessidade crescente de mapeamento das áreas urbanas e visam alternativas para realizar o mapeamento para atualização dos espaços urbanos e rurais de forma ágil e com baixo custo, prezando pela qualidade (SILVA,2007).

Para a aquisição de tais informações, diferentes metodologias são empregadas, podendo elas ser diretas como a Topografia e Geodésia, e indiretas como a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto. Sobre os métodos diretos, a Geodésia é uma ciência que estuda as formas e as dimensões do planeta, bem como a determinação do campo gravitacional e da superfície oceânica. Já a Topografia, que muitas vezes é confundida com a Geodésia por se utilizar dos mesmos equipamentos, tem por finalidade mapear uma pequena parte dessa superfície, não levando em consideração as deformações sofridas pela esfericidade do globo (BRANDALIZE, 2000).

Estudos ambientais, monitoramento de obras, mapeamento de pequenas áreas, cálculos de volumes de mineração e pátio de estocagem de madeiras são algumas das aplicações possíveis. As principais dificuldades encontradas para o uso dos VANTs são as restrições legais sobre seu uso, as quais ainda estão em

discussão, e a qualidade das informações em termos de precisão planialtimétricas obtidas (SILVA et al, 2014).

Segundo Tommaselli (2009) a utilização de drones permite que se verifique áreas de riscos, especificação dos elementos visíveis, configuração espacial e, conseqüentemente permite a execução do levantamento planialtimétrico de forma mais rápida em assentamentos irregulares para que famílias de baixa renda sejam beneficiadas com a titulação de seus lotes, o que ocasiona amplitude dos direitos sociais e qualidade de vida, uma vez que a equipe terá condições de planejar as metodologias de execução do levantamento a partir das especificações identificadas por meio do drone, que registra detalhes da área por meio da fotogrametria.

3.4 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto, a partir do solo, usando um controle remoto (EISENBEISS, 2009).

Tanto as imagens orbitais quanto as imagens oriundas de VANT podem ser aplicadas em levantamentos urbanos. No entanto os VANTs aplicam-se com grande superioridade na análise de pequenos e médios objetos urbanos devido a sua resolução espacial. Os VANTs aplicam-se com grandes benefícios para levantamentos urbanos, visto que a sua facilidade de atualização da imagem (resolução temporal) e seu baixo custo comparado a uma imagem orbital, aliados a qualidade geométrica (resolução espacial) da imagem correspondem às expectativas desses levantamentos. E os pontos negativos da utilização dos VANTs fica a cargo do pós processamento, que requer devido ao tamanho do arquivo gerado, o uso de um hardware mais robusto para o processamento de dados (LIMA et al., 2016).

4 MATERIAIS E METODOS

4.1 Área de Estudo

A coleta de dados foi realizada na área do escritório filial da empresa AC Parceria e Terraplenagem Ltda, no município de Juruti-PA.

Para a escolha da área em questão levou-se em consideração o fator da mesma apresentar a necessidade de atualização e regularização frente a Prefeitura Municipal.

4.2 Base Cartográfica

O levantamento aéreo tem como base a implantação de marco topográfico feito com piquete em madeira dentro da área do imóvel, as coordenadas que serão utilizadas no levantamento são coordenadas obtidas de um rastreamento com a utilização de GPS RTK no modo cinemático, seu processamento foi através do PPP (Processamento por ponto preciso) no IBGE, conforme Figura 3.

Figura 3: Recorte relatório processamento PPP IBGE.

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)						
Sumário do Processamento do marco: AC-01						
Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,00	2024/02/21 20:51:35,00					
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,00	2024/02/21 23:15:05,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	NÃO DISPONÍVEL					
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	5,00					
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000					
Sigma da portadora(m):	0,010					
Altura da Antena ³ (m):	2,000					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,66 GPS 2,02 GLONASS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,86 GPS 0,86 GLONASS					
Coordenadas SIRGAS						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	-2° 10' 25,42241"	-56° 05' 41,99737"	8,69	9759706,366	600639,240	-57
Na data do levantamento ⁵	-2° 10' 25,41411"	-56° 05' 41,90027"	8,69	9759706,643	600639,145	-57
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,006	0,018	0,034			
Coordenada Altimétrica						
Modelo:	hgeoHNOR_DMBITUBA					
Fator para Conversão (m):	-18,43	Incerteza (m): 0,14				
Altitude Normal (m):	27,12					

Fonte: IBGE (2024)

4.3 Levantamento por Drone

4.3.1 Características do Equipamento

De acordo com o fabricante, o DJI Mavic 3 Enterprise com RTK (Figura 4) possui as seguintes características:

- Peso (Incluindo bateria e hélices): 915 gramas;
- Câmera 4/3 CMOS, pixels efetivos: 20 MP;
- Tempo de voo aproximado: 45 min;
- Distância máxima de transmissão (desobstruída, livre de interferência) 8km;

- GNSS, GPS + Galileo + BeiDou + GLONASS (GLONASS é suportado quando o módulo RTK está ativado)
- Capacidade da Bateria: 5000 mAh lipo 4s;

Figura 4 - DJI Mavic 3 Enterprise com RTK utilizado no levantamento.



Fonte: Autor

Especificação do receptor GNSS RTK utilizado no levantamento, modelo JAVAD TRIUMPH-1 (Figura 5):

- Receptor GNSS, com 216, GPS (L1/L2/L2C/L5) e GLONASS (L1/L2), Galileo (opcional), QZSS e Compass/Beidou;
- Rádio RTK interno de 01 Watt de potência (Base e Móvel)
- Taxa de atualização de 10Hz, inclusive para RTK
- Memória interna de 256 MB atualizável até 02 GB
- Precisão:
- Levantamento Pós-Processado, Estático e Estático Rápido:
- *Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm / *Vertical: 5 mm + 0,5 ppm
- Levantamento Cinemático RTK (Real Time Kinematic):
- *Horizontal: 1,0 cm + 1,0 ppm / *Vertical: 1,5 cm + 1,0 ppm

Figura 5: Equipamento GNSS, modelo JAVAD TRIUMPH-1.

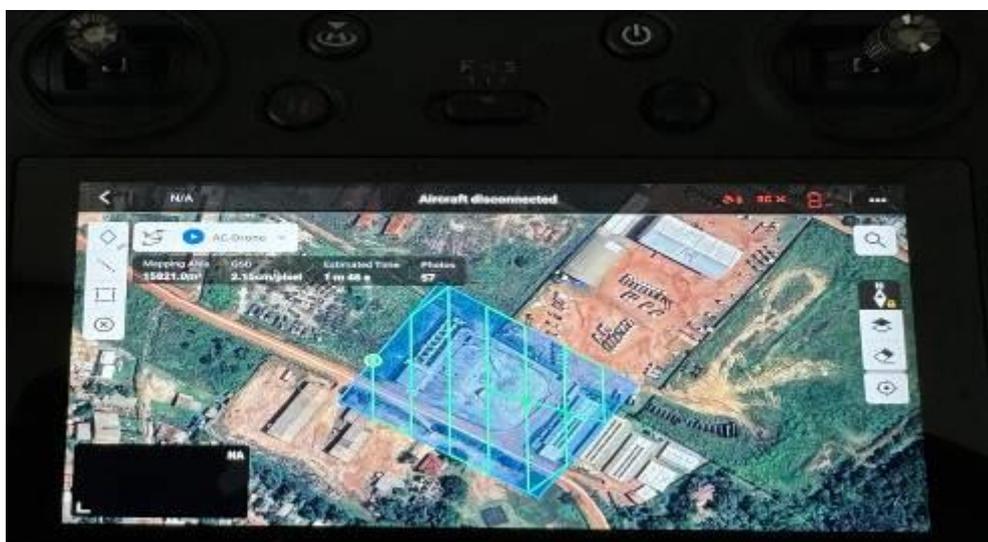


Fonte: Autor

4.3.2 Planejamento do Voo

O planejamento de voo foi realizado no próprio aplicativo do controle remoto o DJI Pilot 2. Esse aplicativo permite o usuário planejar o voo, tendo em vista as seguintes informações: altitude do voo, velocidade, tempo de voo, captura das fotos, sobreposição das imagens, entre outros parâmetros (Figura 6).

Figura 6 – Controle remoto – Plano de voo



Fonte: Aplicativo.

Na tabela 1 são apresentados os parâmetros básicos usados para o planejamento de voo.

TABELA 1 – Parâmetros básicos no planejamento de voo.

Parâmetro	Voo 1
Velocidade	13 m/s
Tempo estimado de voo	1min,45s
Altitude	80m
Recobrimento Lateral	80%
Recobrimento Longitudinal	80%

FONTE: Programa DJI Pilot 2.

4.3.3 Pontos de Apoio

Os pontos de apoio são pontos foto identificáveis inseridos ao longo da área de estudo que irão aparecer nas imagens aéreas. Esses pontos são utilizados para relacionar o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno, com o objetivo de no processamento das imagens aumentar a qualidade dos produtos finais gerados e obter um comparativo entre o processamento com Drone RTK e Drone com pontos de controle (Tabela 2).

Esses pontos (Tabela 2) foram coletados no modo RTK, visto que já temos a coordenada de partida georreferenciado.

Foram implantados quatro pontos de apoio aleatoriamente na área de estudo (Figura 7).

Figura 7 – Distribuição de pontos de apoio.



Fonte: Software Agisoft Photoscan.

Tabela 2: Coordenadas dos pontos de apoio, SIRGAS 2000- FUSO 21.

COORDENADAS GEOMÉTRICAS			
PONTO	NORTE (N)	ESTE (E)	COTA (Z)
P01	9.759.694,839	600.625,555	26,648
P02	9.759.660,403	600.701,680	23,852
P03	9.759.698,649	600.728,100	26,843
P04	9.759.752,109	600.699,144	27,966

Fonte: Autor

4.3.4 Programa e Software

O levantamento aerofotogramétrico apresenta etapas bem definidas e específicas que necessitam da utilização de programas especializados que viabilizassem a execução das etapas:

- Agisoft Photoscan: Este programa realiza processamento fotogramétrico de imagens digitais e gera dados espaciais em 3D, resulta em um sistema de processamento automatizado inteligente. Profissionais da fotogrametria têm controle completo sobre a precisão dos resultados gerados.
- AutoCad Civil 3D: É um software voltado para elaboração e análise de projetos em diversos ramos da engenharia. Possui todas as funcionalidades do AutoCAD e uma gama de ferramentas exclusivas que permite o desenvolvimento de plantas planialtimétricas e apresentando um produto final do levantamento.

4.4 Padrão de Exatidão Cartográfica– PEC

A qualidade de um mapa deve ser garantida por leis e normas específicas que apresentem os parâmetros mínimos de qualidade. No caso do Brasil, as normas que norteiam a produção e a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, publicado no Diário Oficial da União de 22 de junho de 1984. Para um entendimento do assunto torna-se necessário ter uma boa definição dos termos precisão, exatidão e acurácia cartográfica (ZANETTI, 2017).

Inserido no Decreto 89.817 há também padrões que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica e de

acordo com Cintra e Nero (2005) *apud* Zanetti (2017) independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma. O padrão brasileiro de acurácia posicional para dados espaciais é definido pelo Decreto-lei nº 89.817 de 1984, de acordo com as tolerâncias definidas no “Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC) e “Erro-Padrão” (EP), onde seus valores são definidos em função da escala de avaliação dos dados espaciais e das classes A, B ou C, definidas por esse Decreto-lei. Em 2010, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), documento este ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) criada em 2008 pelo Decreto-lei nº 6.666. Em um de seus itens, 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). A Tabela 3 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV.

Tabela 3: Tolerâncias para avaliação da acurácia posicional.

Classe (PEC)	Classe (PEC-PCD)	Planimetria		Altimetria	
		PEC(m)	EP(m)	PEC	EP
-	A	0,28*esc	0,17*esc	0,27 eq	0,17*eq
A	B	0,5*esc	0,3*esc	1/2*eq	1/3*eq
B	C	0,8*esc	0,5*esc	3/5*eq	2/5*eq
C	D	1*esc	0,6*esc	3/4*eq	1/2*eq

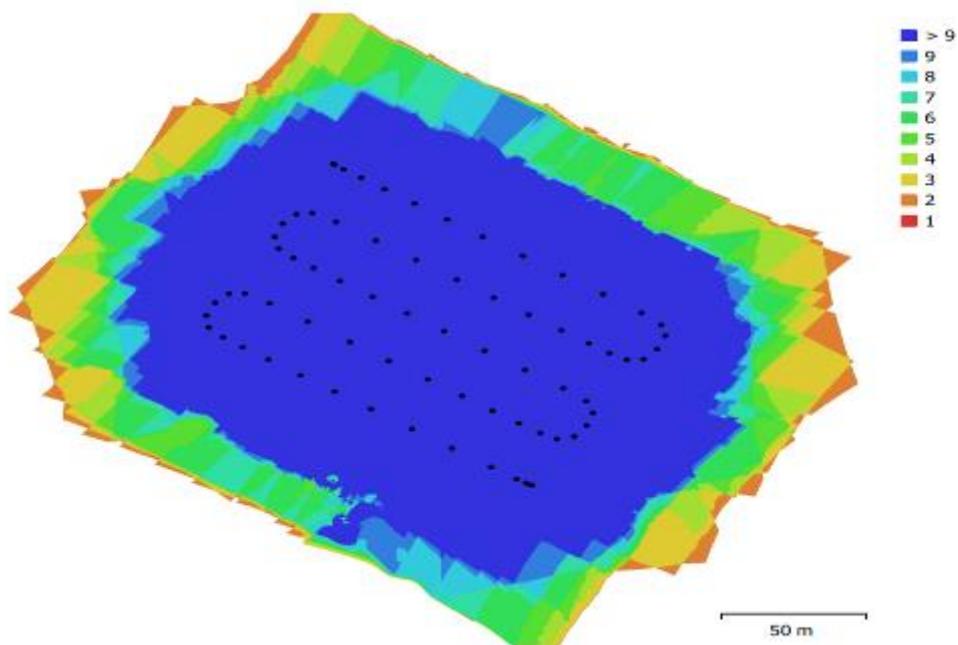
Fonte: Decreto-lei 89.817/ ET-ADGV *apud* Zanetti (2017)

5 RESULTADOS

5.1 Produtos gerados por Drone com RTK

Quanto maior a sobreposição de fotos em um mesmo lugar, melhor a criação do MDS (Modelo Digital de Superfície) e posteriormente o MDT. A Figura 8 mostra as regiões de maiores sobreposições de imagens.

Figura 8: Mapa de sobreposição de imagens.



Fonte: Autor

O Drone com RTK oferece precisão de nível centímetro, permitindo correções de posicionamento em tempo real. No processamento das imagens conseguimos ver o deslocamento de cada imagem, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Mapa dos locais da câmera e estimativas de erro.



Fonte: Autor

O erro em altitude é representado pela cor. Os erros X e Y são representados pela forma da elipse. Observa-se que a precisão do drone com RTK é alta após o processamento sem os pontos de controle, porem ao gerar o processamento com a correção pelos pontos de controle distribuídos na área do levantamento temos uma melhora significativa nos resultados. A média do erro, sem a correção pelos pontos de controle é apresentado na Tabela 4 e a média do erro com a correção pelos pontos de controle é apresentado na Tabela 5.

Tabela 4: Média de erro de localização das fotos sem pontos de controle.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
10,5508	7,7246	3,70515	13,0762	13,591

Fonte: Autor

Tabela 5: Média de erro de localização das fotos com pontos de controle.

X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total error (mm)
3,70202	4,15696	0,365388	5,56644	5,57842

Fonte: Autor

O Produto gerado pelo processo de moiscagem de várias ortofotos. Esse processo é realizado através de pontos entre duas ou mais imagens sobrepostas entre si (Figura 10).

Figura 10: Ortofotomosaico formado por 73 imagens.



Fonte: Autor.

Entre várias vantagens de usar mosaicos de ortofotos, destacam-se a possibilidade de realizar medições diretas de distâncias, áreas e ângulos, já que possui grande quantidade de informações facilitando a interpretação dos dados. Suas aplicações estão em diversas áreas entre elas projetos de estradas, cadastro urbano, atualização cartográfica, entre outros, vale destacar que o uso dos produtos gerados seja para tais atividades descritas atende vários tipos de estudo. O uso dessa ferramenta tornou-se muito útil para acelerar tomadas de decisão em campo.

5.2 Análise de qualidade

Analisando a tabela 4 retirada do relatório de processamento, a precisão processamento em Coordenadas (XY) é de 0,13 cm o que torna o resultado excelente. Nas precisões de Cota (Z) o processamento ficou com uma média de 0,037 cm, que é considerado um bom erro, o que torna o resultado também excelente.

Por outro lado, analisando a tabela 5 retirada do relatório de processamento, a precisão processamento em Coordenadas (XY) é de 0,005mm e nas precisões de Cota (Z) o processamento ficou com uma média de 0,0003mm, considerado assim um excelente erro e indicando uma qualidade superior ao aerolevanteamento processado sem os pontos de controle.

6 CONCLUSÃO

Todas as tecnologias têm suas finitudes. Este estudo avaliou a cartográfica do Drone com RTK como uma ferramenta de grande ajuda e desempenho quando usado junto com pontos de controle.

Avaliando métodos de levantamento, verificando padrões de produtividade e precisão, tempo de execução, disponibilidade de pessoal e custo financeiro, tudo de forma comparativa. É possível notar que, apesar da utilização do drone no caso, ele dispõe de todo um aparato para a precisão e acurácia do método. A fotogrametria apresenta um melhor detalhamento do terreno. Sua aplicação pode ser benéfica para diversos trabalhos, como projetos, cadastros urbanos e outros.

Contudo, não se tem como objetivo analisar o método mais eficiente, pois todos eles têm suas aplicações e são eficientes no que propõem. Dessa forma, a ferramenta pode ser usada para diversos tipos de serviços na área da agrimensura.

A rápida disseminação, utilização e aprimoramento dos Drones nos últimos anos, principalmente com o propósito de adquirir imagens aéreas, vem fazendo com que esses equipamentos tragam a Fotogrametria a ocupar um novo espaço no mercado que, por inúmeros ficava restrito aos levantamentos terrestres.

Os Drones são o futuro, tem muito a evoluir e demonstram agilizar e automatizar os processos de Geoprocessamento e Georreferenciamento, também se mostrando bastante úteis principalmente quando o Imóvel está situado em áreas de difícil acesso.

REFERÊNCIAS

- Agisoft PhotoScan Manual do Usuário Professional Edition, Versão 1.2.
- DJI Pilot - <https://www.dji.com/br/downloads/djiapp/dji-pilot>.
- Decreto-lei 89.817/ ET-ADGV apud Zanetti (2017).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.
- PEREIRA, Danilo Cardoso; FERNANDA SANTOS FERNANDES, LAYS; FERNANDES, Douglas. AS VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE DRONES NO AGRONEGÓCIO E NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. Revista Alomorfia, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 705–716, 2023. Disponível em: <https://alomorfia.com.br/index.php/alomorfia/article/view/163>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023b). Atlas escolar. Conceitos gerais: O que é cartografia? GNSS. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/aerofotogrametria.html>. Acesso em: 06/06/2023.
- SANTOS, Lidiane Daniela; SCRIPCHENCO, Natália. Utilização de drones e suas funcionalidades na agricultura de precisão. Orientador: Edson Roberto Manfré. 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Agronegócios) - Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, 2023.

