

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ACURÁCIA DA MOSAICAGEM GERADA POR VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO UTILIZADO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**

GUSTAVO MÁTAR GALVÃO

Orientador: prof. Dr. David Luciano Rosalen
Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em AGRONOMIA.

**JABOTICABAL – SP
1º Semestre/ 2014**

Galvão, Gustavo Mátar

G182a Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado
utilizado na agricultura de precisão / Gustavo Mátar Galvão. – –
Jaboticabal, 2014. Nº 18, 28 cm

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal para graduação em
Agronomia, 2014

Orientador: David Luciano Rosalen

Banca examinadora: Gustavo Fedrizzi, Marcelo Pires do Prado
Machado

Bibliografia

1. Vant. 2. Fotogrametria. 3. Erro. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 528.7

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais pelo carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela confiança.

Ao meu professor orientador Dr. David Luciano Rosalen, pela paciência.

Ao Eng. Agro. Gustavo Fedrizzi e à GeoAgri de Ribeirão Preto/SP, pelo apoio na realização do voo e na disponibilização do *software* Terra 3D.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Agricultura de precisão.....	13
2.2. Fotogrametria.....	14
2.3. Pontos de controle.....	17
2.4. Orientação fotogramétrica.....	18
2.5. Veículos aéreos não tripulados.....	19
2.6. Mosaico.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ponto de controle na forma de um marco ou estação geodésica.....	18
Figura 2.	Visão geral da área de estudo e localização aproximada dos pontos de controle utilizados no trabalho.....	24
Figura 3.	Implantação do ponto de controle 2, localizado no entorno do câmpus da UNESP de Jaboticabal-SP.....	25
Figura 4.	Quadras mapeadas para fins de determinação da acurácia dos mosaicos gerados a partir da cobertura aerofotogramétrica realizada por VANT.....	26
Figura 5.	Coletor de dados TSC3 e receptor GNSS R6.....	27
Figura 6.	Veículo aéreo não tripulado (VANT) Swinglet da Sensefly, utilizado para a cobertura aerofotogramétrica da área de estudo.....	28
Figura 7.	Câmera Canon IXUS22OHS usada no VANT.....	29
Figura 8.	Mosaico da área de estudo.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Coordenadas plano-cartesianas (E,N) e altitude elipsoidal (h) com os respectivos erros (e N, e E, e h) dos pontos de controle para o mosaico controlado. Sistema de Referência SIRGAS2000, Sistema de projeção UTM, Fuso 22.....	32
Tabela 2.	Áreas, em metros quadrados, das quatro glebas mapeadas e respectivas diferenças (valores absolutos) em relação ao controle.....	34
Tabela 3.	Perímetros, em metros, das quatro glebas mapeadas e respectivas diferenças (valores absolutos) em relação ao controle.....	35

ACURÁCIA DA MOSAICAGEM GERADA POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO UTILIZADO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

RESUMO

A utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) tornou-se uma realidade no cenário agrícola brasileiro com o lançamento de diferentes modelos no mercado, com finalidade, principalmente, agrícola. As imagens coletadas por um VANT podem gerar, após processamento, um mosaico da área de estudo. Para a confecção e o georreferenciamento do mosaico podem ser implantados ou não pontos de controle no terreno. Dessa forma, o trabalho teve como objetivo comparar um mosaico com pontos de controle e um sem pontos de controle, gerados a partir de imagens coletadas por um VANT, utilizado, principalmente, para finalidades agrícolas. Os resultados mostraram que a qualidade na determinação de áreas e perímetros não apresentou diferença significativa com ou sem a utilização de pontos de controle. O mosaico gerado sem pontos de controle obteve um erro médio de 23,7% do tamanho do pixel; com pontos de controle, o erro médio foi de 10,6%, proporcionando uma melhora de aproximadamente 50%. Os erros planimétricos e altimétricos em relação aos pontos de controle, para o mosaico controlado, atingiram a ordem de decímetros, com acurácia planimétrica de 12,8 cm, resultado considerado satisfatório levando-se em consideração, principalmente, a finalidade do VANT avaliado.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, Fotogrametria, Erro.

ACCURACY OF THE MOSAICKING GENERATED FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE USED IN THE PRECISION AGRICULTURE

ABSTRACT

The need for unmanned aerial vehicle (UAV) is a Brazilian reality in the world's agricultural, once they have models penetrating the market with agricultural purpose. After processing, the images collected by a UAV can generate a mosaic of the study area. For making and georeferencing the mosaic, can be deployed or not ground control points. Thus, the study aimed to compare a mosaic with ground control points and without ground control points generated from images collected by a UAV used primarily for agricultural purposes. The results showed that the quality in the determination of areas and perimeters no presented significant difference with or without the use of ground control points. The mosaic generated without ground control points obtained an average error of 23.7% of the pixel size; with ground control points, the average error was 10.6%, providing an improvement of approximately 50%. Planimetric and altimetric errors, with respect to the ground control points, for the controlled mosaic, reached the order of decimeters, with planimetric accuracy of 12.8 cm, a result considered satisfactory taking into account mainly the purpose of assessed UAV.

KEYWORDS: UAV, Photogrammetry, Error.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão consiste em um conjunto de tecnologias cujo objetivo é aumentar a eficiência de produção, com base no manejo diferenciado de áreas agrícolas. Ela não deve ser pensada apenas como a habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local; a agricultura de precisão deve ser considerada, também, como a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local. Segundo Tschiedel e Ferreira (2002), as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Assim, há o compromisso no uso da terra e a conscientização da responsabilidade com as gerações futuras.

O uso de imagens aéreas ou orbitais tem auxiliado a agricultura de precisão. É o caso da Fotogrametria, que em uma perspectiva atual pode ser definida como a “arte, ciência, e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de

gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos” (AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2000 apud SANTOS; DIAS, 2011). Sua utilização no campo da agricultura tem levado a resultados relevantes. Informações obtidas através dessa ciência têm sido utilizadas no mapeamento de culturas, pragas, doenças, cadastro rural e solos. Com suas imagens orbitais ainda é possível identificar espécies vegetais, calcular área foliar, biomassa, cobertura do solo, quantificar nitrogênio, clorofila, água, deficiência nutricional, etc.

Ao encontro dos interesses do uso da Fotogrametria na agricultura de precisão, uma nova tecnologia tem se destacado: o veículo aéreo não tripulado (VANT). Um instrumento que tem fornecido uma boa resolução das imagens, por não sofrerem obstrução por nuvens ou fumaça devido à queima de vegetação. Além disso, o método oferece maior liberdade ao pesquisador, uma vez que as imagens podem ser obtidas no momento em que se fazem necessárias. Desta maneira, desde o final dos anos 90 e início dos anos 2000, quando o VANT passou a ser mais utilizado no Brasil (BIAGIONI, 2010), ele vem auxiliando o agricultor com novos conhecimentos e estratégias de manejos eficientes no gerenciamento da agricultura e monitoramento das atividades, maximizando a rentabilidade das colheitas e tornando o agronegócio mais competitivo.

O produto do mapeamento com VANT é, de maneira geral, um mosaico de imagens da área coberta pelo voo. O mosaico pode ser definido como um conjunto constituído por um bloco de imagens aéreas adjacentes e unidas

sistematicamente pelo devido ajuste e sobreposição de suas margens vizinhas, de maneira a se obter uma representação contínua da superfície (RAFFO, 2000 *apud* SANTOS, 2004); podendo ser dividido em três classes: controlado, não controlado e semicontrolado (SANTOS, 2004).

Para este trabalho, nos concentramos na comparação de resultados entre mosaicos não controlados e mosaicos controlados. Diferentemente dos mosaicos não controlados, os controlados requerem a implantação de pontos de controle no terreno para orientar o modelo fotogramétrico em relação a vertical e corrigir sua escala (ROSALEN, 1997). Destaca-se que pontos de controle são pontos cujas coordenadas são, preferencialmente, determinadas em campo através de métodos de posicionamento; na atualidade são utilizados métodos de posicionamento GNSS que garantam qualidade compatível com os objetivos propostos do voo.

Outro ponto importante a ser destacado é que a implantação de pontos de controle, em campo, demanda tempo e recursos extras, além do próprio VANT e respectivo *software* de processamento digital de imagens. Exige o deslocamento até a área, pessoal qualificado para a coleta de dados de campo, receptores GNSS, acessórios e *softwares* específicos. Uma infraestrutura que encarece o mapeamento fotogramétrico via VANT.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia obtida por dois diferentes métodos de mosaicagem, gerados a partir de imagens aéreas coletadas por um VANT: um com utilização de pontos de controle no terreno e outro sem utilização de pontos de controle no terreno.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Agricultura de precisão

Diante das necessidades mundiais, a busca por maior produção em áreas agricultáveis com menor custo e maior eficiência nas operações tem sido uma constante preocupação de produtores, profissionais e pesquisadores envolvidos na produção agrícola.

O desenvolvimento tecnológico tem trazido novas perspectivas e soluções para o manejo de solo, insumos e plantas, unindo conhecimento agrônomo tradicional com ferramentas computacionais e automação. A expressão agricultura de precisão é usada para designar um sistema de produção de uma área específica, em uma escala menor do que a comumente usada:

O termo Agricultura de Precisão vem sendo utilizado no Brasil para designar o sistema de produção adotado por agricultores em outros países denominado de *Precision Agriculture*, *Precision Farming*, *Site-specific Crop management* (MANZATTO et al., 1999). Assim, a agricultura de Precisão ou manejo sítio-específico é o manejo de lavouras agrícolas ou pecuárias em uma escala espacial menor que aquela normalmente adotada para toda a lavoura (PLANT, 2001). (MACHADO, 2004, p.97)

Como um novo paradigma para a agricultura atual, a agricultura de precisão é a habilidade de monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em nível local; tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como o uso consciente dos recursos naturais. Segundo Mantovani *apud* Tschiedel e Ferreira (2002, p. 160), “além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a ideia de compromisso no uso da terra, com relação às gerações futuras”.

Desta forma, a agricultura de precisão não é apenas um novo conceito, mas uma nova postura de se pensar, de se trabalhar todo o sistema de produção agrícola, pois reuni, segundo Tschiedel e Ferreira (2002, p. 160), tecnologias e novos conhecimentos de informática, eletrônica, geoprocessamento, sistemas de bancos de dados e Sensoriamento Remoto, no qual se enquadra a Fotogrametria.

2.2. Fotogrametria

O termo Fotogrametria, segundo Rosalen (1997), é composto por três palavras gregas: *foto* (luz) + *gramma* (traçado) + *metron* (medida) literalmente “medir por meio do traçado da luz”, ou seja, por meio da fotografia que é o registro da luz. Rosalen *apud* Manual of Photographs (1980), editado pela

American Society of Photogrammetry (Associação Americana de Fotogrametria) define a Fotogrametria como: “a ciência ou a arte de se obterem medidas confiáveis por meio de fotografias”.

Em Rosalen (1997), o Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria classificam-se em três níveis de coleta de dados: terrestre, aéreo e espacial. No nível terrestre tem-se uma visão horizontal, pois são obtidas através de câmeras métricas acopladas ou não a teodolitos. Destaca-se que a tecnologia atual permite a realização de Fotogrametria Terrestre com *Scanners* terrestres ou ainda Estações Totais equipadas com câmeras. O nível aéreo (aerofotogrametria) é viabilizado com a utilização de câmeras fixadas em aviões ou, atualmente, em veículos aéreos não tripulados (VANT). O espacial é obtido por satélites, ou outros veículos espaciais.

Dentre as diferentes geotecnologias utilizadas na agricultura de precisão, a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto destacam-se pela rapidez e qualidade dos dados obtidos, como indica Volterrani (2003), que afirma que através de imagens orbitais é possível identificar espécies vegetais, calcular área foliar, biomassa, cobertura do solo ou ainda quantificar teor de nitrogênio, clorofila, água ou ainda deficiência nutricional.

A importância da Fotogrametria é mundialmente reconhecida, vem se aprimorando e é empregada em diversas áreas como: mapeamento, geologia, engenharia agrônoma e florestal, projetos e construção civil, cadastro urbano e rural, arquitetura, arqueologia, meteorologia, oceanografia, medicina e criminologia (ROSALEN, 1997).

A evolução técnica mais intensa da Fotogrametria, segundo Rosalen (1997), começou na década de 60 do Século XX, pois até a década de 50 a Fotogrametria era mecânica e denominada Fotogrametria Analógica, quando os equipamentos ópticos-mecânicos realizavam o processo de orientação fotogramétrica analogicamente, sendo necessário para essa função técnicos especificamente capacitados. Com o avanço da eletrônica e o surgimento de computadores e o aparecimento dos restituidores analíticos, a partir de 1976, ocorreu uma revolução na Fotogrametria, permitindo a orientação de forma analítica, e não mais analógica, surgindo então a Fotogrametria Analítica. No início dos anos 80, do século passado, a Fotogrametria Digital teve seu início, tendo como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados e não mais de imagens analógicas que ainda eram utilizadas na Fotogrametria Analítica. A imagem digital pode ser adquirida diretamente de uma câmera digital, ou mesmo através da digitalização de uma imagem analógica (submetendo-a a um *scanner*). Nos anos 90, esta técnica da Fotogrametria foi usada de maneira extensiva, resultado do desenvolvimento da informática tendo computadores com capacidade suficiente para o processamento de imagens digitais, além de *softwares* específicos, assim como *scanners* mais eficientes.

A diferença da restituição da imagem entre a Fotogrametria Digital e a Analítica é que a Digital faz a leitura da imagem numérica e a tecnologia analítica é por meio de filmes, que são revelados em imagens fotográficas. Segundo Rosalen (1997) um restituidor digital, deve realizar as seguintes operações: aquisição digital de imagens; tratamento digital de imagens

(correções radiométricas e geométricas, por exemplo) e restituição digital (correlação de imagens e reconhecimento de padrões).

2.3. Pontos de controle

Segundo Rosalen (1997), o mapeamento através da Fotogrametria deve ser iniciado com a implantação de pontos de controle, isto é, pontos de coordenadas conhecidas (georreferenciados). Devem ser localizados na área a ser mapeada e o seu georreferenciamento, na atualidade, é realizado por meio da geodésica espacial, isto é, sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de posicionamento.

Os pontos de controle são marcos (Figura 1) ou locais foto-identificáveis cujas coordenadas geodésicas são conhecidas, portanto, esses pontos são utilizadas para o georreferenciamento das respectivas imagens aéreas obtidas no local; tradicionalmente, os pontos de controle são utilizados na orientação absoluta do modelo estereoscópico, isto é, o georreferenciamento deste modelo.



FIGURA 1. Ponto de controle na forma de um marco ou estação geodésica.

2.4. Orientação fotogramétrica

A orientação fotogramétrica tem como objetivo posicionar os fotogramas na mesma posição na qual foram coletados no voo e também realizar o devido ajuste da escala.

Segundo Rosalen (1997), a orientação fotogramétrica pode ser dividida em três etapas: a orientação interior ou interna, a orientação relativa e a orientação absoluta. Ainda que alguns autores considerem a orientação relativa e a absoluta um só item.

A orientação interna consiste no processo de criar “a geometria interna da câmera aérea no restituidor”, alinhando o centro da imagem fotográfica com o centro da lente da câmera; para tanto, ajustam-se as marcas fiduciais da imagem e a distância focal da câmera no restituidor.

A orientação relativa é assim denominada porque estabelece a posição relativa entre as fotos, fazendo com que os raios luminosos dos pontos homólogos se encontrem em um único ponto, obtendo-se, dessa forma, um modelo tridimensional do terreno. Essa orientação é feita a partir do alinhamento dos pontos homólogos das imagens geradas.

A orientação absoluta é responsável pelo georreferenciamento do modelo tridimensional do terreno. Destaca-se que a tecnologia atual permite a orientação relativa e a absoluta de serem realizadas simultaneamente e em blocos de imagens (SATO, 2003).

2.5. Veículos aéreos não tripulados

A partir de 1980, iniciaram-se alguns projetos de veículos aéreos não tripulados (VANT) no Brasil, mas, segundo Medeiros (2008), foi na década de 90, do século passado, que ocorreu um maior desenvolvimento desta tecnologia no Brasil. Destaca-se que a utilização de VANT está se firmando como uma importante opção na agricultura de precisão, visto que essa tecnologia apresenta, principalmente, grande versatilidade na realização de mapeamentos em larga escala.

Segundo Johnson (2003), o VANT é usado para monitoramento de diferentes fatores como na identificação de pragas ou ainda deficiências nutricionais. Também podem ser utilizados no monitoramento de desmatamentos, sistemas florestais, assim como no mapeamento do solo, além de auxiliar no uso e aplicação de agroquímicos e no mapeamento da rede de drenagem.

A preferência pelo uso de VANT para a cobertura aerofotogramétrica, na agricultura de precisão, deve-se principalmente à boa resolução das imagens obtidas e por não sofrerem obstrução por nuvens ou fumaça devido à queima de vegetação. Além disso, o método oferece maior liberdade ao usuário, uma vez que as imagens podem ser obtidas no momento em que se fazem necessárias. Conforme Biagioni (2010), o uso de VANT no Brasil na agricultura de precisão data do final dos anos 90 e início dos 2000 e vem auxiliando o agricultor com novos conhecimentos e estratégias de manejos eficientes no gerenciamento da agricultura e monitoramento das atividades, maximizando a rentabilidade das colheitas e tornando o agronegócio mais competitivo.

Atualmente há no mercado vários modelos de VANT. Por exemplo, o modelo utilizado no trabalho foi o Swinglet, da empresa SenseFly. Esse VANT, em condições normais de voo (altura de voo de 100 a 150 m e com 50% a 70% de sobreposição longitudinal) possibilita uma acurácia relativa de 10 cm e uma absoluta de 3 a 5 m (PARROT COMPANY, 2014).

2.6. Mosaico

Um mosaico é “constituído por um bloco de fotos aéreas adjacentes unidas sistematicamente pelo devido ajuste e sobreposição de suas margens vizinhas, de maneira a se obter uma representação contínua da superfície” (JUNIOR, 2002; RAFFO, 2000 *in* SANTOS, 2004). Segundo Santos (2004), os mosaicos podem ser divididos em três classes: controlados, não controlados e semicontrolados:

Não controlados – são preparados através da simples mesclagem e ajuste entre os detalhes das margens de imagens aéreas adjacentes. Nesse processo não são utilizados pontos de referência no solo (sem posicionamento em relação a terreno) e as fotografias envolvidas não são submetidas a nenhuma técnica de retificação. Por isso, podem ser produzidos rápida e facilmente, porém apresentando grande quantidade de distorções devido ao deslocamento planimétrico dos objetos (terreno irregular) e à consequente diferença de escala ao longo de toda a extensão da superfície. (...)

Controlados – são obtidos a partir de fotos aéreas submetidas a métodos específicos de retificação, fazendo-as corresponder às imagens no exato instante em que foram tomadas, como se fossem perfeitamente verticais e estivessem apresentando escala constante. Portanto, as deformações causadas pelas irregularidades da superfície são corrigidas. (...)

Semicontrolados - são produzidos combinando-se as especificações das duas classes anteriores. Portanto, podem usar fotos retificadas, porém sem pontos de controle, ou serem gerados com o uso dos pontos de apoio, mas com fotos que apresentam distorções. (SANTOS, 2004).

Destaca-se que o mosaico pode ser considerado como o principal produto da Fotogrametria atual e é obtido exclusivamente através de *softwares* específicos, como o *software* Terra 3D utilizado no presente trabalho.

Também é importante ressaltar que, para a elaboração de mosaicos controlados, faz-se necessária a implantação de pontos de controle no terreno.

Essa implantação exige o deslocamento até a área, de pessoal qualificado para a coleta de dados de campo, receptores GNSS, acessórios e *softwares* específicos. Toda essa infraestrutura, obviamente, encarecerá a cobertura aerofotogramétrica da área. Dessa forma, torna-se importante verificar a viabilidade da realização de mapeamentos aerofotogramétricos sem controle de campo, isto é, o georreferenciamento direto do mosaico. Essa opção tornaria ainda mais versátil e prática a utilização de VANT em suas diversas aplicações na agricultura de precisão.

3. MATERIAL E MÉTODOS¹

A área de estudo envolveu parte do câmpus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV/UNESP e do Bairro Jardim Nova Aparecida, Jaboticabal - SP. A área localiza-se em torno da latitude 21°15'22"S e longitude 48°15'58"W, altitude média de 576 m. Para avaliação da acurácia da mosaicagem gerada através de cobertura aerofotogramétrica via VANT, foram estabelecidos dois tratamentos: mosaico gerado com pontos de controle no terreno e mosaico gerado sem pontos de controle no terreno.

¹ A citação de marcas e modelos comerciais não implica em recomendação de uso destes por parte do autor.

Dessa forma, foram implantados quatorze pontos de controle planialtimétricos, distribuídos ao longo da área de estudo (Figuras 2 e 3).

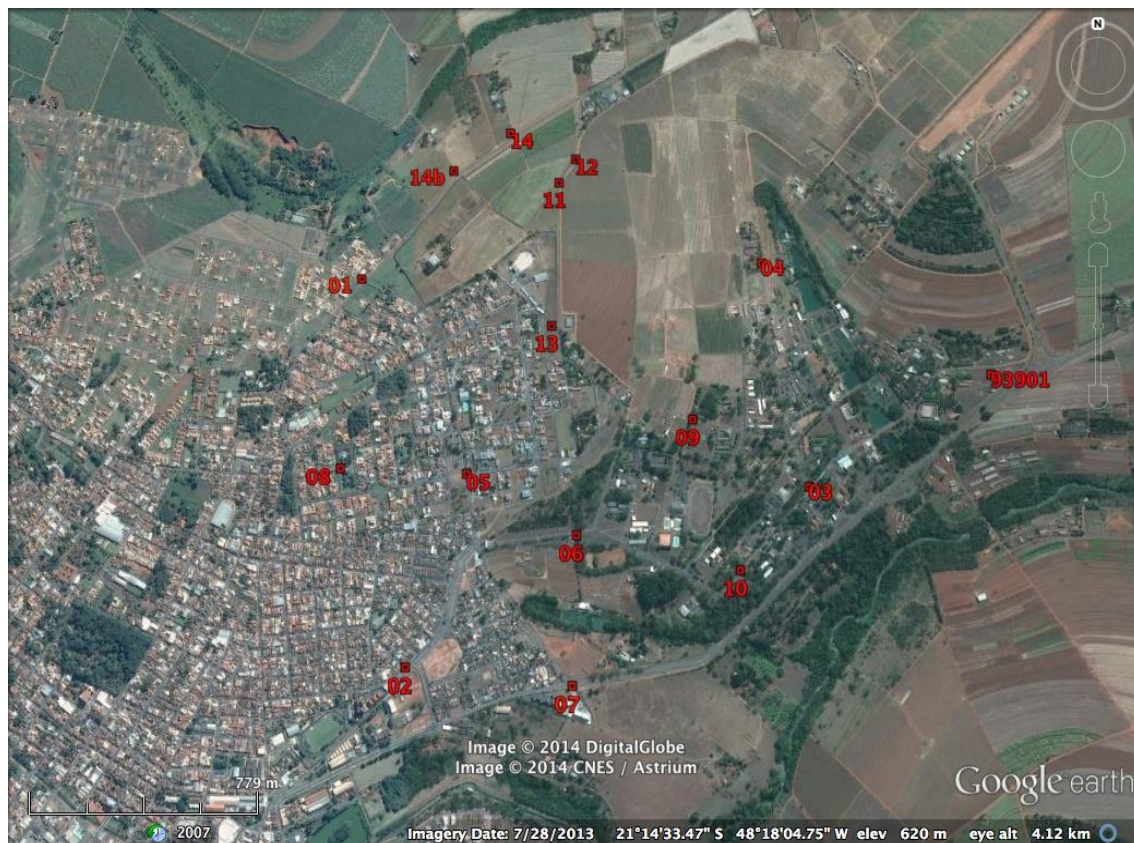


FIGURA 2. Visão geral da área de estudo e localização aproximada dos pontos de controle utilizados no trabalho. (GOOGLE EARTH)



FIGURA 3. Implantação do ponto de controle 2, localizado no entorno do câmpus da UNESP de Jaboticabal – SP.

Para o controle da qualidade dos mosaicos gerados, foi realizado um levantamento cadastral de quatro quadras localizadas na área coberta pelo voo (Figura 4).



FIGURA 4. Quadras mapeadas para fins de determinação da acurácia dos mosaicos gerados a partir da cobertura aerofotogramétrica realizada por VANT. (GOOGLE EARTH)

Tanto para a determinação das coordenadas dos pontos de controle, como para o levantamento cadastral das quadras, utilizou-se o receptor GNSS L1L2, marca Trimble, modelo R6 e o coletor de dados marca Trimble, modelo TSC3 (Figura 5). O método de posicionamento GNSS adotado foi o relativo rápido estático. Para o pós-processamento das observáveis GNSS foi utilizado o *software* Trimble Business Center 2.8.



FIGURA 5. Coletor de dados TSC3 (a) e receptor GNSS R6 (b).

Para a cobertura aerofotogramétrica da área de estudo, foi utilizado o VANT Swinglet da Sensefly (Figura 6). A altura de voo média foi de 760 m, sendo que cada imagem cobriu uma área de 0,06 km². A área de cobertura total foi de 285,79 ha, 2,86 km². O ortomosaico é composto por 47 das 48 fotos originais e a resolução do pixel no chão das imagens originais foi calculada em 23,27 cm. O tempo de voo foi de 25 minutos e o processamento automático das imagens foi de 3 horas. Durante o voo foram registradas imagens com taxa máxima de 3,8 s, tendo como limite 700 imagens por voo (PARROT COMPANY, 2014).



FIGURA 6. Veículo aéreo não tripulado (VANT) Swinglet da Sensefly, utilizado para a cobertura aerofotogramétrica da área de estudo.

A câmera utilizada foi a Canon IXUS22OHS (Figura 7), com resolução de 16 MP e distância focal de 30 mm e que registra o espectro eletromagnético do visível (PARROT COMPANY, 2014).

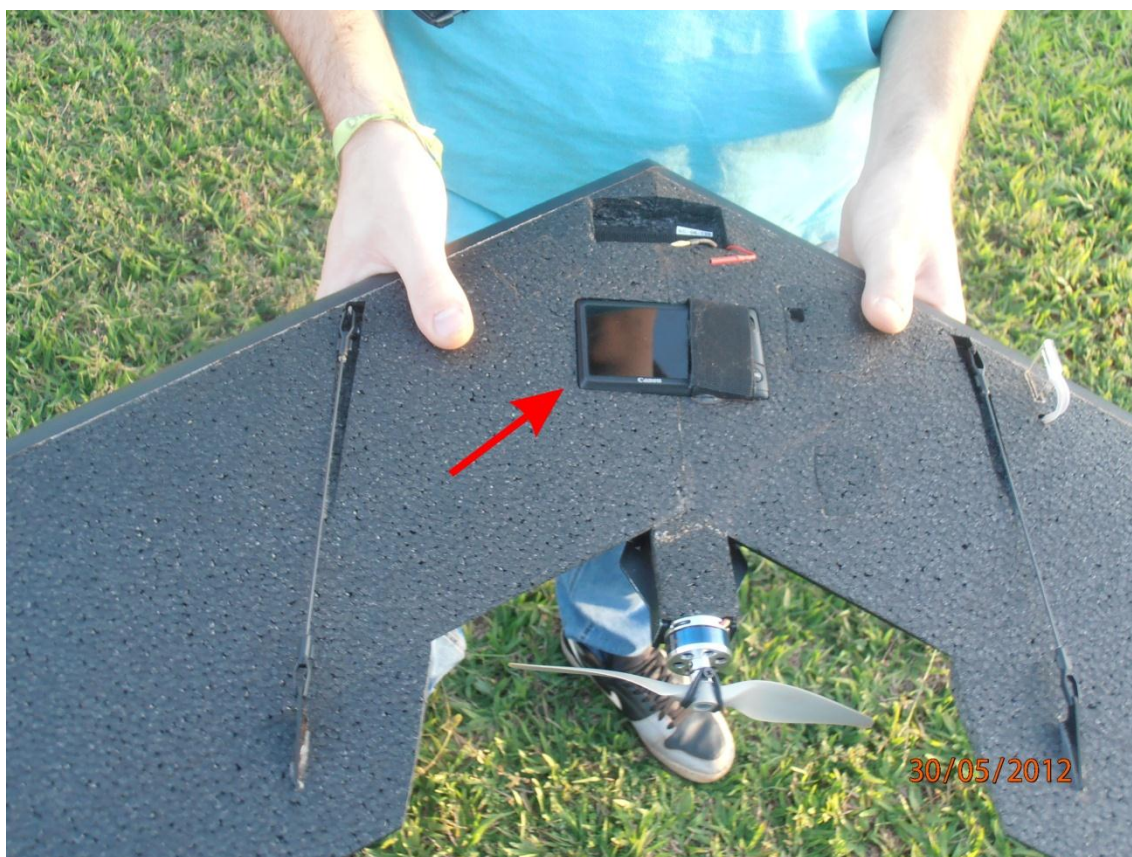


FIGURA 7. Câmera Canon IXUS22OHS usada no VANT.

Os mosaicos da área de estudo foram gerados com e sem pontos de controle no terreno, através do *software* Terra 3D. Também, nesse mesmo *software* foi realizada a análise estatística referente aos erros do mosaico

controlado frente aos pontos de controle implantados e ao erro médio do tamanho do pixel nos dois mosaicos.

As quadras mapeadas em campo foram vetorizadas nos dois mosaicos gerados, através do *software* AutoCad Map – versão 2010. A partir da vetorização foram calculados as áreas e os perímetros de cada quadra para comparar com o levantamento cadastral realizado no campo. Os valores de áreas e perímetros foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 8 é exibido um dos mosaicos gerado pelo *software* Terra 3D. À direita da imagem nota-se o câmpus da UNESP de Jaboticabal – SP.



FIGURA 8. Mosaico da área de estudo.

A Tabela 1 exibe as coordenadas determinadas pelo posicionamento GNSS para os dez pontos de controle utilizados, dos quatorze medidos em campo. Exibe também, os respectivos erros em relação ao mosaico controlado gerado. Esses erros foram determinados pelo relatório de processamento, gerado pelo *software* Terra 3D, do mosaico que utilizou pontos de controle no terreno.

TABELA 1. Coordenadas plano-cartesianas (E,N) e altitude elipsoidal (h) com os respectivos erros (e E, e N, e h) dos pontos de controle para o mosaico controlado. Sistema de Referência SIRGAS2000, Sistema de projeção UTM, Fuso 22.

Ponto	E (m)	e E (m)	N (m)	e N (m)	h (m)	e h (m)
1	779318,438	0,014	7649141,170	0,198	626,285	0,418
2	779473,248	0,033	7647828,411	0,033	586,225	0,033
4	780794,557	0,039	7649173,388	0,091	582,590	0,123
5	779695,001	0,050	7648457,706	0,031	607,019	0,154
7	780054,371	0,122	7647753,276	0,020	580,253	0,012
8	779246,916	0,167	7648486,526	0,020	617,458	0,059
11	780049,826	0,065	7649469,396	0,034	630,169	0,040
12	780113,159	0,177	7649555,648	0,120	628,098	0,175
13	780010,290	0,306	7648956,494	0,131	624,283	0,926
14	779657,808	0,009	7649525,707	0,062	622,758	0,047
Média	-	0,104	-	0,074	-	0,199
Desvio padrão da média	-	0,031	-	0,019	-	0,089

Conforme se observa nos dados da Tabela 1, o erro médio ou a acurácia para as coordenadas E foi de $(0,104 \pm 0,031)$ m, para as coordenadas N foi de $(0,074 \pm 0,019)$ m, que levaram a um erro planimétrico de $(0,128 \pm 0,036)$ m. Com relação à altimetria, o erro da altitude elipsoidal foi de $(0,199 \pm 0,089)$ m; conforme esperado, a altimetria apresentou maior valor de erro em relação à planimetria. Esses resultados mostraram-se satisfatórios, visto que foi atingida a qualidade de decímetros, adequados para a finalidade agrícola do VANT avaliado.

No relatório de processamento da mosaicagem, gerado pelo *software* Terra 3D, para o mosaico com pontos de controle, ocorreu um erro médio de reprojeção igual a 10,6% do tamanho do pixel; já para o mosaico gerado sem a utilização de pontos de controle, o erro médio foi de 23,7%. Dessa forma, constata-se que há uma diminuição de, aproximadamente, 50% do erro ao utilizar pontos de controle no terreno na geração do mosaico. Resultados esperados e que estão de acordo com Manyoky et al. (2011), pois o georreferenciamento do mosaico através de pontos de controle implantados no terreno, com qualidade centimétrica, possibilitam melhores resultados do que quando o georreferenciamento é realizado somente pelas coordenadas determinadas no momento do voo, como no mosaico não controlado.

A Tabela 2 exibe os resultados do cálculo de área relativos às quadras mapeadas (controle) e as respectivas vetorizações destas nos mosaicos com e sem a utilização de pontos de controle no terreno.

TABELA 2. Áreas, em metros quadrados, das quatro quadras mapeadas e respectivas diferenças (valores absolutos) em relação ao controle.

Gleba	Controle	Mosaico com pontos de controle no terreno	Mosaico sem pontos de controle no terreno	Diferença	
				c/ pontos	s/ pontos
1	7884,19	7772,13	7919,63	112,06	35,44
2	9058,42	9067,27	9156,10	8,85	97,67
3	7984,07	8095,35	8235,62	111,29	251,55
4	7975,46	7913,94	8021,77	61,52	46,31
Média	-	-	-	73,43 a 107,74 a	
Desvio padrão da média	-	-	-	15,53	31,51

¹ Médias com letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Os resultados exibidos pela Tabela 2 indicaram que o erro médio da diferença de áreas entre o controle e os mosaicos foi de $(73,43 \pm 15,53)$ m, 0,9% em valor relativo, para o mosaico que utilizou pontos de controle no terreno; para o mosaico que não utilizou pontos de controle, o erro médio foi de $(107,74 \pm 31,51)$ m, 1,3% em valor relativo. Destaca-se que não ocorreu diferença significativa para esses resultados entre os tratamentos avaliados.

De forma similar, a Tabela 3 exhibe os resultados do cálculo do perímetro relativos às quadras mapeadas (controle) e as respectivas vetorizações destas nos mosaicos com e sem a utilização de pontos de controle no terreno.

TABELA 3. Perímetros, em metros, das quatro quadras mapeadas e respectivas diferenças (valores absolutos) em relação ao controle.

Gleba	Controle	Mosaico com pontos de controle no terreno	Mosaico sem pontos de controle no terreno	Diferença	
				Com pontos	Sem pontos
1	355,0	356,85	357,78	1,89	2,83
2	389,1	390,36	391,86	1,26	2,76
3	357,0	359,57	363,53	2,61	6,57
4	356,4	357,80	358,03	1,35	1,59
Média	-	-	-	1,78 a	3,44 a
Desvio padrão da média	-	-	-	0,20	0,68

¹ Médias com letras iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

Os dados exibidos pela Tabela 3 mostram que o erro médio da diferença de perímetro entre o controle e os mosaicos foi de $(1,78 \pm 0,20)$ m, 0,5% em valor relativo, para o mosaico que utilizou pontos de controle no terreno; para o mosaico que não utilizou pontos de controle, o erro médio foi de $(3,44 \pm 0,68)$ m, 1,0% em valor relativo. Assim como para as diferenças entre áreas, as diferenças entre perímetros também não foram significativas entre os dois tratamentos avaliados. Destaca-se que esses resultados, principalmente os relativos ao cálculo de área, mostram-se satisfatórios para a finalidade agrícola, pois não alcançaram valores superiores a 1%. Também, indicaram que a utilização de pontos de controle no terreno não melhorou significativamente a

qualidade na determinação de áreas e perímetros através dos mosaicos oriundos da cobertura aerofotogramétrica da área de estudo.

5. CONCLUSÕES

Não ocorreu diferença significativa na qualidade da determinação de áreas e perímetros com ou sem a utilização de pontos de controle, indicando, nessas condições, que a implantação de pontos de controle no terreno poderia ser descartada. Porém, a utilização de pontos de controle melhorou o erro médio relativo ao tamanho do pixel. Os erros planimétricos e altimétricos em relação aos pontos de controle, para o mosaico controlado, atingiram a ordem de decímetros, resultado considerado satisfatório levando-se em consideração, principalmente, a finalidade do VANT avaliado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIAGIONI, L. G. **Utilização de veículos aéreos não tripulados pela polícia militar ambiental do Estado de São Paulo**. 2010. 250 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública) - Centros de Altos Estudos de Segurança "Cel. PM TERRA" da Polícia Militar do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

GOOGLE Earth. **Google Earth**. Version 7. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

JOHNSON, L. F. Collection of ultra high spatial and spectral resolution image data over California vineyards with a small uav. PROCEEDINGS, INT'L SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 30., Honolulu, 2003.

MACHADO, P. L. O. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**/ Pedro Luiz de Oliveira Almeida Machado, Alberto Carlos de Campos Bernardi, Carlos Alberto Silva (Ed.). – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. Disponível em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/publicacoes/publicacoes-interessantes-sobre-ap/Livro_AP_2004.pdf#page=88>. Acesso em: 20 set. 2012.

MANYOKY, M.; THEILER, P.; STEUDLER, D.; EISENBEISS, H. Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Zurich, v. 34, nº 1/C/22, 2011.

MEDEIROS, F. A. et al. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2375- 2378, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n8/a46v38n8.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

PARROT COMPANY. **Sense Fly** – 2009 – 2014. Disponível em: <<http://sensefly.com>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SANTOS, D. S.; DIAS, F. F. Uso de Anaglifos como Alternativa para Práticas de Estereoscopia em Sensoriamento Remoto. **Anuário do Instituto Geociências**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, 2011.

SANTOS, R. B. **Metodologias para geração e atualização de mosaicos de fotos aéreas no Projeto ARARA**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, fev. 2002. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/downloads/87493.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2012.

VOLTERRANI, M. Effects of nitrogen nutrition bermudagrass spectral reflectance. **International Turfgrass Society**, Pisa, v. 10, 2003.