

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

YASMIN VOLMER TULLIO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE PONTOS DE CONTROLE PARA
GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS AGRÍCOLAS**

PONTA GROSSA

2021

YASMIN VOLMER TULLIO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE PONTOS DE CONTROLE PARA
GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, curso de Mestrado em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador(a): Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro

**PONTA GROSSA
2021**

T918	<p>Tullio, Yasmin Volmer</p> <p>Avaliação da qualidade posicional de pontos de controle para geração de modelos digitais agrícolas / Yasmin Volmer Tullio. Ponta Grossa, 2021. 60 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada - Área de Concentração: Computação para Tecnologias em Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro.</p> <p>1. Aeronaves remotamente pilotadas. 2. Modelos digitais. 3. Padrão de exatidão cartográfica. I. Ribeiro, Selma Regina Aranha. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Computação para Tecnologias em Agricultura. III.T.</p> <p>CDD: 004</p>
------	--

Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia Fernandes Bertholino dos Santos- CRB9/986



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

Yasmin Volmer Tullio,

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE PONTOS DE CONTROLE PARA GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS AGRÍCOLAS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 09 de dezembro de 2021.

Prof(a). Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro (UEPG, Presidente)

Profa. Dra. Maria Salete Marcon Gomes Vaz (UEPG)

Prof. Dr. Vagner Alex Pesck (UNICENTRO/PR)



Documento assinado eletronicamente por **Maria Salete Marcon Gomes Vaz, Professor(a)**, em 28/04/2022, às 11:22, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Selma Regina Aranha Ribeiro, Professor(a)**, em 28/04/2022, às 15:23, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Vagner Alex Pesck, Usuário Externo**, em 29/04/2022, às 10:41, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0963300** e o código CRC **B6260B96**.

RESUMO

O sensoriamento remoto é uma forma de obtenção de informações que permite que possa ser realizado um estudo sobre algum objeto, sem que seja necessário entrar em contato direto com ele, gerando um modelo do conteúdo a ser estudado. A proximidade do modelo obtido, a partir das técnicas disponíveis para a obtenção de informações advindas de imagens de sensoriamento remoto, com a realidade torna a análise e tomada de decisões mais precisas, correspondendo mais às necessidades reais dependendo da escala e objetivo do estudo. O presente trabalho baseia-se nessa informação com o intuito de aferir a qualidade posicional de modelos gerados a partir de sensoriamento remoto aéreo, confrontando as coordenadas obtidas por GNSS às encontradas nos ortomosaicos gerados a partir da composição das imagens do voo. As coordenadas, de pontos de controle, foram obtidas por meio de levantamento estático rápido de 81 pontos de controle dentro e ao redor de megaparcelas e levantamento estático da base. Esse experimento contou com a utilização de, no total, 22 pontos de controle para a geração de ortomosaicos e de modelos digitais de terreno. Esses modelos digitais de terreno, foram criados colocando-se os pontos de controle em número e distribuição espacial diferentes a cada processamento, para avaliar a importância dessa distribuição ser realizada de forma adequada. Os melhores resultados foram encontrados nos modelos que utilizaram a base (levantamento estático) para a criação dos modelos, já que a mesma ficou por mais tempo no local (ponto de controle) de coleta das coordenadas, trazendo uma resposta mais precisa em relação a outros pontos (levantamento estático rápido). A melhor distribuição de pontos de controle, a partir da análise de resultados, foi o ortomosaico com 22 pontos.

Palavras chaves: Aeronaves remotamente pilotadas. Modelos digitais. Padrão de Exatidão Cartográfica.

ABSTRACT

Remote sensing is a way of obtaining information that allows a study about an object, without having to come into direct contact with it, generating a model of the content to be studied. The proximity of the model obtained from this technique to reality makes the analysis and decision-making more precise, corresponding to real needs. The present work seeks to base itself on this information in order to assess the positional quality of models generated from aerial remote sensing, comparing the coordinates obtained by GNSS to those found in the orthomosaics generated from the composition of the flight images. Coordinates were obtained through static survey of 81 control points in and around mega plots and static survey of the base. This experiment used a total of 22 control points to generate orthomosaic and digital terrain models. These models were created by placing the points in different number and spatial distribution at each processing, to assess the importance of this distribution being performed correctly. The best results were found in the models that used the base to create the models, as it stayed longer at the coordinates collection point, bringing a more precise response in relation to other points. The best distribution of control points, from the analysis of results, was the orthomosaic with 22 points.

Keywords: Remotely piloted aircrafts. Digital models. Cartographic accuracy standard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas de nível geradas sem pontos de controle (A) e com pontos de controle (B)	10
Figura 2 - Linha de voo e sua direção, mostrando o recobrimento longitudinal e suas coberturas.....	14
Figura 3 - Linhas de voo consecutivas, destacando o recobrimento lateral entre elas	14
Figura 4 - Área de estudo	20
Figura 5 - Placa utilizada para demarcar os GCPs	21
Figura 6 - Plantação de milho na área de estudos.....	22
Figura 7 - Equipamento utilizado para a realização do voo	23
Figura 8 - Plano de voo utilizado para a obtenção das imagens.....	24
Figura 9 - Diagrama de Blocos apresentando as etapas para a obtenção dos resultados	25
Figura 10 - Alinhamento das imagens	30
Figura 11 - Tie points criados com o alinhamento das imagens	31
Figura 12 - Nuvem densa gerada após a demarcação dos pontos de controle.....	32
Figura 13 - Classificação da nuvem densa utilizando 22 pontos.....	33
Figura 14 - Modelo Digital de Elevação utilizando 22 pontos.....	34
Figura 15 - Modelo Digital de Terreno utilizando 22 pontos.....	35
Figura 16 - Ortomosaico gerado utilizando 22 GCPs.....	36
Figura 17 - Distribuição Espacial do ortomosaico retificado com 22 pontos de controle.....	37
Figura 18 - Teste de normalidade do ortomosaico com 22 pontos de controle.....	37
Figura 19 - Análise de tendências do ortomosaico com 22 pontos de controle	38
Figura 20 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 22 pontos de controle.....	38
Figura 21 - Padrões do Decreto 89.817	39
Figura 22 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 22 pontos de controle	39
Figura 23 - Dados estatísticos do ortomosaico com 22 pontos de controle	40
Figura 24 - Ortomosaico gerado utilizando 15 GCPs.....	41
Figura 25 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 15 pontos de controle.....	42
Figura 26 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 15 pontos de controle	43
Figura 27 - Dados estatísticos do ortomosaico com 15 pontos de controle	43
Figura 28 - Ortomosaico gerado utilizando 11 GCPs.....	44

Figura 29 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 11 pontos de controle.....	45
Figura 30 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 11 pontos de controle	45
Figura 31 - Dados estatísticos do ortomosaico com 11 pontos de controle	46
Figura 32 - Ortomosaico gerado utilizando 9 GCPs.....	47
Figura 33 - - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 9 pontos de controle.....	48
Figura 34 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 9 pontos de controle	48
Figura 35 - Ortomosaico gerado utilizando pontos de controle alinhados	49
Figura 36 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle alinhados	50
Figura 37 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando pontos de controle alinhados ...	51
Figura 38 - Dados estatísticos do ortomosaico com pontos de controle alinhados	51
Figura 39 - Ortomosaico gerado com pontos de controle na mega parcela sem terraço	52
Figura 40 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle na mega parcela sem terraço	53
Figura 41 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando pontos de controle na mega parcela sem terraço	53
Figura 42 - Ortomosaico gerado utilizando os pontos ao redor das mega parcelas	54
Figura 43 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle na mega parcela sem terraço	55
Figura 44 - Classificação do PEC do ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 9.....	56
Figura 45 - Dados estatísticos do ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 9	57
Figura 46 - Classificação do PEC para o ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 3 e o ponto 9.....	57

LISTA DE SIGLAS

FESCON	Fazenda Escola Capão da Onça
GCP	<i>Ground Control Point</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
NIR	<i>Near Infra Red</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RGB	<i>Red, Green e Blue</i>
RPA	<i>Remote Piloted Aircrafts</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO E AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS	13
3.2 O PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC)	15
3.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)	16
3.4 TRABALHOS CORRELATOS	17
4 METODOLOGIA	19
4.1 ÁREA DE ESTUDO	19
4.2 COLETA DOS PONTOS DE CONTROLE	20
4.3 PLANO DE VOO	22
4.4 ETAPAS PARA A GERAÇÃO DO PRODUTO A PARTIR DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS	24
4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE	26
4.6 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DOS PONTOS	26
5 RESULTADOS	30
5.1 ALINHAMENTO DAS IMAGENS	30
5.2 GERAÇÃO DO MDE E ORTOMOSAICO	31
5.3 INSERÇÃO DOS DADOS NO GEOPEC	36
5.3.1 Utilizando 22 Pontos	36
5.3.2 Utilizando 15 pontos	40
5.3.3 Utilizando 11 pontos	43
5.3.4 Utilizando 9 pontos	46
5.3.5 Utilizando pontos de controle alinhados	49
5.3.6 Utilizando pontos na mega parcela sem terraço	51
5.3.7 Utilizando pontos ao redor das mega parcelas	54
5.3.8 Excluindo pontos	55
6 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais causas da perda de solo no Brasil é a erosão hídrica, que pode ser gerada por diversos fatores, como o uso e manejo do solo, cobertura, erodibilidade, clima, entre outros. Esse evento pode ocasionar a improdutividade do solo, ao ponto em que empobrece a sua origem e o ambiente ao seu redor (DECHEN et al, 2015).

Para a definição de estratégias a fim de minimizar os problemas causados pela erosão, é necessário o monitoramento da área. A partir desse monitoramento são obtidas informações que permitem definir as prioridades em termos de técnicas de controle de erosão e conservação do solo, além de permitirem verificar as mudanças ocorridas na área (UDDIN et al, 2016).

Nesse cenário, o sensoriamento remoto, aliado à fotogrametria, é uma alternativa que possibilita colher informações confiáveis sobre um objeto sem estar diretamente em contato com ele, por meio de técnicas que envolvem a coleta, a transformação, o processamento e a análise dos dados obtidos (JENSEN, 2009). Segundo Centeno (2004), essa medição é realizada a partir de sensores embarcados em diferentes plataformas, que podem ser divididas entre plataformas terrestres, aéreas, utilizando aeronaves, ou orbitais, em que são utilizados satélites.

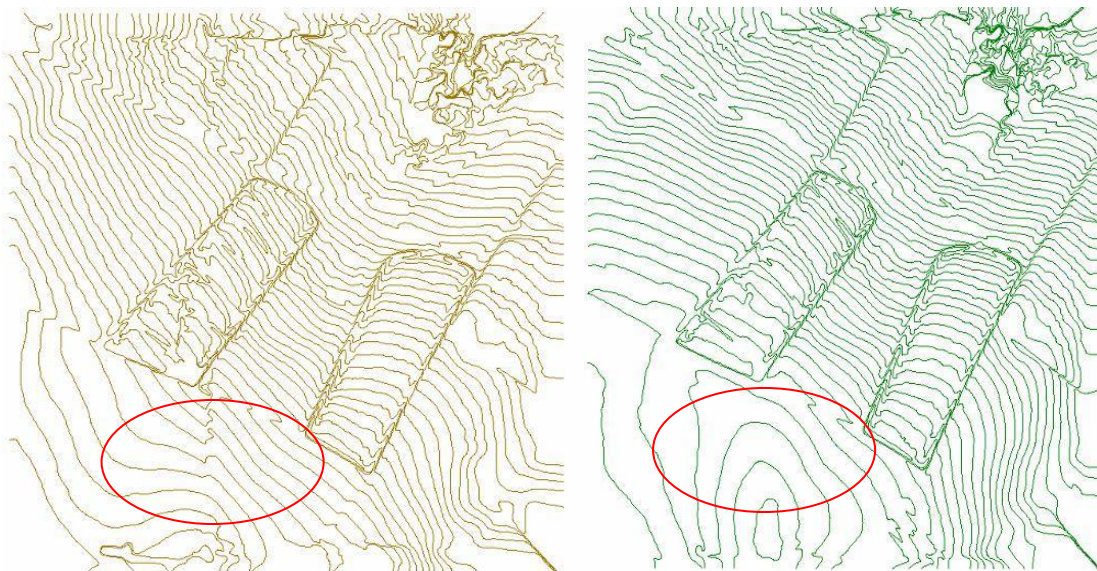
O sensoriamento remoto aéreo, utiliza os sensores embarcados em plataformas aéreas, como as aeronaves. Paneque-Galvez et al. (2014) apresenta algumas vantagens de se utilizar aeronaves remotamente pilotadas (RPA, do inglês, *Remote Piloted Aircrafts*) para realizar essa tarefa, como a alta resolução espacial, o potencial de alta resolução temporal, custo relativamente baixo para imageamento, entre outras. Os RPAs permitem a geração de diferentes produtos, entre eles o ortomosaico, que é a composição das fotografias aéreas obtidas, de forma ortorretificada utilizando pontos de controle, e o Modelo Digital do Terreno (MDT), que contém os dados relacionados à altitude do terreno.

A qualidade do produto gerado através do sensoriamento remoto, independente da sua forma de obtenção de informação, deve ser garantida a fim de assegurar determinadas necessidades do usuário. O material produzido deve ter um elevado nível de confiabilidade, tendo a qualidade posicional como a principal preocupação ao realizar um mapeamento (LEAL, 2007). Quanto maior a qualidade do produto, mais fielmente representada será a realidade e, conseqüentemente, maior a possibilidade de tomar decisões corretas acerca do material observado.

As curvas de nível são produtos muito usados na agricultura, até mesmo para o monitoramento e tomada de decisões acerca da erosão hídrica. Esse produto também pode ser afetado pela qualidade do produto gerado, sendo assim, apresentará erros e tornará as medidas menos efetivas quanto a manutenção da área. As Figuras 1 e 2 apresentam dois exemplos de utilização da curva de nível baseadas em modelos gerados com as mesmas imagens, e com os mesmos níveis de processamento, diferenciando-se apenas em relação à quantidade de pontos de controle entre elas.

As curvas de nível foram geradas a partir do MDE e suavizadas utilizando o software ArcGIS, com o procedimento denominado Smooth Line, com tolerância 10.

Figura 1 - Curvas de nível geradas sem pontos de controle (A) e com pontos de controle (B)



Fonte: O autor.

As diferenças apresentadas na figura 1 (A e B) podem ser observadas sem uma análise muito minuciosa. Na parte sul da imagem sem pontos de controle, é possível identificar a má formação nas curvas de nível, que são causadas pela composição (alinhamento) errada das imagens. Isso é causado pela falta de pontos de controle, pois o aplicativo não consegue diferenciar os pontos da imagem, como nas imagens urbanas, pois os pontos são muito semelhantes entre si.

Um dos principais motivos para obter essas informações é devido a facilidade de comparação após alguns anos. O imageamento, unido das outras tecnologias empregadas neste

trabalho, permite que o mesmo levantamento seja realizado diversas vezes, possibilitando a visualização das alterações realizadas na área no decorrer do tempo.

O presente trabalho fará um estudo com sensoriamento remoto aéreo, utilizando RPA para verificar a qualidade posicional obtida com esta forma de monitoramento em uma área com processos erosivos. Esse estudo busca aferir o quão próximo da realidade um modelo gerado por essa plataforma está e, conseqüentemente, o quanto as decisões tomadas a partir da análise desses modelos podem impactar positivamente sobre uma área erodida.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a exatidão cartográfica de imagens obtidas mediante sensoriamento remoto aéreo, utilizando RPAs, para mapeamento e monitoramento de áreas agrícolas marcadas por processos erosivos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conforme o objetivo geral apresentado, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Utilizar diferentes números e distribuição de pontos de controle levantados com receptor GNSS (L1 e L2), pós processados, para o controle de qualidade na geração do ortomosaico e MDT do voo com RPA.
- Usar os dados obtidos em campo com o levantamento GNSS para aferir a qualidade posicional dos modelos (ortomosaico e MDT) e classificá-los entre as categorias do PEC (A, B e C).

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção apresentamos conceitos básicos a respeito de sensoriamento remoto e aeronave remotamente pilotada, Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GNSS).

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO E AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

O sensoriamento remoto, segundo Jensen (2009), é uma alternativa que permite a medição ou monitoramento de um objeto sem que necessariamente haja um contato com o mesmo, isso permite que o observador realize os estudos sobre alguma área sem que cause alterações na mesma.

Diversos trabalhos utilizam o sensoriamento remoto aéreo com RPAs como alternativa, devido às suas diversas praticidades e melhorias em relação a outros meios de sensoriamento. Alguns fatores importantes para essa escolha são o fato desta ser uma tecnologia relativamente mais barata e permitir uma grande resolução espacial e temporal.

As RPAs surgiram inicialmente com a intenção de serem usadas na área militar, devido a facilidade de se obter informações sobre territórios inimigos utilizando-se dessa plataforma. Após o avanço da tecnologia, iniciou-se o uso por civis e pela comunidade científica (LONGHITANO, 2010). As RPAs permitem embarcar sensores com diferentes bandas do espectro eletromagnético, como as bandas do visível, vermelho, verde e azul (RGB, do inglês, *Red, Green e Blue*) ou infravermelho próximo (NIR, do inglês, *Near Infra Red*), permitindo diversas formas de análises das fotografias obtidas.

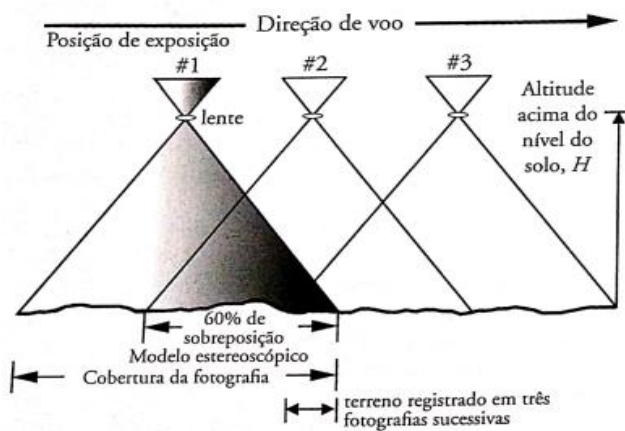
As fotografias aéreas servem como base para a criação de um modelo a ser utilizado como base para tomadas de decisão. Para isso, é necessário a realização de um plano de voo que seja capaz de prover todas as informações que o usuário precisa, para que a análise possa correr da forma correta e o objetivo seja alcançado. Para isso, é necessário cuidado ao realizar o plano de voo, para delimitação da área e nível de detalhes, de acordo com as especificações da aeronave.

Jensen (2009) apresenta algumas especificações importantes ao realizar um plano de voo, dentre elas, pode-se citar as sobreposições ou recobrimentos longitudinal e lateral. A sobreposição longitudinal garante que cada fotografia aérea se sobreponha a fotografia seguinte na porcentagem desejada pelo planejador do voo, sendo recomendada que essa porcentagem

seja acima de 60%. A sobreposição lateral ocorre entre as linhas de voo, fazendo com que as linhas se sobreponham entre si, na porcentagem definida, sendo recomendado ao menos 20-30%.

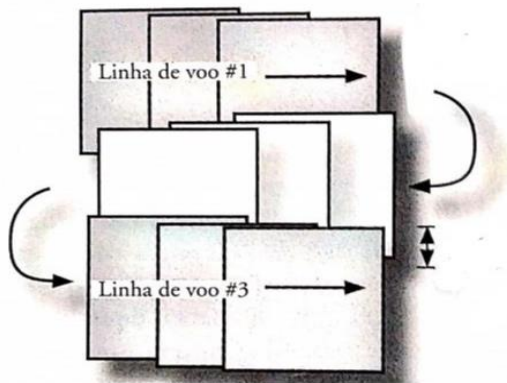
Esse recurso permite que se obtenha pelo menos duas visadas fotográficas do mesmo objeto ao longo da linha de voo definida. Dessa forma, é possível encontrar pontos em comum entre diferentes fotografias aéreas, realizar a sobreposição das mesmas e, assim, gerar o modelo. A Figura 2 apresenta uma linha de voo utilizando uma sobreposição longitudinal com a porcentagem de 60%, demonstrando que, com essa sobreposição, é possível obter uma parte do terreno em três fotografias sucessivas. Na Figura, o H representa a altura em que foi realizado o voo. A Figura 3 representa três linhas de voos sucessivas, podendo observar a sobreposição lateral, utilizada entre 20-30%, demonstrando o recobrimento entre as linhas de voo, fazendo com que não haja falhas entre as imagens.

Figura 2 - Linha de voo e sua direção, mostrando o recobrimento longitudinal e suas coberturas



Fonte: Jensen (2009)

Figura 3 - Linhas de voo consecutivas, destacando o recobrimento lateral entre elas



Fonte: Jensen (2009)

A utilização do sensoriamento remoto tem como objetivo a representação da realidade de forma a permitir a análise e tomada de decisões em relação a um objeto. Segundo Gouveia (1999), o modelo é um mecanismo criado para permitir a explicação de outro, sendo que quanto maior a sua similaridade com o seu objeto de estudo, melhor atenderá o seu propósito.

O uso do sensoriamento remoto na agricultura pode se apresentar de diversas formas, inclusive com a utilização de modelos do terreno para obtenção de curvas de nível. Segundo Santana (2017), as curvas de nível podem servir de apoio na manutenção de áreas contra a erosão hídrica, visto que a partir delas, é possível identificar o curso da água e, assim, entender melhor a formação do processo erosivo.

O sensoriamento remoto permite que possa ser criado o modelo digital de elevação e o modelo digital do terreno, que são produtos cruciais em estudos em áreas agrícolas que contém processos erosivos. Essa importância se deve ao fato de apresentarem informações sobre a elevação do terreno, permitindo diversas análises, como o fluxo do escoamento e acúmulo de água. Segundo Jensen (2009), dentre os passos para a criação desses modelos, estão a orientação interior e exterior, que permitem a execução da aerotriangulação.

A aerotriangulação garante que as coordenadas x, y e z possam ser obtidas para cada pixel da imagem, estendendo para toda a imagem as informações obtidas com os pontos de controle utilizados.

3.2 O PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC)

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a norma a ser seguida para estabelecer a qualidade posicional de um material cartográfico. Ao realizar essa avaliação, é possível obter a

confiabilidade do material gerado e assim satisfazer as necessidades e especificações de seus usuários (DOS SANTOS et al 2010). As diretrizes do PEC para a classificação de uma carta estão descritas no Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, e utilizam as características dos mapas para delimitar à classe às quais cada um pertence, sendo elas A, B, C ou produto não acurado, conforme apresentado na Tabela 1. Para realizar essa classificação, 90% dos dados apresentados no mapa, se comparados com os levantados a campo, devem apresentar valores de diferença igual ou menor do que o estabelecido para a classe testada.

Tabela 1 - Valores estabelecidos do PEC planimétrico

Carta	PEC planimétrico
Classe A	0,5 mm x escala
Classe B	0,8 mm x escala
Classe C	1 mm x escala

Fonte: adaptada de Dos Santos (2016)

3.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)

O Sistema de Posicionamento Global por Satélite é uma integração de diversos sistemas de posicionamento por satélite que permite que o usuário adquira informações sobre posicionamento de baixa, média e alta precisão, que são obtidas através de levantamentos realizados a campo e, além disso, processamentos que podem ser realizados no mesmo momento ou após a coleta (ALVES, 2008)

As tecnologias de posicionamento disponíveis com constelações completas são GPS (*Global Positioning System*) e GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), segundo Jerez (2019). O autor frisa, ainda, que a utilização de diferentes constelações em um mesmo levantamento garante uma precisão maior dos dados, devido a maior quantidade de satélites observáveis e, conseqüentemente, a melhora na geometria dos satélites.

Segundo Seeber (2003), existem três formas de levantamento através do GPS, levantamento cinemático, estático e semi-cinemático. Essa divisão é baseada na definição da coleta das coordenadas: se o equipamento está em movimento e pode-se obter informações sobre a sua trajetória, ou se o equipamento é desligado durante o seu transporte e as coordenadas só podem ser obtidas no momento em que a antena está parada. O terceiro caso é referente aos levantamentos em que o próprio equipamento se mantém bloqueado durante a trajetória.

O levantamento estático conta com uma antena (base) posicionada sobre um ponto de referência por um período longo de tempo, enquanto outra antena é posicionada por um período de duração menor em cada ponto de coleta. Essa forma de coleta mais rápida em cada ponto é chamada de levantamento estático rápido (MONICO, 2008).

3.4 TRABALHOS CORRELATOS

Diversos trabalhos utilizam o sensoriamento remoto para a análise de processos erosivos. Estudos esses que podem ser impactados pela qualidade posicional dos dados obtidos.

Uddin, et al (2018) realizaram um estudo com sensoriamento remoto aéreo, utilizando RPA, para identificar as mudanças na cobertura da terra e como essas mudanças influenciam a distribuição de áreas de risco de erosão de solo no Nepal. Os resultados apresentaram discrepâncias entre os dados de erosão do solo nas décadas anteriores em relação aos dados obtidos em 2010. Neste trabalho, foram realizadas análises nacionais, estaduais e distritais, onde os autores conseguiram identificar quais os distritos com maior necessidade de conservação do solo.

No trabalho desenvolvido por Pineux, et al (2017), foram estabelecidos dois principais objetivos: a definição de uma técnica para obter modelos digitais de elevação de alta qualidade, e verificar se, a partir da utilização de RPAs, é possível quantificar a distribuição temporal e espacial da erosão. Os autores apresentam os produtos gerados pela fotogrametria como sendo robustos e indicam os modelos digitais de elevação como tendo grandes potenciais para quantificar a erosão.

O trabalho realizado por Cunha (2018) avaliou o potencial da utilização de RPAs para o monitoramento de erosão, para verificação de área e volume e possibilitar quantificar processos erosivos, realizando testes que chegaram em valores próximos aos valores de referência. Para chegar a esse resultado, foram utilizados pontos de controle para a correlação das imagens, o que verificou-se causar um impacto positivo nos valores finais.

Neurig et al. (2016) realizaram um estudo durante dois anos em uma bacia hidrográfica, a fim de monitorar a área. Para isso, foram realizados voos utilizando uma RPA em junção com pontos de controle no terreno, e varreduras utilizando um laser scanner terrestre. Para verificação das mudanças geomorfológicas, foram analisados três períodos: (i) de abril a setembro de 2014, (ii) setembro a outubro de 2014 e (iii) outubro de 2014 a abril de 2015. Dessa forma, foi possível observar a alteração na quantidade e na distribuição espacial do material erodido durante as estações do ano. Os autores ressaltam a possibilidade de se detectar os principais pontos de erosão de uma bacia hidrográfica utilizando RPAs.

No trabalho de Battaglini (2018) foi realizado um estudo verificando a necessidade ou não da utilização de pontos de controle no terreno para a geração de modelos a partir de fotografias aéreas obtidas por RPA. O objetivo do trabalho era buscar uma forma de atender ao PEC classe A utilizando escala 1:1000. O trabalho utilizou 29 pontos, 21 desses foram utilizados como ponto de controle e 8 como pontos de verificação. Foram realizados cinco testes, o primeiro utilizando todos os pontos de controle e de verificação, o segundo com dois pontos de controle a menos, o terceiro e o quarto com um ponto de controle a menos, sendo esses pontos diferentes nos dois testes, e o quinto teste sem nenhum ponto de controle. O teste de acuracidade foi realizado no software GeoPEC, utilizando a mesma escala para todos os testes. Os resultados apontaram que a retirada de alguns pontos causou uma maior incidência de erros e distorções nas altitudes mais altas.

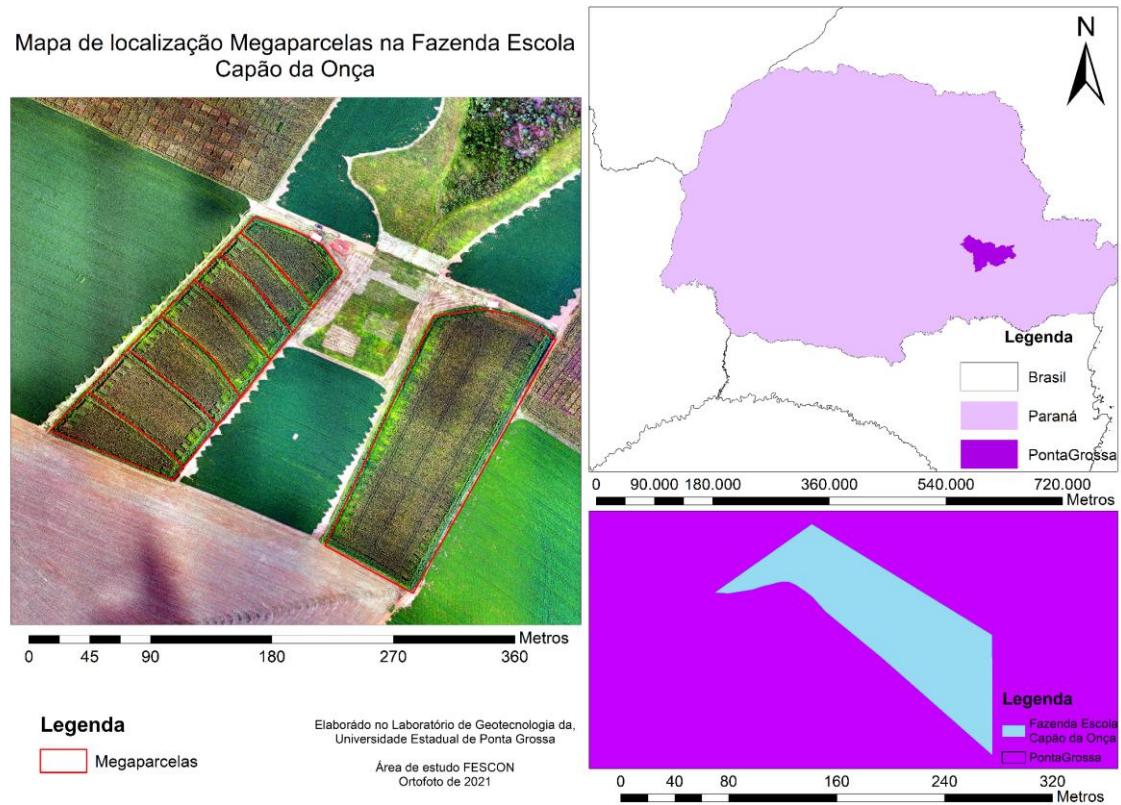
Além de imagens aéreas, o trabalho de Canata (2018) utilizou sensores LIDAR para monitorar áreas agrícolas e detectar o dossel de plantas em plantações de cana-de-açúcar. Os resultados demonstraram que as duas técnicas foram capazes de identificar o dossel das plantas.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho corresponde a uma área da Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON) da Universidade Estadual de Ponta Grossa/Itaiacoca, localizada na Latitude 25°05'49"S e Longitude 50°03'11"W. A área estudada contém duas mega parcelas, sendo que uma delas é dividida por terraços. Além disso, é uma área marcada por erosões. A Figura 4, apresenta onde está localizada a área estudada, dentro da Fazenda Escola, possibilitando a visualização das mega parcelas, dos processos erosivos e da área ao redor. Em preto, está a demarcação da área da FESCON, enquanto, as megas parcelas estão demarcadas de cor vermelha.

Figura 4 - Área de estudo



Fonte: O Autor.

4.2 COLETA DOS PONTOS DE CONTROLE

Para possibilitar a verificação da acuracidade dos modelos gerados, são necessários Pontos de Controle (GCPs - do inglês, *Ground Control Point*). A cada voo, os GCPs são demarcados no campo utilizando uma placa de dimensão 60cm x 60cm pintada das cores amarelo e preto, apresentada na Figura 5. Para o presente trabalho, foram coletados 82 pontos de controle, dos quais 72 estão nos interiores das duas mega parcelas e outros próximos às mesmas.

Figura 5 - Placa utilizada para demarcar os GCPs



Fonte: O autor

A coleta dos pontos de controle foi realizada utilizando um GPS modelo R4 da Trimble. Segundo a empresa, o aparelho utilizado pode capturar, simultaneamente, os seguintes sinais de satélites:

- GPS: L1C/A, L2E (Método Trimble para rastrear L2P);
- GLONASS1: L1C/A, L1P, L2C/A (apenas GLONASS M), L2P;

O equipamento utilizado foi posicionado em cada um dos pontos de controle por aproximadamente 10 min, enquanto isso, uma antena ficou posicionada na base do experimento por aproximadamente 5 horas.

A Figura 6 mostra que a área de estudo estava coberta por uma plantação de milho. Dessa forma, não foi possível localizar todos os pontos para a demarcação no momento do voo. Sendo assim, foram utilizados apenas 24 GCPs.

Figura 6 - Plantação de milho na área de estudos



Fonte: O autor.

4.3 PLANO DE VOO

Para que seja possível a geração do ortomosaico e de modelos para análises, deve ser realizado o imageamento, que, no presente trabalho, é realizado a partir de sensoriamento remoto aéreo, utilizando, para isso, uma RPA modelo multirrotor Mavic 2 Pro, apresentado na Figura 7. A RPA possui quatro rotores e, segundo o fabricante, pode realizar 30 minutos de voo com uma bateria. Para que o imageamento seja realizado, é necessário criar um plano de voo a fim de definir a área a ser imageada e parâmetros como altura de voo, resolução espacial e recobrimento lateral e longitudinal.

Figura 7 - Equipamento utilizado para a realização do voo

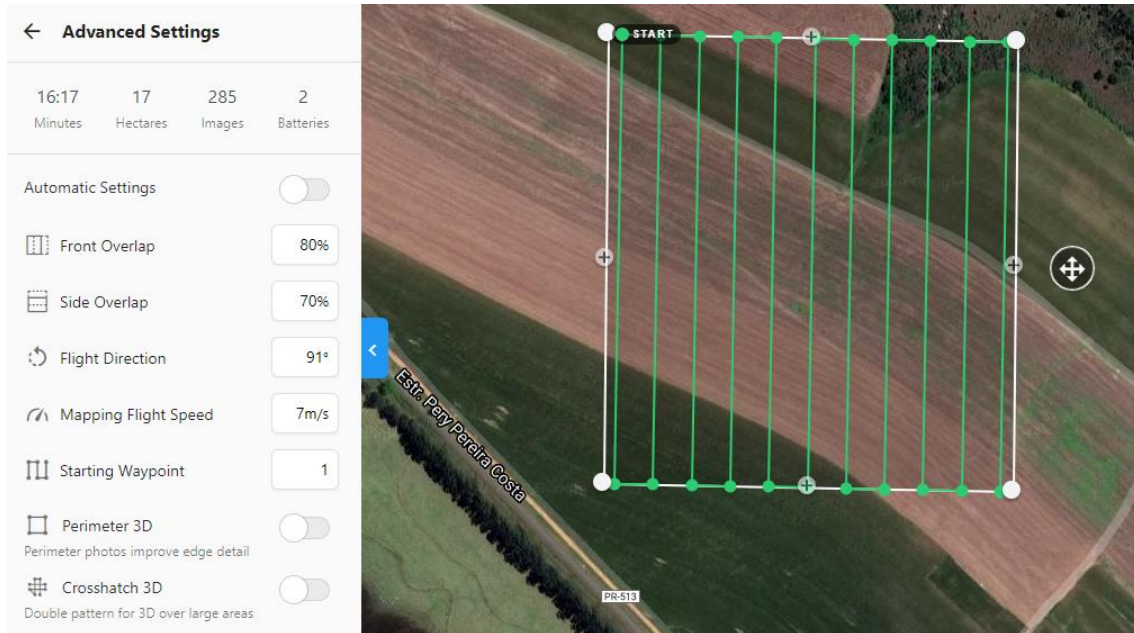


Fonte: O autor

Para a criação do plano de voo foi utilizado o software DroneDeploy, definido por ser um software livre que permite a conexão com a aeronave utilizada. Os vôos realizados para este experimento foram definidos com uma altura de 100 m, obtendo, assim, uma resolução espacial de 2.3 cm/pixel. Os recobrimentos lateral e longitudinal foram de 70% e 80%, respectivamente. O alto valor da sobreposição se dá pelo fato da utilização de um equipamento multirrotor, que possui menor estabilidade do que um equipamento RPA do tipo asa-fixa.

A Figura 8 apresenta o plano de voo utilizado para a realização do trabalho, os parâmetros apresentados na imagem dizem respeito às sobreposições utilizadas, direção e velocidade do voo e o local de partida da aeronave, gerando 11 linhas de voo, que serão percorridas em aproximadamente 16 minutos e 17 segundos, totalizando, aproximadamente, 285 imagens. Além disso, é possível observar as opções de perímetro e *Crosshatch* 3D desabilitadas. Quando selecionadas, a aeronave realiza um voo perpendicular ao voo inicial. Devido ao alto recobrimento das imagens, não há necessidade de utilizar essas funções.

Figura 8 - Plano de voo utilizado para a obtenção das imagens

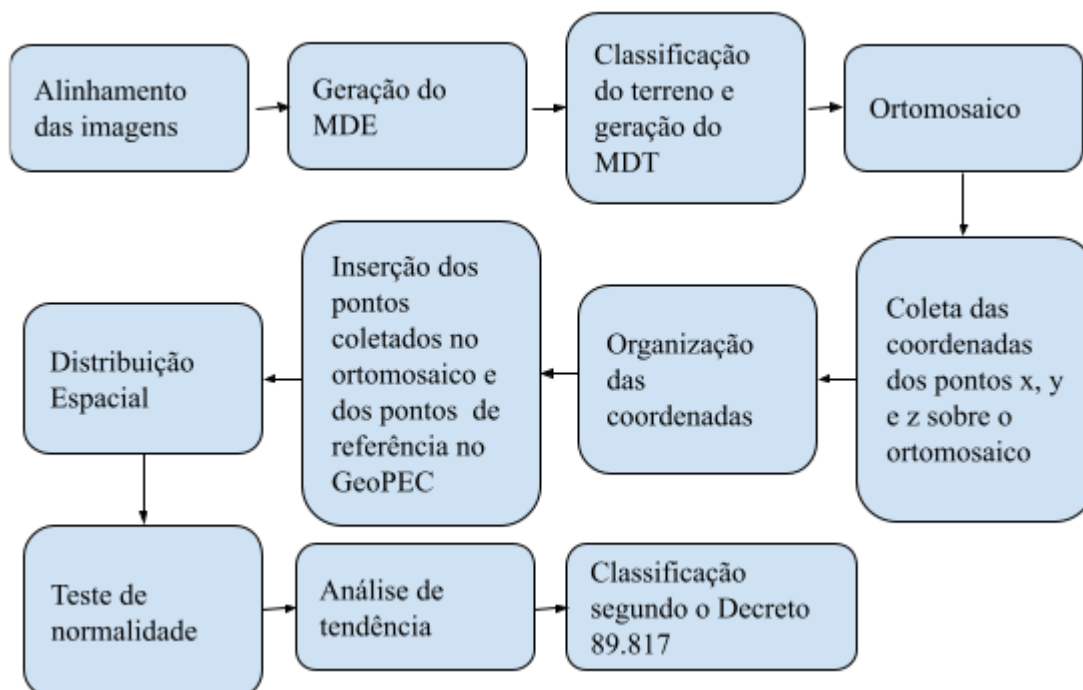


Fonte: O autor

4.4 ETAPAS PARA A GERAÇÃO DO PRODUTO A PARTIR DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

A Figura 9 apresenta as etapas para a geração dos resultados.

Figura 9 - Diagrama de Blocos apresentando as etapas para a obtenção dos resultados



Fonte: O autor.

Para realizar a análise da qualidade posicional, foram utilizadas 301 imagens que foram geradas pelo voo. O alinhamento das imagens foi feito pelo aplicativo Agisoft PhotoScan, realizando esse processo mais de uma vez, alterando em cada uma delas a utilização dos pontos de controle. A partir do voo realizado, foi possível coletar 22 pontos de controle, no total, de modo que em cada processamento, eles foram utilizados em quantidade e distribuição espacial diferentes. Além desses pontos, outros dois, que foram demarcados com as placas, não foram utilizados devido aos mesmos não terem sido capturados pelas imagens, de forma a não ser possível encontrar o ponto central da placa, que determina o lugar real do ponto no campo, sendo esses denominados ponto 5 e 8.

Os processamentos foram realizados utilizando 22, 15, 11 e 9 pontos de controle distribuídos nas duas megas parcelas. A definição da quantidade de pontos foi realizada de forma aleatória. Além disso, foram realizados processamentos envolvendo apenas os pontos de controle ao redor das megas, pontos alinhados e apenas em uma mega parcela, totalizando, assim, oito processos diferentes.

Após o alinhamento e disposição dos pontos de controle nas imagens, foi realizado o processo de construção da *dense cloud*, ou nuvem densa, utilizando o mesmo software, na

qualidade *high*. A nuvem densa já é criada após a definição dos pontos de controle nas imagens, fazendo com que seja gerado uma maior quantidade de pontos em relação ao alinhamento inicial. Os mapas irão se diferenciar uns dos outros devido a quantidade de GCPs em cada um. Em cada teste realizado será utilizado uma quantidade diferente de GCPs, buscando verificar a importância da distribuição e quantidade de pontos para a criação de um modelo.

Após a criação da nuvem densa, é gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), que apresenta as elevações do terreno. Para isso, é realizada a classificação da nuvem densa, que indica apenas os pontos que são do solo, retirando as vegetações ou outros objetos que aparecem na imagem, e, então, é criado o MDT, que apresenta apenas as discrepâncias do terreno.

A classificação foi realizada com o ângulo máximo de 1°, a distância máxima de 0.5m e o tamanho da célula de 15m. Já o MDT foi realizado a partir da interpolação dos pontos utilizando o método IDW.

O último produto gerado foi o ortomosaico, que apresenta a composição das fotografias em forma de imagem, gerando assim, um mapa. Esse mapa permite a análise dos pontos utilizando as coordenadas *x*, *y* e *z* obtidas a campo e as obtidas pelos processamentos.

Esses procedimentos foram realizados com as mesmas configurações para todos os processamentos, para que possa ser realizada uma análise comparativa entre eles.

4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE

Segundo Jensen (2009), os pontos de controle devem ser distribuídos de forma que cada fotografia aérea contenha, ao menos, três pontos de controle, a fim de gerar um produto de alta qualidade. Além disso, o autor também afirma que os pontos não devem estar alinhados uns com os outros. Assim, o presente trabalho buscará distribuir os GCPs de uma maneira que permita a avaliação do quanto a forma de disposição destes pode impactar na classificação do mapa de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica brasileiro.

4.6 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DOS PONTOS

Para avaliação da exatidão posicional dos modelos gerados, será utilizado o software livre GeoPEC versão 3.5.1, que foi desenvolvido seguindo os procedimentos descritos nas normas e na metodologia proposta por Dos Santos et al. (2016).

Para a obtenção da acurácia, é necessário a inserção das coordenadas dos pontos obtidos com a geração do modelo (coordenadas de teste) e das coordenadas dos pontos reais (coordenadas de referência), obtidas através de levantamento a campo.

A inserção de dados no aplicativo pode ser realizada de forma manual, criando ponto a ponto e informando suas coordenadas de referência e de teste, ou utilizando um arquivo de texto (.txt) que tenha essas informações, sendo que, nesse caso, o arquivo deve seguir um padrão de criação.

Com esse software é possível a avaliação da planimetria e da altimetria, considerando as normas descritas no Decreto-lei nº 89.817 de 1984, na NBR 13.133 ou de acordo com o Padrão do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). O presente trabalho utilizará como base as diretrizes do Decreto-lei nº 89.817 de 1984, que classifica os mapas entre PEC A, B e C, conforme o Quadro 1, que se refere a escala do mapa e a equidistância das curvas de nível.

Quadro 1 - Classificação PEC

Carta	PEC planimétrico	Erro padrão	PEC altimétrico	Erro padrão
Classe A	0,5mm x escala	0,3mm x escala	½ equidistância	⅓ equidistância
Classe B	0,8mm x escala	0,5mm x escala	⅔ equidistância	⅔ equidistância
Classe C	1mm x escala	0,6mm x escala	¾ equidistância	½ equidistância

Fonte: adaptado de Dos Santos (2016)

O software não realiza apenas a verificação do PEC em que se enquadra o mapa, mas também outras características que vão impactar na qualidade do produto gerado. Uma delas é a distribuição espacial dos dados informados. Como o objetivo da análise é verificar a

acuracidade de todo o mapa, é necessário verificar se os dados informados abrangem sua totalidade.

Para essa avaliação, segundo Dos Santos (2016), é utilizado o método estatístico de vizinho mais próximo de alta ordem (ordem = k), que indica se as amostras seguem o padrão de distribuição aleatório ($R = 1$), agrupado ($R < 1$) ou disperso ($R > 1$). Para chegar a esse resultado, primeiramente precisam ser encontrados os valores do R esperado (R_{esp}) e do R observado (R_{obs}), que indicam, respectivamente, a média esperada das distâncias entre os k vizinhos mais próximos para que a distribuição seja aleatória e a média observada das distâncias entre os k vizinhos mais próximos. Contendo essas informações, é possível determinar o valor de R , que é a razão da média observada com a média esperada.

As fórmulas 1, 2 e 3, segundo Dos Santos (2016), apresentam como chegar a esses resultados, sendo $d_{vi}(k)$ a distância de um ponto i ao seu k vizinho mais próximo, n o número de pontos e A a área da região em estudo.

$$1) \quad R_{\text{obs}}(k) = \frac{\sum_{i=1}^n d_{vi}(k)}{n}$$

$$2) \quad R_{\text{esp}}(k) = \gamma_{1(k)} \sqrt{\frac{A}{n}}$$

$$3) \quad R(k) = \frac{R_{\text{obs}}(k)}{R_{\text{esp}}(k)}$$

Além disso, Dos Santos (2016) também apresenta outra forma de avaliação importante para a qualidade do mapa, que é a análise de tendência. Um mapa tendencioso, pode fazer com que sejam tomadas decisões que não necessariamente condizem com a realidade. Dessa forma, o usuário do sistema pode agir de forma a minimizar ou corrigir os efeitos causados por essa tendência. O teste para análise de tendência utilizado pelo sistema é o Teste t de Student, que

pode ser usado apenas com amostras com distribuição normal, dessa forma, o sistema também realiza o teste de normalidade.

Para a realização das análises, é necessário inserir os dados das coordenadas de teste e das coordenadas de referência, a escala de teste e o tamanho da área de estudo, que pode ser informado em km², m² ou ha. Após a entrada dos dados, o sistema realiza os cálculos para aferir a qualidade do mapa. A escala de teste utilizada neste estudo foi de 1:2500, e o tamanho da área, 17 ha. Apenas um ponto coletado, o ponto 16, não foi analisado, já que não foi possível encontrar a placa que o demarcava em nenhum dos ortomosaicos gerados, apesar de algumas imagens terem conseguido capturá-la.

5 RESULTADOS

Os resultados foram obtidos seguindo os passos apresentados na metodologia, buscando aferir a qualidade posicional de cada um dos processos.

5.1 ALINHAMENTO DAS IMAGENS

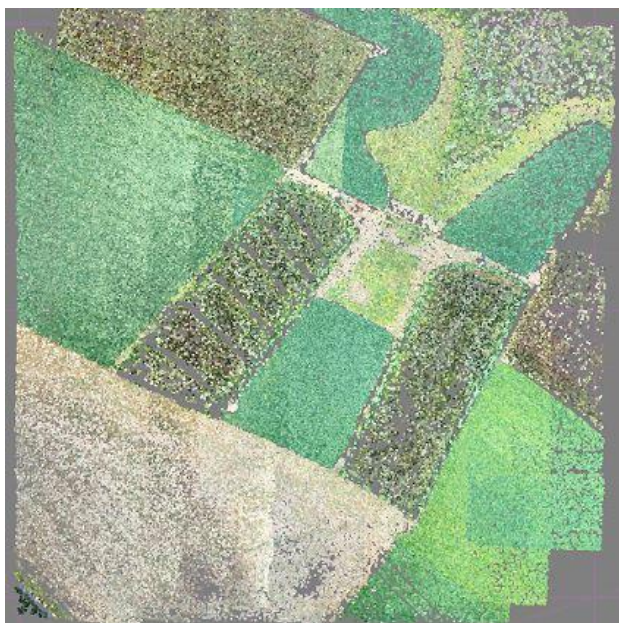
O alinhamento utilizou todas as imagens geradas e pode-se observar este fato na Figura 10. Esse processamento foi o mesmo para todos os testes realizados, conseguindo alinhar todas as imagens obtidas pelo voo. A partir do alinhamento, foi possível obter o processamento de *tie points*, que está apresentado na Figura 11, e consiste na sobreposição entre as imagens baseado em pontos homólogos. Esse processamento gerou uma nuvem com 355.538 pontos.

Figura 10 - Alinhamento das imagens



Fonte: O autor.

Figura 11 - Tie points criados com o alinhamento das imagens



Fonte: O autor.

5.2 GERAÇÃO DO MDE E ORTOMOSAICO

Para a geração do MDE com os 22 pontos de controle, foi utilizado o processamento da nuvem densa, que está apresentado na Figura 12.

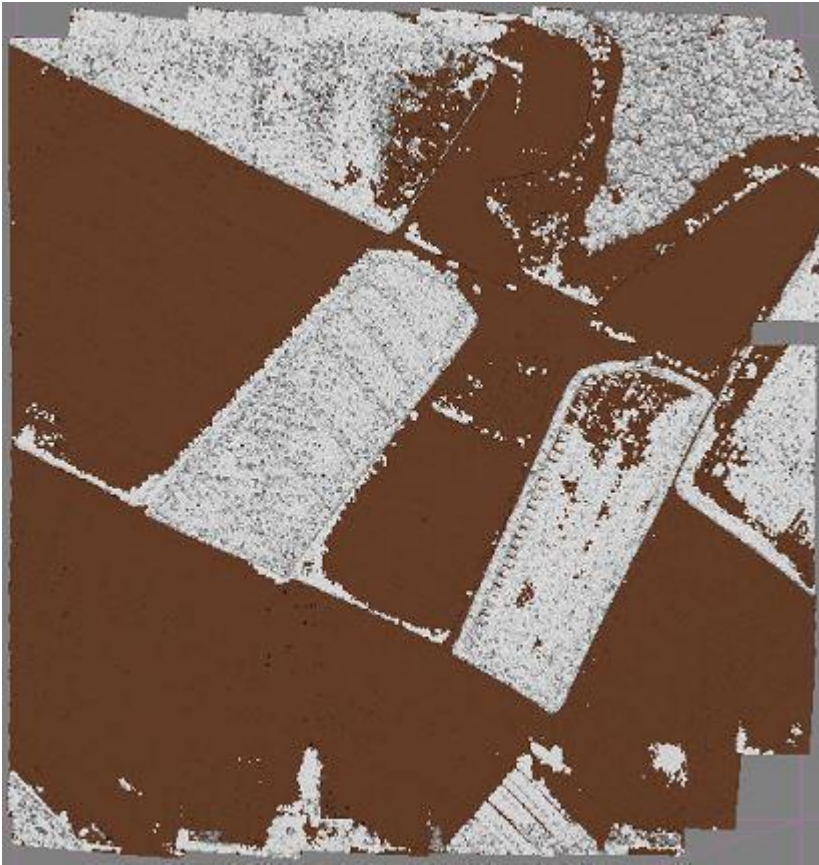
Figura 12 - Nuvem densa gerada após a demarcação dos pontos de controle



Fonte: O autor.

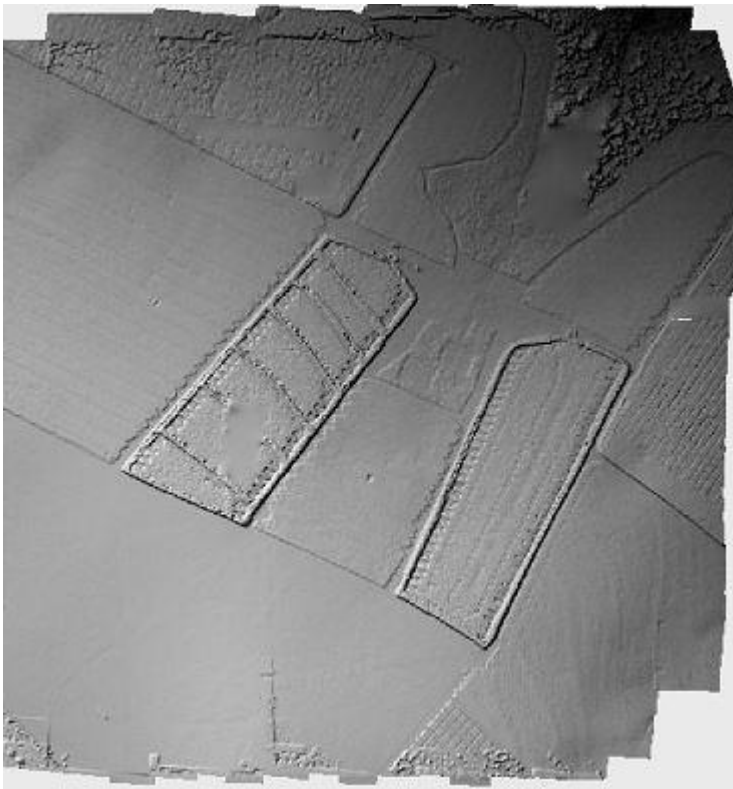
A nuvem densa gerou 176.161.444 pontos. É possível identificar mais detalhes do que o primeiro processamento, já que este se baseia, além dos pontos homólogos, nos pontos de controle demarcados. Devido a isso, esse processamento é utilizado como base na criação do MDE, que é realizado após a classificação da nuvem de pontos. A classificação da nuvem densa pode ser verificada na Figura 13, enquanto o MDE está sendo apresentado na Figura 14.

Figura 13 - Classificação da nuvem densa utilizando 22 pontos



Fonte: O autor.

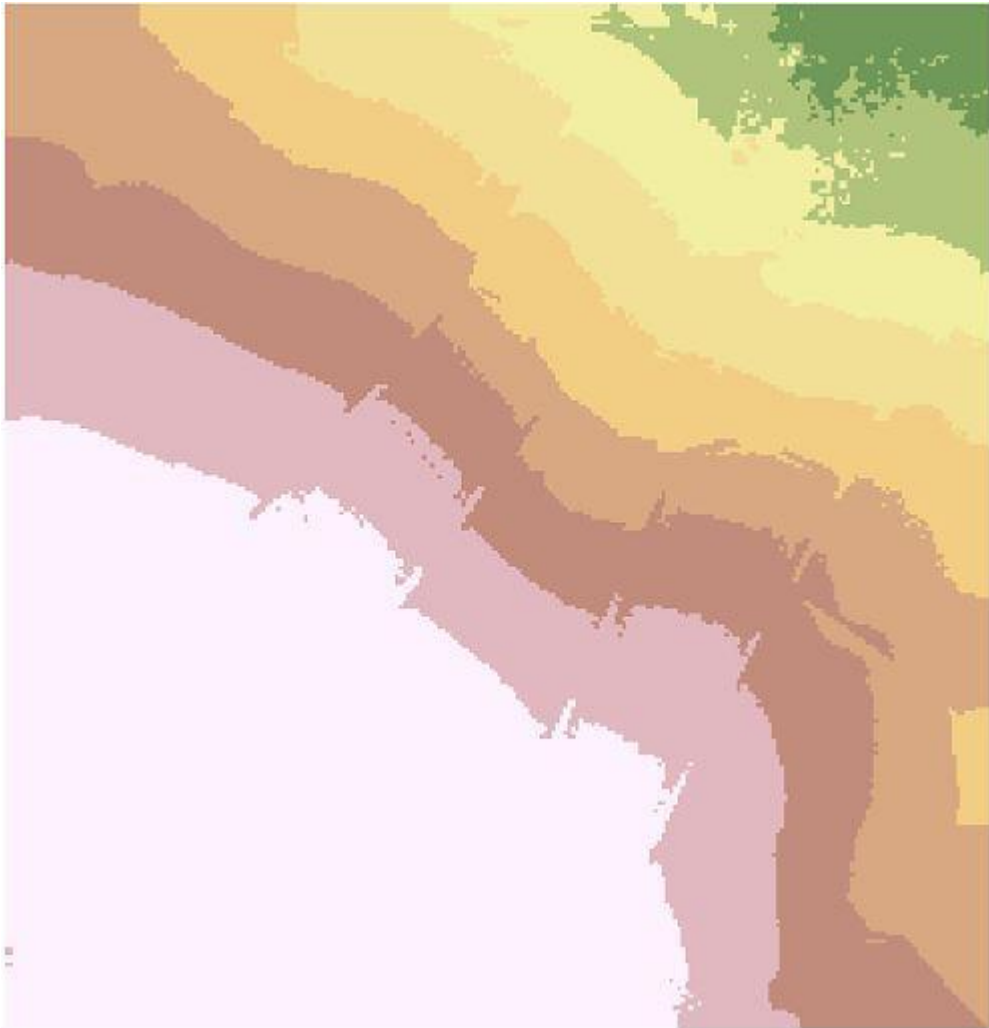
Figura 14 - Modelo Digital de Elevação utilizando 22 pontos



Fonte: O autor.

Esses processamentos permitem a criação do MDT, que será apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Modelo Digital de Terreno utilizando 22 pontos



Fonte: O Autor.

O MDT possibilita a visualização de elevação onde estão posicionadas as megaparcelas, permitindo sua identificação nas imagens.

O ortomosaico gerado utilizando todos os 22 pontos está apresentado na Figura 16. Dessa forma, é possível analisar a distribuição dos pontos utilizados nesse voo.

Figura 16 - Ortomosaico gerado utilizando 22 GCPs



Fonte: O autor.

5.3 INSERÇÃO DOS DADOS NO GEOPEC

O aplicativo GeoPEC permite verificar mais do que a diferença nos valores de coordenadas de cada ponto. Dessa forma, foram realizadas todas as análises disponíveis para cada um dos testes

5.3.1 Utilizando 22 Pontos

A Figura 16 apresenta o ortomosaico gerado pelos 22 GCPs e a disposição em que eles estão. Dessa forma, foram obtidos os 21 pontos de verificação e realizadas as análises.

A disposição espacial dos pontos é a primeira verificação que o aplicativo faz, sendo ela para definir se os pontos estão bem distribuídos pela área ou não. No primeiro teste, foram apresentados os resultados presentes na Figura 17.

Figura 17 - Distribuição Espacial do ortomosaico retificado com 22 pontos de controle

Estatística do Vizinho mais Próximo

1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem
R observado = 35,4051	R observado = 51,5496	R observado = 60,2951
R esperado = 37,7964	R esperado = 56,6947	R esperado = 70,8683
Índice R = 0,9367	Índice R = 0,9092	Índice R = 0,8508
Z calculado = -0,5547 SE= 4,3113	Z calculado = -1,1459 SE= 4,4901	Z calculado = -2,3249 SE= 4,5479
Z tabelado = 1,96		
Resultado = Padrão AGRUPADO (NÃO é significativo estatisticamente)	Resultado = Padrão AGRUPADO (NÃO é significativo estatisticamente)	Resultado = Padrão AGRUPADO (significativo estatisticamente)

Fonte: O autor

Essa estatística demonstra que os dados estão, em geral, agrupados na imagem, apesar de, em 1ª e 2ª ordem, essa informação não ser significativa estatisticamente, sendo então considerados pontos aleatórios, na análise final.

Outra análise que o aplicativo realiza é o da normalidade da amostra. Se os valores apresentados não forem distribuídos de forma normal, o Teste T de Student, que verifica as tendências dos erros, pode apresentar resultados inconclusivos. Os testes de normalidade e de tendência são apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

Figura 18 - Teste de normalidade do ortomosaico com 22 pontos de controle

Teste Shapiro-Wilk

Wcalc N = 0,553	p-value N = 0	Amostra NÃO Normal
Wcalc E = 0,5659	p-value E = 0	Amostra NÃO Normal
Wcalc 2D = 0,5469	p-value 2D = 0	Amostra NÃO Normal

Fonte: O autor.

Figura 19 - Análise de tendências do ortomosaico com 22 pontos de controle

Teste t de Student

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(E)	1,7247	-1,9215	Existe Efeito Sistemático
di(N)	1,7247	1,1953	Sem tendência

 Gráfico das discrepâncias

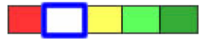
Média Direcional e Variância Circular

Somatório $\sin(Az) = -13,1998$

Somatório $\cos(Az) = 8,5457$

Média Direcional = 302,9195°

Variância Circular = 0,2138

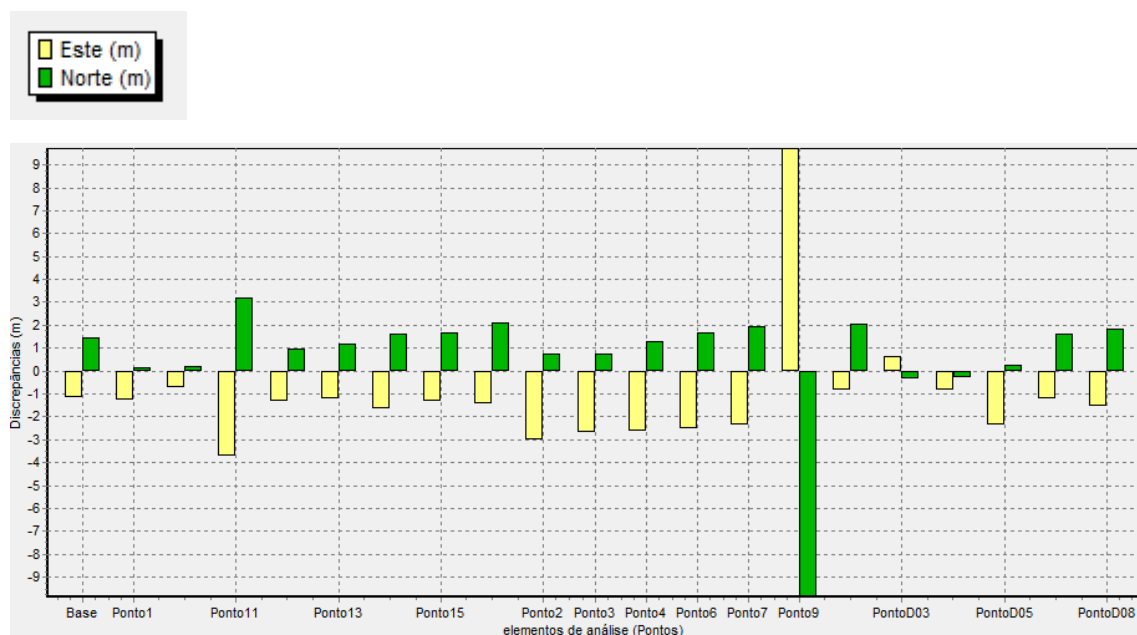
mesma direção (tendencioso)  direções opostas (sem tendência)

0 1

Fonte: O autor.

Apesar do Teste T apresentar informações inconclusivas, já que, segundo a Figura 17, a amostra não é considerada normal, a tendência pode ser avaliada pela Média Direcional e Variância Circular, que demonstra que a variância circular quanto mais próximo ao valor zero, mais tendencioso é o resultado, sendo esse valor, para este teste, 0,2138. Além disso, é possível verificar as discrepâncias a partir do gráfico gerado pelo aplicativo, apresentado na Figura 20. O gráfico mostra que o ponto com maior erro em relação a norte e a este é o Ponto 9.

Figura 20 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 22 pontos de controle



Fonte: O autor.

A análise a partir do Decreto 89.817 é apresentada nas Figuras 21 e 22, sendo que a primeira apresenta os padrões utilizados na análise e a segunda, os resultados obtidos.

Figura 21 - Padrões do Decreto 89.817

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	7	4,25
A	B	0,500	0,300	12,5	7,5
B	C	0,800	0,500	20	12,5
C	D	1,000	0,600	25	15

Fonte: O autor.

Figura 22 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 22 pontos de controle

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,238	95,238	95,238	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Dessa forma, é possível verificar que o mapa gerado utilizando os 22 pontos de controle coletados pode ser classificado como Classe A a partir do Decreto 89.817.

O aplicativo também traz algumas informações estatísticas sobre o mapa analisado, sendo essas apresentadas na Figura 23.

Figura 23 - Dados estatísticos do ortomosaico com 22 pontos de controle

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	21	21	21
média	-1,1155	0,6699	2,7804
desvio	2,6604	2,5682	2,7081
variância	7,078	6,596	7,334
RMS	2,8257	2,5942	3,836
máximo	9,715	3,189	13,8414
mínimo	-3,7417	-9,8591	0,7226
curtose	13,1639	13,5171	13,3226
assimetria	3,1284	-3,2047	3,1908
soma	141,551	131,909	146,678
nº outliers	-	-	0

Fonte: O autor.

Essas informações permitem verificar a média de erros para este, norte e posicional, o desvio padrão, a variância, o valor máximo e mínimo de erros e o número de outliers, que são dados que fogem do padrão e podem vir a atrapalhar a avaliação, entre outros.

5.3.2 Utilizando 15 pontos

A análise envolvendo 15 dos 22 pontos de controle foi realizada utilizando os pontos apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Ortomosaico gerado utilizando 15 GCPs



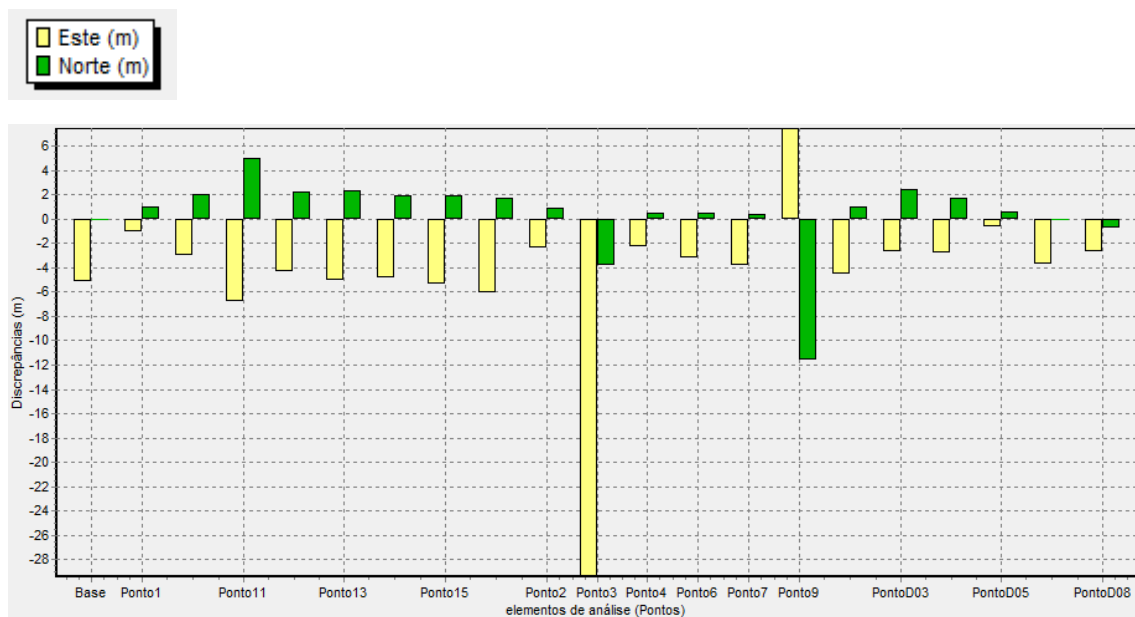
Fonte: O autor.

Essa análise foi realizada apenas com os pontos de dentro das megas, excluindo os pontos ao redor e a base. Nesse caso, a verificação da distribuição espacial apresentou as 3 ordens como pontos agrupados, porém apenas a primeira não era significativa estatisticamente, mostrando assim uma piora na representação da área em relação a utilização de todos os pontos.

Os testes de normalidade apresentaram também resultados não normais, sendo assim, os resultados do Teste T de Student podem ser inconclusivos. Porém, os resultados da Média

Direcional e Variância Circular foram tendenciosos. Os valores de discrepância podem ser verificados na Figura 25.

Figura 25 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 15 pontos de controle



Fonte: O autor.

Esses dados apresentam os erros encontrados em cada um dos pontos utilizados para a verificação, sendo que o maior erro encontrado é no Ponto 3 em relação a este, apesar de este ser um dos pontos utilizados na correção da imagem.

Os valores do PEC, apresentados na Figura 26, mostram que esta análise foi classificada como Classe C, obtendo, também, uma piora em relação ao mapa anterior.

Figura 26 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 15 pontos de controle

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	90,476	95,238	85,714	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	90,476	Falhou	Reprovado
B	C	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Os dados estatísticos dessa análise são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Dados estatísticos do ortomosaico com 15 pontos de controle

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	21	21	21
média	-4,396	0,4895	5,7502
desvio	6,4152	3,2334	6,1183
variância	41,155	10,455	37,434
RMS	7,6498	3,1932	8,2895
máximo	7,457	5,031	29,6461
mínimo	-29,4026	-11,6351	0,8732
curtose	11,5611	9,7726	11,2728
assimetria	-2,5011	-2,4442	2,8754
soma	823,098	209,101	748,672
nº outliers	-	-	1

Fonte: O autor.

Esses dados apresentam valores maiores do que os apresentados no mapa com 22 pontos, podendo ser verificado, principalmente, no valor da soma dos erros que, a este, apresenta um valor quase seis vezes maior.

5.3.3 Utilizando 11 pontos

Os pontos utilizados na análise com 11 pontos são os apresentados na Figura 28.

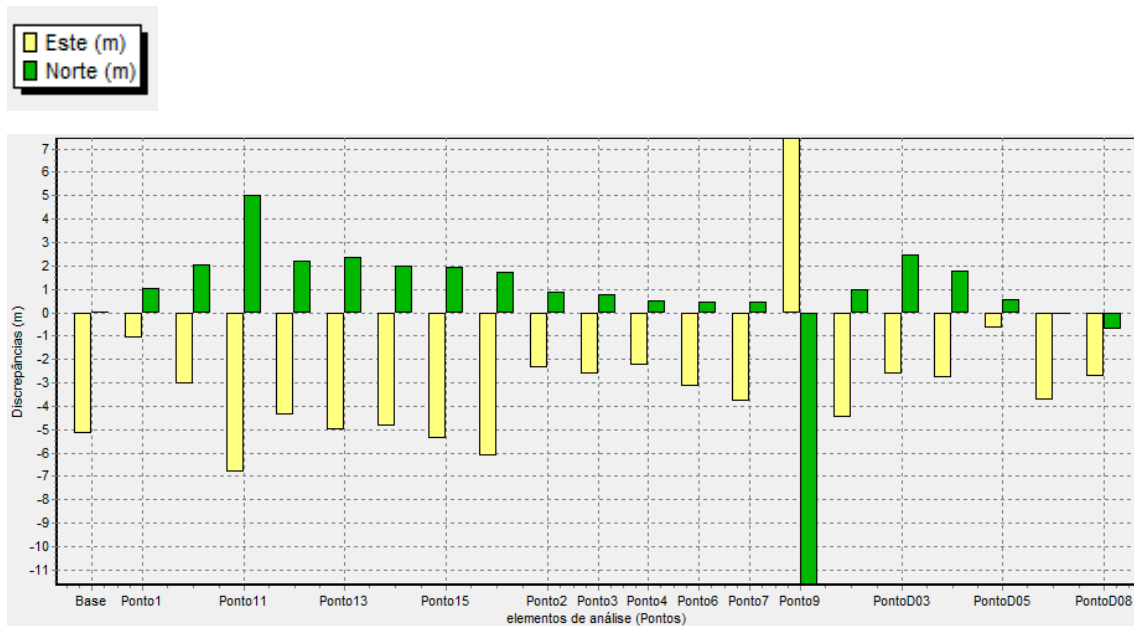
Figura 28 - Ortomosaico gerado utilizando 11 GCPs



Fonte: O autor.

Da mesma forma que o mapa utilizando os 15 pontos, as três ordens de análises de distribuição espacial apresentaram resultados agrupados, sendo que apenas a primeira não era significativa estatisticamente. Além disso, os valores apresentaram amostra não normal, de forma que o Teste T apresenta resultados inconclusivos, porém no teste de Média Direcional e Variância Circular apresentou valor 0,1187 para variância circular, sendo esse considerado tendencioso. A Figura 29 apresenta as discrepâncias encontradas na análise desse mapa.

Figura 29 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 11 pontos de controle



Fonte: O autor.

Novamente, o Ponto 9 é o que apresenta maior erro tanto para o leste quanto para o norte. Apesar disso, os valores do PEC apresentaram uma melhora em relação ao mapa anterior, sendo classificado como PEC B, conforme mostra a Figura 30.

Figura 30 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 11 pontos de controle

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,238	95,238	90,476	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Os dados estatísticos dessa análise são apresentados na Figura 31, que demonstra, também, uma melhora em relação ao mapa anterior (15 pontos).

Figura 31 - Dados estatísticos do ortomosaico com 11 pontos de controle

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	21	21	21
média	-3,1235	0,7054	4,4713
desvio	2,8898	3,0826	2,7618
variância	8,351	9,502	7,628
RMS	4,2082	3,0899	5,2208
máximo	7,458	5,034	13,8303
mínimo	-6,8197	-11,6471	0,8748
curtose	8,829	12,483	6,753
assimetria	2,161	-2,902	1,784
soma	167,014	190,050	152,551
nº outliers	-	-	0

Fonte: O autor.

Os valores se assemelham mais aos apresentados utilizando 22 pontos do que utilizando 15 pontos. Isso pode ocorrer pois um ponto que não foi utilizado nesse mapa causou algum problema na geração do mapa anterior, atrapalhando a correta sobreposição das imagens do voo.

5.3.4 Utilizando 9 pontos

Os pontos utilizados para gerar o mapa para essa análise são apresentados na Figura 32, que apresenta os pontos divididos entre as duas parcelas, sendo que a que tem terraços contém 5 pontos e a mega sem terraços contém 4. Na geração deste mapa, também não foram utilizados os pontos ao redor da mega e nem a coordenada da base.

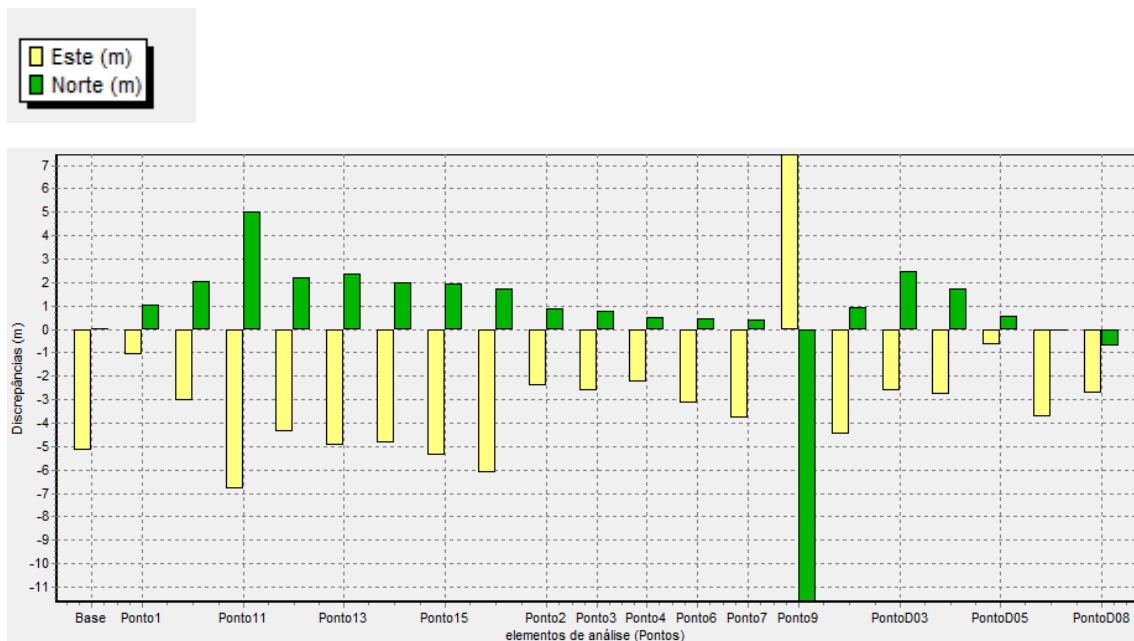
Figura 32 - Ortomosaico gerado utilizando 9 GCPs



Fonte: O autor.

As análises desse mapa apresentaram resultados semelhantes ao utilizando 11 GCPs, sendo que o teste de distribuição espacial apresentou, da mesma forma, apenas a primeira ordem como não significativa estatisticamente e as outras duas como valores agrupados. O teste de normalidade obteve também os mesmos resultados e o Teste T, resultados inconclusivos. A tendência também pode ser verificada nessa análise, já que o valor da Média Direcional foi ainda mais baixo do que o anterior, 0,0745. Porém, os valores de discrepância foram menores do que o mapa com 15 GCPs, sendo apresentados na Figura 33.

Figura 33 - - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com 9 pontos de controle



Fonte: O autor.

Essa redução nos valores de discrepância dos dados possibilitou uma melhora na classificação do PEC, sendo, também, classificado como PEC B, conforme apresenta a Figura 34.

Figura 34 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando 9 pontos de controle

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,238	95,238	90,476	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Os dados estatísticos também foram bastante semelhantes ao mapa anterior, apresentando poucas diferenças entre seus valores.

5.3.5 Utilizando pontos de controle alinhados

Os pontos utilizados para essa análise podem ser verificados na Figura 35. A utilização de pontos alinhados foi proposital para verificar a diferença que a utilização de GCPs nessa distribuição pode causar no mapa. Nesse caso, foi utilizado o valor da base, que é o valor mais real e correto coletado. Além disso, foram utilizados três pontos ao redor das megas e dois pontos no interior.

Figura 35 - Ortomosaico gerado utilizando pontos de controle alinhados

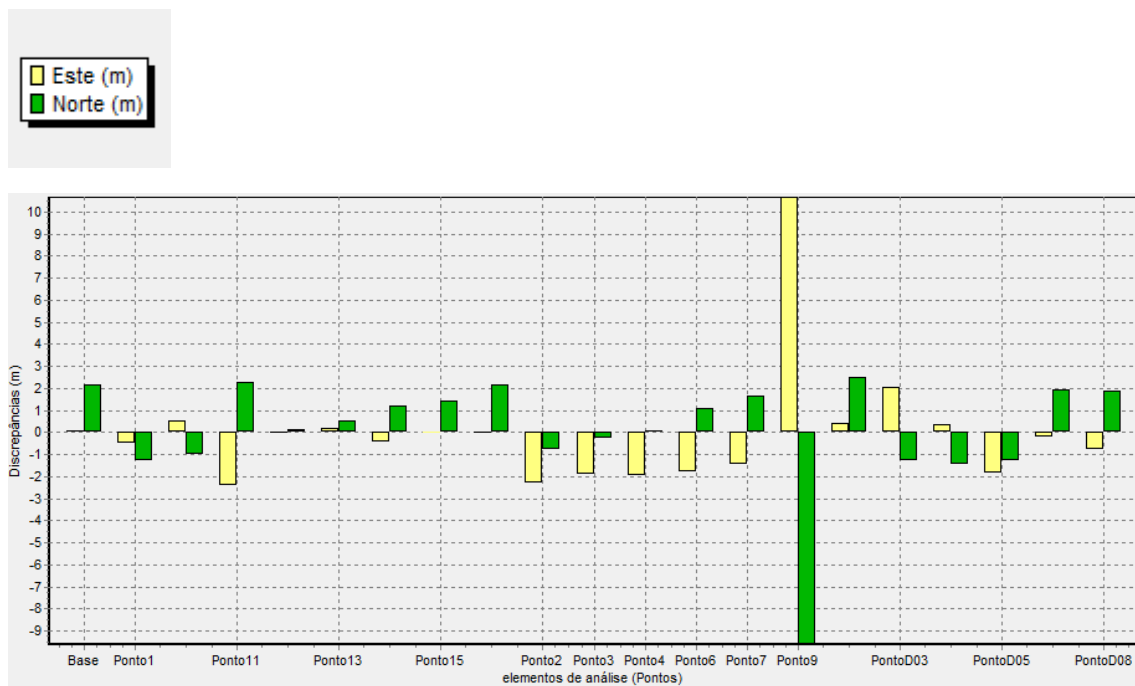


Fonte: O autor.

Nessa análise, os resultados de distribuição espacial e teste de normalidade apresentaram os mesmos resultados dos últimos mapas (9, 11 e 15 GCPs), porém, o teste de tendência a partir da Média Direcional apresentou melhores resultados, tendo como valor da Variância Circular, 0,6512, valor este que, por estar mais próximo de um do que de zero, é considerado não tendencioso.

Os valores de discrepância podem ser verificados na Figura 36, que demonstra, novamente, o Ponto 9 como sendo o que obteve maior valor de erro a norte e a este.

Figura 36 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle alinhados



Fonte: O autor

O valor do PEC deste ortomosaico apresentou melhores resultados do que os anteriores, como pode ser verificado na Figura 37. Isso se deve a utilização da base como instrumento de apoio para a geração do mapa, sendo assim, apesar dos pontos estarem alinhados, foi possível classificar o mapa como Classe A.

Figura 37 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando pontos de controle alinhados

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,238	95,238	95,238	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Os dados estatísticos desse mapa são mostrados na Figura 38. É possível verificar uma melhora em relação aos ortomosaicos que não utilizam a base para a geração do modelo, principalmente nos valores de média das discrepâncias.

Figura 38 - Dados estatísticos do ortomosaico com pontos de controle alinhados

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	21	21	21
média	-0,0563	0,1117	2,4326
desvio	2,707	2,6133	2,8213
variância	7,328	6,829	7,960
RMS	2,6423	2,5527	3,674
máximo	10,672	2,5118	14,3586
mínimo	-2,3867	-9,6061	0,142
curtose	11,855	9,251	15,241
assimetria	2,866	-2,319	3,542
soma	146,555	136,584	159,199
nº outliers	-	-	0

Fonte: O autor.

5.3.6 Utilizando pontos na mega parcela sem terraço

Os pontos utilizados para a geração deste mapa são apresentados na Figura 39, mostrando apenas os pontos do interior da mega sem terraços e a base como apoio.

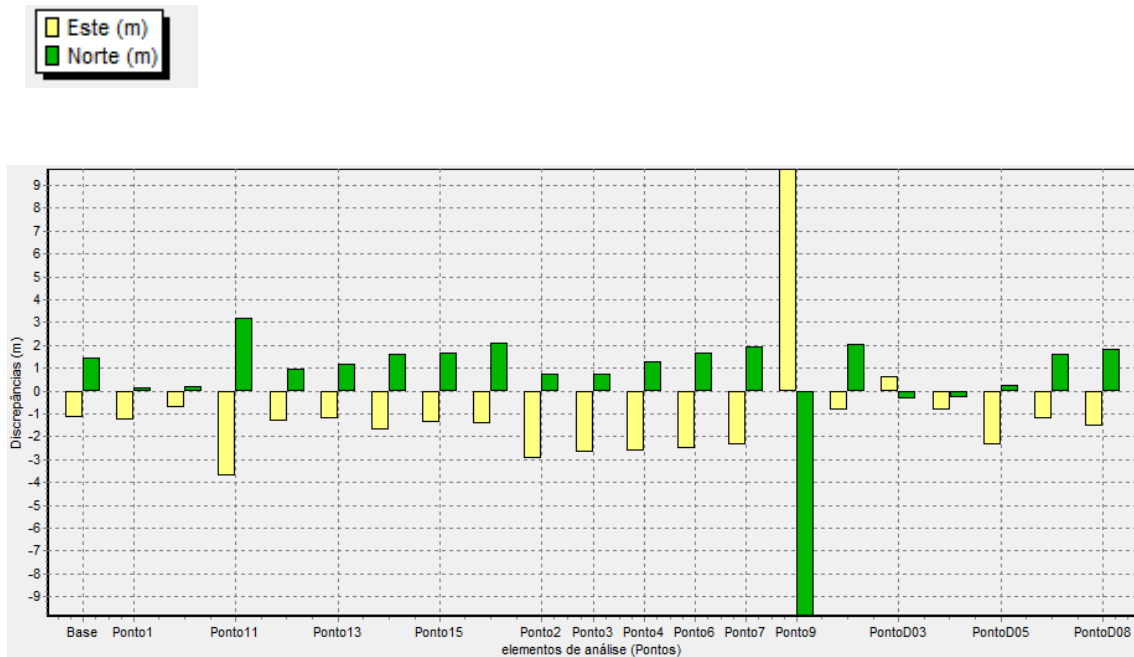
Figura 39 - Ortomosaico gerado com pontos de controle na mega parcela sem terraço



Fonte: O autor.

Essa ortomagem foi realizada utilizando 11 pontos no interior de uma das megas e a base, dessa forma, os dados, apesar de alinhados, contam com a ajuda da base para resultados melhorados. Na análise foi possível verificar que os valores do teste de distribuição espacial e normalidade não foram modificados em relação aos mapas anteriores, porém a Variância Circular do teste de Média Direcional apresentou valor 0,2126, sendo este considerado tendencioso. Os valores de discrepância podem ser verificados na Figura 40, que apresenta, novamente, o Ponto 9 com piores resultados.

Figura 40 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle na mega parcela sem terraço



Fonte: O autor.

A classificação do PEC para este mapa foi A, como pode ser verificado na Figura 41, da mesma forma que o mapa anterior, que também utilizou a base para a correção dos pontos.

Figura 41 - Classificação do PEC do ortomosaico utilizando pontos de controle na mega parcela sem terraço

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,238	95,238	95,238	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	95,238	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Os valores estatísticos foram semelhantes ao mapa anterior, que utilizava os pontos alinhados.

5.3.7 Utilizando pontos ao redor das mega parcelas

A geração do ortomosaico utilizado nessa análise teve como pontos de apoio apenas os que estavam localizados ao redor das megas, sem utilizar os pontos do interior das megas. A distribuição dos pontos pode ser verificada na Figura 42.

Figura 42 - Ortomosaico gerado utilizando os pontos ao redor das mega parcelas

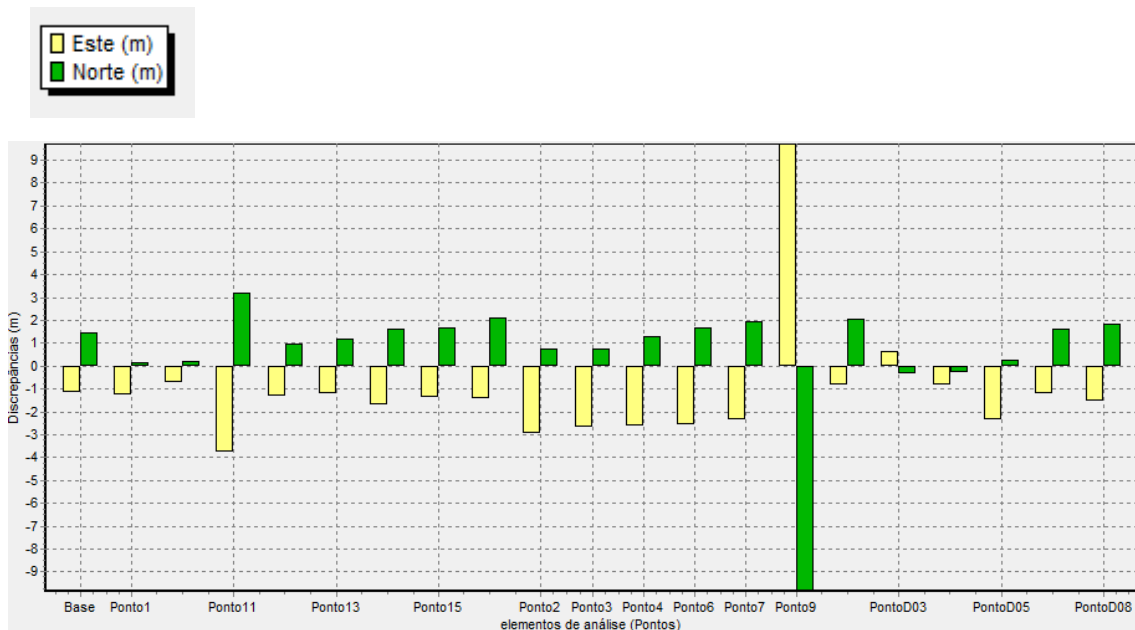


Fonte: O autor.

Os resultados da distribuição espacial e teste de normalidade continuaram semelhantes aos mapas anteriores, diferenciados apenas do primeiro, com 22 pontos. Os dados estatísticos também se mantiveram semelhantes aos mapas anteriores. Os valores de Média Direcional e

Variância Circular apresentaram o mapa como sendo tendencioso e as discrepâncias podem ser verificadas na Figura 43.

Figura 43 - Gráfico mostrando a diferença entre as coordenadas de teste e coordenadas de referência com pontos de controle na mega parcela sem terraço



Fonte: O autor.

Este ortomosaico foi classificado como Classe A, como os outros mapas que utilizaram a base para a geração do modelo. Isso mostra o impacto que um ponto bem georreferenciado causa no mapa.

5.3.8 Excluindo pontos

A partir das análises realizadas com os ortomosaicos acima, podemos verificar que existe um padrão em relação ao ponto 9. O mesmo aparece como o GCP com o maior erro em quase todos os produtos observados, exceto no ortomosaico gerado com 15 pontos de controle. Apesar de não ter sido considerado um outlier pelo aplicativo GeoPEC, esse ponto pode ter interferido negativamente nos resultados.

Esse erro pode ter sido causado por diversos motivos, inclusive pela alteração da localização do ponto após a coleta das coordenadas. Como não é possível identificar, no momento, a causa dessa imprecisão, avaliou-se como necessário excluir o ponto da geração do ortomosaico.

Dessa forma, os modelos foram criados sem a utilização do ponto 9 e foram submetidos aos testes do aplicativo GeoPEC sem considerar o ponto. Essa correção foi possível devido a verificação ponto a ponto realizada pelo aplicativo. Assim, o usuário consegue identificar os pontos com maiores incorreções e, caso julgue necessário, excluí-los da geração do modelo.

A geração dos modelos sem a utilização do ponto 9 causou uma melhora não muito significativa em todos os casos, exceto no ortomosaico gerado com 15 pontos, apesar de não ser uma diferença tão significativa. A Figura 44 apresenta o resultado após a geração e análise sem o ponto 9.

Figura 44 - Classificação do PEC do ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 9

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	95,000	100,000	90,000	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	95,000	Falhou	Reprovado
B	C	100,000	100,000	95,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	95,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

Apesar de continuar classificado como PEC C, o aplicativo passou a considerar o ponto 3 como *outlier*, como mostra a Figura 45.

Figura 45 - Dados estatísticos do ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 9

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	20	20	20
média	-4,9886	1,0957	5,3468
desvio	5,963	1,6975	5,9838
variância	35,557	2,882	35,806
RMS	7,6593	1,9844	7,9122
máximo	-0,6671	5,031	29,6461
mínimo	-29,4026	-3,7922	0,8732
curtose	14,082	5,031	13,635
assimetria	-3,379	-0,580	3,297
soma	675,580	54,745	680,302
nº outliers	-	-	1

Fonte: O autor.

Uma das possíveis causas para isso é que o ponto 3 já estava apresentando um valor alto de discrepância antes da retirada do ponto 9. A partir do momento que um ponto é retirado da geração do ortomosaico, os outros pontos perdem a conexão com ele, deixando o mapa menos “amarrado” do que anteriormente. Sendo assim, o ponto 3 acabou sendo afetado pela retirada de outro ponto.

Ao retirar o ponto 3 da geração do mesmo ortomosaico, houve uma importante melhora no resultado, conforme mostra a Figura 46.

Figura 46 - Classificação do PEC para o ortomosaico com 15 pontos excluindo o ponto 3 e o ponto 9.

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	100,000	94,737	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: O autor.

A figura mostra que o ortomosaico passou a ser classificado como PEC B. Isso se deve a retirada dos pontos que estavam causando problema na geração do produto.

6 CONCLUSÕES

Foram realizados testes utilizando ortomosaicos diferentes para a análise posicional de cada um. Esses testes apresentaram quatro resultados classificados como sendo PEC A, dois classificados como PEC B e apenas um resultado classificado como PEC C.

O ortomosaico gerado utilizando 22 pontos de controle foi o que apresentou melhores resultados, sendo este classificado como PEC A. Os valores encontrados nos ortomosaicos gerados com os pontos de controle alinhados, apenas com os pontos de controle dentro de uma das mega parcelas e com os pontos de controle ao redor delas apresentaram resultados semelhantes. Os três ortomosaicos foram classificados como PEC A.

Os testes utilizando 9 e 11 pontos de controle apresentaram classificação como PEC B. O único ortomosaico classificado como PEC C foi o gerado com 15 pontos de controle. Nesse ortomosaico, o Ponto 3 apresentou erro acima de 29 metros, enquanto nos outros ortomosaicos, o valor do erro não foi tão significativo. O Ponto 9 também apresentou erro de 11 metros de distância. Dessa forma, é possível verificar que os dados estatísticos mostraram grande diferença em relação aos outros ortomosaicos.

A retirada dos pontos que apresentaram maior erro de precisão na geração do mapa possibilitou uma melhora significativa na classificação do produto. A verificação ponto a ponto realizada pelo aplicativo permite a retirada dos pontos mais divergentes, sendo assim, é possível identificar onde está o possível erro na geração do mapa.

Os melhores resultados obtidos são devido ao fato de que, nesses ortomosaicos foi utilizado a base (levantamento GNSS estático) como apoio para a sua geração.

Como proposta para trabalhos futuros, tem-se a realização de estatística descritiva dos pontos, apresentando outras características além citadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Daniele Barroca Marra. **Posicionamento GPS utilizando o conceito de estação virtual**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, 2008.
- BATTAGLINI, Natália Maria do Carmo Lopes. **Avaliação de exatidão cartográfica de levantamentos planialtimétricos realizados com aeronave remotamente pilotada (RPA)**. 2018. Monografia de Projeto Final (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília, 2018.
- CANATA, Tatiana Fernanda et al. Monitoramento de lavouras de cana-de-açúcar por imagens aéreas e sensores a laser. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO*, 2018, Curitiba. **Resumos**. Curitiba, CONBAP, 2018.
- CENTENO, Jorge Antonio Silva. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: UFPR, 2003.
- CUNHA, Alexandre Aquino da. **Avaliação de erosão por imagens a curta distância**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Bahia, 2018.
- DA SILVA FERRAZ, Rodrigo; DE SOUZA, Sérgio Florêncio; REISS, Mário Luis Lopes. Laser Scanner Terrestre: Teoria, Aplicações e Prática. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 2, 2016.
- DECHEN, Sonia Carmela Falci et al. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.
- DOS SANTOS, Afonso de Paula. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com o uso da estatística espacial**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- DOS SANTOS, Afonso de Paula et al. 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, 2016.
- GOUVEIA JR, Amauri. O conceito de modelo e sua utilização nas ciências do comportamento: breves notas introdutórias. **Estudos de Psicologia (Campinas)**, v. 16, n. 1, p. 13-16, 1999.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JEREZ, Gabriel Oliveira; ALVES, Daniele Barroca Marra. Generation and performance analysis of GPS and GLONASS virtual data for positioning under different ionospheric conditions. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, 2019.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MONICO, Joao Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2008.

NEUGIRG, Fabian et al. Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys. **Geomorphology**, v. 269, p. 8-22, 2016.

PANEQUE-GÁLVEZ, Jaime et al. Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. **Forests**, v. 5, n. 6, p. 1481-1507, 2014.

PINEUX, Nathalie et al. Can DEM time series produced by UAV be used to quantify diffuse erosion in an agricultural watershed?. **Geomorphology**, v. 280, p. 122-136, 2017.

SEEBER, Günter. **Satellite geodesy**. Nova York: De Gruyter, 2008.

UDDIN, Kabir et al. Estimation of soil erosion dynamics in the Koshi basin using GIS and remote sensing to assess priority areas for conservation. **PloS one**, v. 11, n. 3, 2016.

UDDIN, Kabir; ABDUL MATIN, Mir; MAHARJAN, Sajana. Assessment of land cover change and its impact on changes in soil erosion risk in Nepal. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4715, 2018.