

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**Calinca Barão de Avila**

**APLICABILIDADE DE IMAGENS OBTIDAS A PARTIR DE  
AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO  
AMBIENTAL**

Santa Maria/RS  
2019



**Calinca Barão de Avila**

**APLICABILIDADE DE IMAGENS OBTIDAS A PARTIR DE  
AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO  
AMBIENTAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração: Manejo Florestal, Linha de Pesquisa: Planejamento Ambiental e Bioengenharia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal.**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz

Santa Maria/RS  
2019

Avila, Calinca Barão de  
Aplicabilidade de imagens obtidas a partir de  
aerofotogrametria realizada com aeronave remotamente  
pilotada como subsídio à gestão ambiental / Calinca Barão  
de Avila.- 2019.  
223 p.; 30 cm

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019


1. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) 2.  
Aerofotogrametria 3. Pontos de Controle 4. Gestão  
Ambiental I. , Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz II. Título.

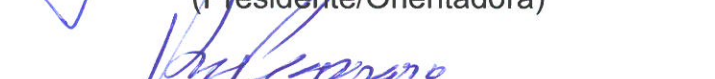
Calinca Barão de Avila

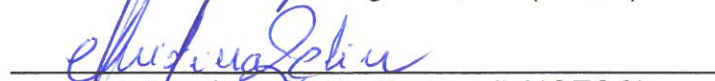
**APLICABILIDADE DE IMAGENS OBTIDAS A PARTIR DE  
AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO  
AMBIENTAL**

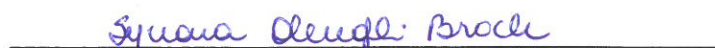
Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração: Manejo Florestal, Linha de Pesquisa: Planejamento Ambiental e Bioengenharia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

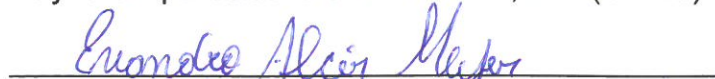
Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:

  
\_\_\_\_\_  
Jussara Cabral Cruz, Dr.<sup>a</sup> (UFSM)  
(Presidente/Orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Antoninho João Pegoraro, Dr. (UFSM)

  
\_\_\_\_\_  
Cristina Gouvêa Redin, Dr.<sup>a</sup> (UNOESC)

  
\_\_\_\_\_  
Synara Aparecida Olendzki Broch, Dr.<sup>a</sup> (UFMS)

  
\_\_\_\_\_  
Evandro Alcir Meyer, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS  
2019



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo e, de uma maneira especial:

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) que possibilitou a realização do curso de Doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela concessão de bolsa de estudos, que viabilizou a realização deste trabalho;

Serei eternamente grata à Universidade Federal de Santa Maria, pelas inúmeras oportunidades proporcionadas;

À minha Orientadora Dr<sup>a</sup>. Jussara Cabral Cruz pela confiança em mim depositada. Grata pelos ensinamentos e orientação. És fonte de admiração, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação;

Aos membros da banca examinadora pela contribuição para o enriquecimento desta tese;

Aos professores coorientadores Dr. Rudiney Soares Pereira e Dr<sup>a</sup>. Josita Soares Monteiro;

Aos proprietários rurais Sr. Gilson da Rosa (Júlio de Castilhos) e Sr. Ivo Dalcin (Nova Palma) que depositaram confiança na instituição UFSM e nos confiaram parte da sua área para realização desta pesquisa;

Ao meu esposo Éder Paz Araujo, pela compreensão e pela força diária em todos os momentos nessa caminhada. Tu foste imprescindível e fundamental;

Aos meus pais Vilson de Avila e Oriana Barão de Avila, e irmã Talita Barão de Avila pelo apoio incondicional e carinho nessa jornada;

Ao Prof. Dr. Rafael Cabral Cruz, pelas orientações e conselhos;

Aos colegas Marciano Friedrich e Carine Baggiotto pela amizade e incentivos constantes;

Aos amigos Maicon Mendes, Gabriele Martins, Eliomar Flores Boemo e Iara Barth (*in memoriam*) pela amizade e apoio.

Muito obrigada!





“A mente que se abre a uma nova ideia nunca  
mais voltará ao seu tamanho original”  
(Albert Einstein)



## RESUMO

### APLICABILIDADE DE IMAGENS OBTIDAS A PARTIR DE AEROFOTOGRAMETRIA REALIZADA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO AMBIENTAL

**AUTORA:** Calinca Barão de Avila

**ORIENTADORA:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz

A utilização, cada vez mais intensa, dos recursos naturais, dados os impactos significativos no meio ambiente que podem resultar deste uso, implica a necessidade de que sejam desenvolvidos estudos, em especial com utilização de novas tecnologias para compreender esses impactos de forma mais ampla, subsidiando, dessa forma, os processos de gestão ambiental e a indicação de alternativas para minimizar os efeitos adversos sobre o meio. A justificativa para o desenvolvimento desta tese insere-se nesse contexto e se concentra na utilização da ferramenta tecnológica de sensoriamento remoto na geração de imagens aéreas com alto grau de detalhamento com o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). O objetivo da tese foi avaliar a aplicabilidade das informações obtidas a partir de imagens de RPA para a elaboração de diagnóstico ambiental em apoio ao aprimoramento à gestão ambiental, considerando as questões técnicas de voo. Foram selecionadas duas áreas amostrais com diferentes características entre si (fisionomia vegetal, hídrica e variação na declividade do terreno). Os voos foram realizados em ambas as áreas em alturas de 50 m, 80 m e 110 m em relação ao nível do solo em um ponto de referência, além da utilização de pontos de controle. Na etapa seguinte ao da execução dos voos, foi utilizado o *software Agisoft Photoscan* para o processamento das imagens e obtenção dos produtos, ortofotomosaico e Modelo Digital de Elevação - MDE. Após, foram realizadas análises estatísticas dos dados provenientes dos produtos para avaliação da acurácia em situações de uso ou não de pontos de controle, e enquadramento dos produtos segundo as classes do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), por meio do uso do *software GeoPEC*. Também se verificou a acurácia das alturas de voo quanto à classificação das fisionomias de cobertura do solo utilizando o algoritmo SVM (*Support Vector Machine*) em linguagem de programação *R*. Os resultados obtidos neste estudo convergem para a necessidade de utilização de pontos de controle para a obtenção de produtos mais acurados, quando necessário. Além disso, segundo as avaliações da acurácia posicional planialtimétrica dos produtos para as diferentes alturas de voo, sugere-se que os voos sejam executados a 80 m e 110 m de altura. Em relação aos resultados da classificação das fisionomias, as alturas de voo de 80 m e 110 m não diferiram estatisticamente. Nesse contexto, considerando outros aspectos técnico-econômicos (área de cobertura, autonomia de voo, tempo de processamento de dados no *software*), pode-se indicar o voo na altura de 110 m como tendo melhor eficácia para geração do ortofotomosaico com objetivo de apoio à gestão ambiental.

**Palavras-chave:** Aeronave Remotamente Pilotada (RPA). Aerofotogrametria. Pontos de Controle. Gestão Ambiental.



## **ABSTRACT**

### **APPLICABILITY OF IMAGES OBTAINED FROM AEROFOTOGRAMMETRY CARRIED OUT WITH AIRCRAFT REMOTELY PILOTED AS A SUPPORT FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

**AUTHOR: Calinca Barão de Avila**  
**ADVISOR: Prof. Dr. Jussara Cabral Cruz**

The increasing use of natural resources, considering the significant impacts on the environment that may result from this use, implies the need for carrying out studies, especially using new technologies to understand these impacts broadly, thus supporting the environmental management and indicating alternatives to minimize adverse environmental effects. The justification for developing this doctoral dissertation is based on these environmental issues and it focuses on the use of remote sensing technology as a tool for the generation of aerial images with high level of detail from the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA). The purpose of this study was to evaluate the applicability of the information obtained from RPA images for the elaboration of environmental diagnosis as a support to the improvement of the environmental management, considering the technical issues of the flight. Two sample areas with different characteristics (vegetation and water physiognomy, and variation in ground slope) were selected. The flights were carried out in both areas at heights of 50 m, 80 m and 110 m in relation to the ground level at a reference point; ground control points were used in both areas. In the next step of the flight execution, the Agisoft Photoscan software was used to process the images and to obtain the products, orthophotomosaic and Digital Elevation Model - DEM. After that, statistical analyzes of the data from the products were carried out to evaluate the accuracy in situations of using or not the ground control points, and the classification of the products according to the Brazilian Cartographic Accuracy Standard of Digital Cartographic Products (PEC-PCD), by the use of GeoPEC software. It was also verified the accuracy of flight heights regarding the classification of ground covering physiognomies using the Support Vector Machine algorithm in R programming language. The results obtained in this study converge to the need of using ground control points to obtain more accurate products, when necessary. In addition, according to the assessments of the planialtimetric positional accuracy of the products for the different flight heights, it is suggested that the flights should be executed at 80 m and 110 m. Regarding the results of physiognomy classification, flight heights of 80 m and 110 m did not differ statistically. In this context, considering other technical-economic aspects (coverage area, flight autonomy, data processing time in the software), it is possible to indicate that the flight at 110 m has better efficiency for the generation of orthophotomosaic as a support for environmental management.

**Key-words:** Remotely Piloted Aircraft (RPA). Aerial Photogrammetry. Ground Control Points. Environmental management.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A) RPA multirrotor (quadrirrotor) da <i>DJI</i> ; B) RPA do tipo asa fixa da fabricante <i>senseFly eBee</i> .....	39
Figura 2 - Classificação dos RPAs, segundo a ANAC, 2017.....	56
Figura 3 - Mapa de localização da área amostral de estudo (Propriedade A), Júlio de Castilhos.....	58
Figura 4 - Mapa de localização da área amostral de estudo (Propriedade B), Nova Palma.....	59
Figura 5 - Vista panorâmica da área amostral localizada na Propriedade A, Júlio de Castilhos.....	60
Figura 6 - Vista panorâmica da área amostral localizada na Propriedade B, Nova Palma.....	61
Figura 7 - RPA modelo <i>Phantom 4 PRO</i> com sensor embarcado.....	62
Figura 8 - A) Alvo de lona fixado no solo. B) GPS Geodésico utilizado para a coleta dos pontos de controle.....	63
Figura 9 - Fluxograma das etapas de planejamento e execução do plano de voo. ..	65
Figura 10 - Tela de visualização do plano de voo (polígono da área a ser sobrevoada) no aplicativo de gerenciamento <i>Pix4D SA</i> .....	65
Figura 11 - Visualização da tela do dispositivo móvel ( <i>tablet</i> ) durante a execução do plano de voo do RPA a campo.....	66
Figura 12 - Ortofotomosaico gerado com sobreposição entre fotografias de 60% frontal e 40% lateral (altura de 110 m) com falhas de reconstrução.....	68
Figura 13 - Esquematização relacionada a obtenção do GSD.....	69
Figura 14 - Esquematização relacionada à variação do GSD.....	69
Figura 15 - Esquematização relacionada às alturas de voos executadas com o RPA.....	70
Figura 16 - Vista dos alvos de lona sinalizando os pontos de controle no solo, Propriedades A e B.....	71
Figura 17- Espacialização dos pontos de controle em cada área de estudo.....	72
Figura 18 - Etapas do fluxo de trabalho, elementos e produtos gerados no processamento no <i>software Agisoft Photoscan</i> .....	74
Figura 19 - Fluxograma das etapas de pós-processamento.....	75
Figura 20 - Localização espacial das áreas amostrais (A1 - A10) na Propriedade A.....	77
Figura 21 - Localização espacial das áreas amostrais (B1- B8) na Propriedade B...	78
Figura 22 - Ilustração esquemática do gráfico tipo <i>Box-plot</i> .....	86
Figura 23 - Fotografias aéreas individuais RPA a altura de 110 m.....	90
Figura 24 - Localização do ponto de partida ( <i>home point</i> ) do RPA nas respectivas áreas de estudo.....	92
Figura 25 - Resultados do processamento do voo teste a 110 m altura com as respectivas sobreposições frontal e lateral.....	94
Figura 26 - Discrepâncias planimétricas de voo a 50 m de altura.....	98
Figura 27 - Discrepâncias planimétricas de voo a 80 m de altura.....	99
Figura 28 - Discrepâncias planimétricas de voo a 110 m de altura.....	99
Figura 29 - Discrepâncias altimétricas posicionais para as três alturas de voo realizadas.....	100
Figura 30 - Discrepâncias planimétricas de voo a 50 m de altura.....	103
Figura 31 - Discrepâncias planimétricas de voo a 80 m de altura.....	103
Figura 32 - Discrepâncias planimétricas de voo a 110 m de altura.....	104

Figura 33 - Discrepâncias altimétricas posicionais para as três alturas de voo realizadas.....	104
Figura 34 - Recorte amostral considerando o processamento do ortofotomosaico sem pontos de controle (SPC) e com pontos de controle em (CPC) para a Propriedade A. ....	106
Figura 35 - Recorte amostral considerando o processamento do ortofotomosaico sem pontos de controle (SPC) e com pontos de controle em (CPC) para a Propriedade B. ....	107
Figura 36 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 50 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	111
Figura 37 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 80 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	112
Figura 38 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 110 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	113
Figura 39 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 50 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	114
Figura 40 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 80 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	115
Figura 41 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 110 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle. ....	116
Figura 42 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 50 m. ....	122
Figura 43 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 80 m. ....	122
Figura 44 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 110 m. ....	123
Figura 45 - Discrepâncias altimétricas Propriedade A, para voo a 110 m. ....	123
Figura 46 - <i>Box-plot</i> das discrepâncias planimétricas para as três alturas de voo, Propriedade A. ....	124
Figura 47 - <i>Box-plot</i> das discrepâncias altimétricas para as três alturas de voo, Propriedade A. ....	124
Figura 48 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 50 m. ....	125
Figura 49 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 80 m. ....	125
Figura 50 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 110 m. ....	126
Figura 51 - Discrepâncias altimétricas Propriedade B, para voo a 110 m. ....	126
Figura 52 - <i>Box-plot</i> das discrepâncias planimétricas Propriedade B para as três alturas de voo.....	127
Figura 53 - <i>Box-plot</i> das discrepâncias altimétricas Propriedade B para as três alturas de voo. ....	127
Figura 54 - Teste estatístico de Friedman e Nemenyi para as diferentes alturas de voo ao nível de significância de 5% para a Propriedade A. ....	135
Figura 55 - Teste estatístico de Friedman e Nemenyi para as diferentes alturas de voo ao nível de significância de 5% para a Propriedade B. ....	137
Figura 56 - Espacialização das feições identificadas na Propriedade A. ....	139
Figura 57- Espacialização das feições identificadas na Propriedade B. ....	140
Figura 58 - Amostra F8 (solo exposto) presente na área de estudo (Propriedade A). ....	141
Figura 59 - A) Amostra (Área A2), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.....	143
Figura 60 - A) Amostra (Área A7), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.....	144
Figura 61 - A) Amostra (Área A3), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.....	145



Figura 62 - A) amostra (Área B1), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade B. ....	146
Figura 63 - A) Fotografia aérea nº 83, RPA (110 m) com detalhe dos fragmentos florestais. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade B. ....	148
Figura 64 - A) Fotografia aérea nº 193, RPA (110 m) com detalhe do curso hídrico. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A. ....	149
Figura 65 - Fotografia aérea nº 185, RPA (110 m) com detalhe do curso hídrico e mata ciliar. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A. ....	150
Figura 66 - Amostra A1 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	168
Figura 67 - Amostra A2 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	169
Figura 68 - Amostra A3 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	170
Figura 69 - Amostra A4 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	171
Figura 70 - Amostra A5 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	172
Figura 71- Amostra A6 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	173
Figura 72 - Amostra A7 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	174
Figura 73 - Amostra A8 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	175
Figura 74 - Amostra A9 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	176
Figura 75 - Amostra A10 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A. ....	177
Figura 76 - Amostra B1 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	180
Figura 77 - Amostra B2 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	181
Figura 78 - Amostra B3 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	182
Figura 79 - Amostra B4 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	183
Figura 80 - Amostra B5 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	184
Figura 81 - Amostra B6 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	185
Figura 82 - Amostra B7 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	186
Figura 83 - Amostra B8 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B. ....	187
Figura 84 - Amostra F1 (área úmida), Propriedade A. ....	190
Figura 85- Amostra F2 (processos erosivos/solo exposto), Propriedade A. ....	191
Figura 86 - Amostra F3 (queda de vegetação por senescência/processos naturais/supressão), Propriedade A. ....	192
Figura 87 - Amostra F4 (vegetação campestre), Propriedade A. ....	193
Figura 88 - Amostra F5 (curso d'água), Propriedade A. ....	194
Figura 89 - Amostra F6 (divisas de área), Propriedade A. ....	195
Figura 90 - Amostra F7 (afloramento d'água/nascente), Propriedade A. ....	196
Figura 91 - Amostra F8 (solo exposto), Propriedade A. ....	197
Figura 92 - Amostra F9 (afloramento rochoso), Propriedade A. ....	198
Figura 93 - Amostra F10 (dossel florestal), Propriedade A. ....	199
Figura 94 - Amostra F1 (área úmida), Propriedade B. ....	200
Figura 95 - Amostra F2 (processos erosivos/solo exposto), Propriedade B. ....	201
Figura 96 - Amostra F3 (queda de vegetação por senescência/processos naturais/supressão), Propriedade B. ....	202
Figura 97- Amostra F4 (vegetação campestre), Propriedade B. ....	203
Figura 98 - Amostra F5 (curso d'água), Propriedade B. ....	204
Figura 99 - Amostra F6 (divisas de área), Propriedade B. ....	205
Figura 100 - Amostra F7 (afloramento d'água/nascente), Propriedade B. ....	206
Figura 101- Amostra F8 (solo exposto), Propriedade B. ....	207
Figura 102 - Amostra F9 (afloramento rochoso), Propriedade B. ....	208
Figura 103- Amostra F10 (dossel florestal), Propriedade B. ....	209
Figura 104- Ortofomosaico da Propriedade A para a altura de voo 50 m. ....	212
Figura 105- Ortofomosaico da Propriedade A para a altura de voo 80 m. ....	213

Figura 106- Ortofomosaico da Propriedade A para a altura de voo 110 m.....	214
Figura 107- Ortofomosaico da Propriedade B para a altura de voo 50 m.....	215
Figura 108 - Ortofomosaico da Propriedade B para a altura de voo 80 m.....	216
Figura 109- Ortofomosaico da Propriedade B para a altura de voo 110 m.....	217
Figura 110- Parâmetros gerados no processamento dos ortofotomosaicos no <i>software Agisoft PhotoScan</i> da área de estudo, Propriedade A.....	218
Figura 111- Parâmetros gerados no processamento dos ortofotomosaicos no <i>software Agisoft PhotoScan</i> da área de estudo, Propriedade B.....	219

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD e PEC. ....	51
Tabela 2 - Coordenadas de localização dos pontos de controle nas áreas de estudo. ....	73
Tabela 3 - Localização das coordenadas do centroide das áreas amostrais, Propriedade A e B. ....	76
Tabela 4 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia, conforme PEC-PCD e PEC. ....	85
Tabela 5 - Resumo dos resultados dos voos realizados em ambas as áreas de estudo. ....	88
Tabela 6 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais, considerando o processamento sem pontos de controle na Propriedade A. ....	96
Tabela 7- Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento com pontos de controle na Propriedade A. ....	97
Tabela 8 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento sem pontos de controle, Propriedade B. ....	101
Tabela 9 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento com pontos de controle, Propriedade B. ....	102
Tabela 10 - Resumo do intervalo de altitudes verificadas nos produtos. ....	108
Tabela 11 - Resumo estatístico das discrepâncias para ambas as áreas de estudo. ....	117
Tabela 12 - Resultados das avaliações das tendências para ambas as áreas de estudo. ....	118
Tabela 13 - Avaliação da precisão/acurácia e enquadramento nas classes PEC-PCD. ....	119
Tabela 14 - Avaliação da precisão/acurácia e enquadramento nas classes PEC-PCD. ....	120
Tabela 15 - Resumo estatístico das discrepâncias planialtimétricas. ....	121
Tabela 16 - Resumo estatístico da avaliação de acurácia realizada com o <i>GeoPEC</i> nos dados da Propriedade A. ....	129
Tabela 17 - Classificação dos produtos resultantes da avaliação de acurácia realizada com o <i>GeoPEC</i> para os dados da Propriedade A. ....	129
Tabela 18 - Resumo estatístico da avaliação de acurácia realizada com o <i>GeoPEC</i> nos dados da Propriedade A. ....	130
Tabela 19 - Classificação dos produtos resultante da avaliação de acurácia realizada com o <i>GeoPEC</i> para os dados da Propriedade A. ....	130
Tabela 20 - Resumo das características relacionadas aos voos com diferentes alturas. ....	132
Tabela 21 - Alturas de voos e as respectivas escalas médias das imagens- Fotografias relacionadas a cada altura de voo. ....	133
Tabela 22 - <i>Ranking</i> dos escores de acordo com as repetições para as diferentes alturas de voo obtido pela validação cruzada para a Propriedade A. ...	134
Tabela 23 - <i>Ranking</i> dos escores de acordo com as repetições para as diferentes alturas de voo, obtido pela validação cruzada para a Propriedade B. ...	136
Tabela 24 - Matriz comparativa de identificação das feições nas áreas de estudo. ....	138



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Configuração da planilha dos dados de entrada no <i>software GeoPEC</i> ...	82
Quadro 2 - Fórmulas matemáticas utilizadas para a determinação das discrepâncias posicionais.....	82
Quadro 3 - Equações para a determinação da acurácia e da precisão dos produtos analisados. ....	84



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APP	Área de Preservação Permanente
CMA	Certificado Médico Aeronáutico
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
EQM	Erro Quadrático Médio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET-PCDG	Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
ET-ADGV	Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
GCP	<i>Ground Control Points</i>
GNSS/GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSD	<i>Ground Sampling Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevações
MDS	Modelo de Superfície do Terreno
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
MSE	<i>Mean Square Error</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
RBAC-E	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i> (Aeronave Remotamente Pilotada)
RGB	<i>Red Green Blue</i>
SAMA	Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	31
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>33</b>
3.1	PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL .....	33
3.2	GEOPROCESSAMENTO COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE AMBIENTAL .....	34
3.3	SENSORIAMENTO REMOTO .....	36
<b>3.3.1</b>	<b>Fotogrametria associada ao sensoriamento remoto</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Fotogrametria com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)</b> .....	<b>39</b>
3.4	POTENCIALIDADES DE USOS DE RPAS .....	42
<b>3.4.1</b>	<b>Controle de qualidade dos produtos derivados de levantamentos aerofotogramétricos com RPAs</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Processamento de dados RPAs voltado à classificação de imagens</b> ...	<b>53</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Regulamentações para o uso de RPAs</b> .....	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>57</b>
4.1	MATERIAL.....	57
<b>4.1.1</b>	<b>Áreas de estudo</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Levantamento aerofotogramétrico</b> .....	<b>62</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Imagens utilizadas no estudo proposto</b> .....	<b>63</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Processamento e pós-processamento dos dados</b> .....	<b>63</b>
4.2	METODOLOGIA.....	64
<b>4.2.1</b>	<b>Levantamento aerofotogramétrico</b> .....	<b>64</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Definição dos critérios para os voos</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Voos efetivos nas áreas de estudo</b> .....	<b>70</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Processamento e pós-processamento</b> .....	<b>73</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Análise dos resultados</b> .....	<b>79</b>
<i>4.2.5.1</i>	<i>Análise das diferenças de alturas de voos</i> .....	<i>79</i>
<i>4.2.5.2</i>	<i>Avaliação da acurácia e precisão utilizando pontos de controle</i> .....	<i>81</i>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>87</b>
5.1	VOOS REALIZADOS.....	87
5.2	QUESTÕES TÉCNICAS DE VOO .....	88
<b>5.2.1</b>	<b>Uso de pontos de controle</b> .....	<b>95</b>
<i>5.2.1.1</i>	<i>Avaliação da acurácia dos produtos para as diferentes alturas de voos considerando o uso de pontos de controle</i> .....	<i>121</i>
<i>5.2.1.2</i>	<i>Avaliação dos resultados obtidos com o uso de pontos de controle em relação ao PEC - Padrões de Exatidão Cartográfica estabelecidos pelo Decreto nº 89.817/84 ET-CQDG.</i> .....	<i>128</i>
5.3	ANÁLISE DAS DIFERENTES ALTURAS DE VOO .....	132
5.4	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE IMAGENS DE DIFERENTES FONTES.....	138
5.5	ASPECTOS RELACIONADOS À VEGETAÇÃO NAS AMOSTRAS.....	142
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>153</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>155</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>167</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de novas tecnologias de sensoriamento remoto em levantamento aerofotogramétrico com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), pela sua maior versatilidade de uso, tem se tornado cada vez mais frequente em aplicações para diversas finalidades nas áreas das engenharias e das ciências ambientais.

Embora inicialmente os RPAs tivessem a finalidade de uso militar, atualmente, eles têm ganhado espaço consolidado no mercado e sendo cada vez mais utilizados. Suas aplicações abrangem os setores de infraestrutura, agricultura, telecomunicação, construção civil, segurança, transporte, minas, entretenimento e mídia, acompanhamentos logísticos e inspeções industriais (KNEIPP, 2018; FALORCA; LANZINHA, 2018). Além disso, apresentam grande potencial de aplicações pontuais como no aproveitamento da identificação de diferentes usos do solo, Áreas de Preservação Permanente - APPs, mapeamento do avanço de áreas com desmatamento, monitoramento e fiscalização ambiental.

Além desses, outros estudos e aproveitamentos referem-se à sua utilização na agricultura, indicando grande potencial do uso dessa tecnologia como apoio à agricultura de precisão, como descreve a Horus (2016), cuja publicação apresenta usos destinados à detecção de problemas na plantação, mapeamento detalhado para otimizar a aplicação de insumos, visando a uma maior produtividade, agilidade e praticidade neste segmento.

Dessa forma, entende-se que há diversas potencialidades de aplicação das informações geradas pelos levantamentos aéreos em diagnósticos ambientais que possam contribuir na tomada de decisão em processos de licenciamento ambiental e florestal pelos órgãos ambientais competentes, bem como em estudos de zoneamento, fragilidade e gestão ambiental.

A utilização desta tecnologia tem se mostrado superior em comparação às técnicas de sensoriamento remoto que utilizam como informações de imageamento aquelas obtidas por meio de satélites. Isso porque há a possibilidade de obtenção de imagens de alta resolução e temporalidade (WHITEHEAD et al, 2014; GRAÇA, 2017).

Sendo assim, é possível observar que os usos de RPAs podem ser dos mais variados, atendendo a diversos segmentos. Cabe ressaltar, entretanto, que em muitas de suas aplicações, há a necessidade de adaptações específicas para suas potencialidades serem exploradas.

Nesse contexto, dependendo da finalidade, ainda existem muitas incertezas em relação à qualidade dos produtos gerados, bem como a forma como essa tecnologia pode ser usada em favor de uma necessidade específica. Como tal, deve basear-se em informações suficientes e confiáveis, e nas melhores tecnologias disponíveis para minimizar as incertezas em questões ambientais.

Especificamente na área florestal, estudos como o de Michez et al (2016), indicam a eficiência da utilização de imagens obtidas com RPA no mapeamento de espécies invasoras. Porém, ainda são incipientes as pesquisas indicando metodologias e resultados mais contundentes utilizando RPA na área de estudos de paisagens naturais (OLIVEIRA SOBRINHO et al, 2018). Além disso, conforme analisado por Medeiros (2007), no Brasil, as pesquisas ainda são relativamente recentes.

Diante disso, é essencial estudar as ferramentas de sensoriamento remoto vinculadas à utilização das imagens obtidas a partir de aerofotogrametria realizada com RPA em processos de análise de paisagens, como subsídio para a gestão ambiental, vinculados à área florestal. Essa premissa é devido ao alto grau de detalhamento dessas imagens e aquisição de dados a nível local. Tais imagens podem ser utilizadas como base para futuros planejamentos que necessitem de um retrato da situação atual do ambiente.

Além disso, necessita-se avaliar a aplicabilidade e qualidade das informações obtidas por RPA, considerando as questões técnicas de voo relacionadas, principalmente, às diferentes alturas de voo. Haja vista a incipiência de estudos que subsidiem informações de cunho técnico referente à influência da altura de voo na qualidade da identificação das feições naturais e fisionomia vegetal observadas no ortofotomosaico e no Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado, são necessárias pesquisas sobre esse tema.

Os estudos científicos relacionados a este quesito relatam uma altura de voo adotada, porém, não indicam como foi definida e quais foram as implicações observadas na qualidade das imagens obtidas. Ressalta-se que a legislação vigente de uso de RPAs apresenta as exigências de aeronavegabilidade, bem como a altura máxima permitida, considerando a classificação relacionada ao tipo de aeronave.

Assim, ante ao exposto, percebe-se um maior volume de estudos voltados à aplicabilidade de uso de RPAs, porém, eles não preenchem algumas das lacunas sobre as questões até aqui apontadas. As escolhas das alturas de voo, por exemplo,

ao que pode ser observado, muitas vezes, são definidas de forma arbitrária, por falta de indicação de parâmetros mais específicos.

Logo, esta tese, baseada nos seus objetivos, visa a contribuir para sanar alguns pontos relacionados ao uso de RPAs, de forma a nortear os usuários frente a tantas possibilidades na escolha dos aspectos técnicos existentes e às incertezas associadas.

Portanto, algumas das perguntas a serem respondidas neste estudo referem-se a essas questões mencionadas: qual é a altura de voo indicada, considerando as limitações técnicas da aeronave e da análise técnica-econômica? Qual a influência das diferentes alturas de voo na interpretação e classificação das feições naturais e fisionomia vegetal observada nas imagens (ortofotomosaico)?

Desse modo, a realização do presente estudo justifica-se pela importância de se avaliar a aplicabilidade das imagens aéreas geradas com RPA para análises da paisagem de modo especializado, assim como as questões técnicas de voo relacionadas e orientar o usuário em relação aos resultados que apresentam maior eficácia.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade das informações obtidas a partir de imagens de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para a elaboração de diagnóstico ambiental em apoio ao aprimoramento da gestão ambiental, considerando as questões técnicas de voo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as questões técnicas relacionadas à definição de diferentes alturas a fim de obter um ortofotomosaico com um grau de detalhamento que possibilite identificar as feições naturais da paisagem e fisionomia vegetal;
- Verificar a acurácia quanto à classificação das feições naturais, nas diferentes alturas de voo, submetidas ao processo de classificação supervisionada.





### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL

O planejamento ambiental é visto como o estudo que visa à adequação do uso, controle e proteção ao ambiente, além do atendimento das potencialidades, fragilidades, suscetibilidades, acertos e conflitos de um território (SANTOS, 2004).

A implantação de um empreendimento depende do licenciamento ambiental, junto ao órgão competente de controle. Dessa forma, quando o empreendimento adquire a licença, fica evidenciada a sua viabilidade ambiental (ESCOBAR; WERLE, 2010).

Apesar de já existirem instrumentos para a proteção ambiental, verifica-se a necessidade de que sejam desenvolvidos métodos que auxiliem nos zoneamentos e diagnósticos ambientais, no intuito de subsidiar com menores incertezas e dar maior celeridade aos processos de licenciamento e gestão ambiental.

O planejamento é um processo contínuo que envolve decisões ou escolhas acerca de formas alternativas de utilizar os recursos disponíveis com o objetivo de atingir metas específicas no futuro (CONYERS; HILLS, 1984). Nesse contexto, Santos (2004) explica que o planejador deve selecionar dados que sejam objetivos, representativos e de fácil interpretação, construindo uma base sólida para a tomada de decisões.

Muitos dos entraves que permeiam as questões relacionadas ao meio ambiente são paradigmas que devem ser quebrados a partir de uma visão holística do meio. No que concerne à gestão ambiental, vários são os esforços para coordenar iniciativas, como "Planejamento Estratégico", "Planejamento Regional", "Planejamento Físico-Territorial", "Planejamento Ambiental". Essas são expressões que, com frequência, se misturam, fazendo parte de uma retórica comum entre políticos, administradores públicos e técnicos (ROSS; DEL PRETTE, 1998). Além dessas, também vêm sendo desenvolvidas outras formas de planejamento ambiental como os planos de bacias hidrográficas, os planos diretores ambientais e os planos de manejo (FIDALGO, 2003).

Os anseios por políticas públicas ambientais e a preocupação com o ordenamento territorial a partir da década de 1990 promoveram o desenvolvimento de projetos de zoneamento ecológico-econômico (ZEE). Tais projetos devem refletir a

integração de disciplinas técnico-científicas, considerando a abordagem sobre as potencialidades do meio natural e adequando os programas de desenvolvimento (ROSS, 2006). Os zoneamentos ambientais identificam e caracterizam unidades ambientais e podem estabelecer a setorização do espaço para atividades específicas (FIDALGO, 2003).

As fragilidades ambientais refletem o potencial de degradação na qualidade ambiental do meio como resposta a qualquer perturbação dos padrões e processos (CRUZ et al, 2014). Uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental é o mapa de fragilidade ambiental, pois ele permite avaliar as potencialidades dos ambientes de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (PADILHA, 2008).

O modelo de fragilidades ambientais deve ser capaz de espacializar o potencial de degradação do meio, e os indicadores ambientais devem refletir as alterações possíveis nos diferentes componentes do meio em função das diversas alterações no mesmo (CRUZ et al, 2013; 2014).

Como conceito de fragilidade, tem-se que seja qualquer perturbação dos padrões e processos na bacia hidrográfica que pode provocar uma degradação na qualidade ambiental da bacia (meio terrestre e aquático, barreiras físicas ou qualitativas, permeáveis ou impermeáveis) (UNIPAMPA/UFSM/MMA, 2009).

A organização do espaço produtivo é essencial no contexto de planejamento integrado, dada a distribuição espacial e temporal dos recursos ambientais em termos quantitativos e qualitativos, a diversidade do meio físico e a pressão antrópica sobre as regiões (MENDES; CIRILO, 2001). Essas abordagens citadas, muitas vezes, necessitam de informações geoespaciais para subsidiar as decisões. Sendo assim, é nesse contexto que se insere o imageamento com o uso de RPA, os quais são, em sua maioria, mais ricos em detalhamento.

### 3.2 GEOPROCESSAMENTO COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE AMBIENTAL

Por definição, o conceito de geoprocessamento apresentado por Piroli (2010, p.5) pode ser entendido como:

O termo geoprocessamento pode ser separado em geo (terra – superfície – espaço) e processamento (de informações – informática). Desta forma, pode ser definido como um ramo da ciência que estuda o processamento de

informações georreferenciadas utilizando aplicativos (normalmente SIGs), equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados. Este conjunto deve permitir a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados principalmente à localização de informações sobre a superfície da terra.

O objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas, através do uso do geoprocessamento, tornem disponíveis para as análises ambientais procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente (PADILHA, 2008).

O uso de *softwares* em microcomputadores para estudos e análises ambientais tem sido incrementado de tal forma que, atualmente, não se pode imaginar a dispensa desses valiosos instrumentos de consulta para diminuir riscos, reduzir a possibilidade de equívocos e embasar tomadas de decisão (TREVISAN, 2008).

O conhecimento, localização e distribuição das atividades antrópicas no espaço geográfico e sua variação ao longo do tempo configuram-se como um importante elemento da questão, visto que, desta forma, é possível a proposição de estratégias e ações objetivando uma melhor distribuição das atividades produtivas e de proteção dos recursos naturais (MENDES; CIRILO, 2001). Isso permite, não apenas a mera descrição dos principais aspectos, mas, também, a simulação e o estabelecimento das intervenções possíveis para a escolha das melhores alternativas.

Outro aspecto relacionado ao geoprocessamento é a possibilidade de integração e a análise de dados de fontes diversas, por meio do uso de sistemas e rotinas computacionais. Exemplo disso é a análise ambiental de uso e ocupação do solo, utilizando dados primários coletados por sensoriamento remoto (FITZ, 2016). Portanto, as ferramentas de geoprocessamento alicerçadas pelas informações com menores incertezas oriundas de tecnologias de sensoriamento remoto, sobretudo, aquelas obtidas por imageamento com o uso de (Aeronaves Remotamente Pilotadas) RPAs, são fundamentais para um melhor entendimento no contexto de paisagens. Além, é claro, de possibilitarem a obtenção de informações geoespacializadas associadas a menores riscos de incertezas.

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

As informações sobre determinada área da superfície terrestre podem ser obtidas diretamente em campo ou indiretamente por meio de produtos do sensoriamento remoto. Através dele pode-se obter informações novas, assemelhando-se ao levantamento diretamente em campo, entretanto, tem-se a possibilidade de amostrar áreas mais rapidamente (LONGHITANO, 2010).

Para autores como Meneses e Almeida (2012, p. 3), o sensoriamento remoto é “a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”. Nesse contexto, salientam que para que sejam atendidos os preceitos conceituais, mais estritamente em seu sentido científico para que um sensor seja classificado como de sensoriamento remoto, este deve obter as imagens por meio da detecção da radiação eletromagnética. Do contrário, o sensor não deve ser enquadrado como de sensoriamento remoto.

O segmento de sistemas de sensoriamento remoto evoluiu significativamente nas últimas décadas, sobretudo nesses últimos anos. Como resultado, tem-se cada vez mais tecnologias disponíveis e relativamente acessíveis. Por exemplo, o sensoriamento remoto era praticamente realizado anteriormente apenas por meio de imagens de satélite ou com o auxílio de aeronaves tradicionais. Já atualmente, além destes, os processos de aerofotogrametria podem ser feitos utilizando Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) (SOUZA, 2017).

Segundo Souza (2017) e Moutinho (2015), pode-se realizar sensoriamento remoto com o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e produzir geoinformações de qualidade. Ressalta-se que a terminologia utilizada atualmente para denominar os Veículos Aéreos Não Tripulados, no Brasil, segundo a normativa da Agência Nacional de Aviação (ANAC) (2017), é o RPA (Aeronave Remotamente Pilotada).

A terminologia de RPA é também adotada pela *International Civil Aviation Organization*, pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Segundo a ANAC, os RPAs são classificados em diferentes categorias de acordo com o tipo de uso e tamanho. Dentre as categorias encontra-se a que remete à nomenclatura de RPA, que são os modelos de menor tamanho e não raramente, alguns modelos dessa linha são utilizados para fins recreacionais, estes últimos denominados de aeromodelos.

Sendo assim, embora muitos textos de trabalhos referem-se a estes como VANT, a fim de padronizar a nomenclatura, nesta tese, será utilizado o termo adotado pela ANAC, ou seja, RPA.

A possibilidade da obtenção de imagens de sensoriamento remoto em meio digital, como ocorre com a maioria dos sensores embarcados em RPAs e, muitas vezes, com geração de imagens já georreferenciadas, mesmo que imprecisamente, permite que estas sejam integradas de forma mais rápida a Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (LONGHITANO, 2010).

Os usos em sensoriamento remoto podem ser dos mais diversos, já que também não faltam opções de sensores que podem ser empregados em diferentes tipos de modelos. De Sousa (2017) aponta cuidados que devem ser tomados, desde o levantamento até o processamento, para que estes produtos de fato sejam adequados à sua aplicação, como: o uso de técnicas adequadas para o levantamento dos pontos de controle; uma boa distribuição desses pontos; seleção das imagens; posicionamento cauteloso dos pontos de controle nas imagens, durante o processamento, entre outros.

Há uma forte tendência de aprimoramento tecnológico desses equipamentos, metodologias e questões técnicas de voo. O que pode significar que, possivelmente, os RPAs serão ainda mais usuais como plataforma para sensoriamento remoto, sendo capazes de gerar geoinformações com qualidades ainda superiores às já obtidas atualmente.

Derivado do sensoriamento remoto, vários sensores passivos foram adaptados e miniaturizados para serem transportados por essas aeronaves. Câmeras multiespectrais e térmicas estão disponíveis no mercado, especificamente para RPAs, enquanto as câmeras ópticas são, geralmente, câmeras digitais compactas, que dependem da carga útil do veículo aéreo e de aspectos técnicos, como o tamanho do *pixel* e a distância focal. Câmeras hiperespectrais também estão começando a ser comercializadas com RPAs (MOUTINHO, 2015).

### **3.3.1 Fotogrametria associada ao sensoriamento remoto**

A fotogrametria pode ser entendida como a arte, a ciência, e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente a partir da utilização de processos de gravação, medição e interpretação de imagens

fotográficas, assim como de padrões de energia eletromagnética radiante e demais fenômenos associados (THOMPSON; GRUNER, 1980).

Ainda, Loch e Lapolli (1994) definem a fotogrametria como a ciência e a tecnologia que visa à obtenção de informações com alto grau de veracidade acerca de objetos físicos e do meio por intermédio de processos de registro, medição e interpretação das imagens fotográficas. De forma geral, é notavelmente crescente a necessidade e o uso de processos que resultem na elaboração de cartografia, sobretudo a temática para as mais variadas finalidades de usos, especialmente para fins de planejamento e ordenamento territorial e de projetos variados de engenharia.

Para isso, não raramente são elaborados produtos derivados de fotogrametria com o apoio da base cartográfica sistemática. Nesse contexto, conforme salientam Loch e Erba (2007), a base cartográfica representa uma porção do território e contém informações planialtimétricas fundamentais desta fração representada e é reproduzida conforme um conjunto de convenções predeterminadas e com alta precisão métrica, servindo, assim, como referência para projetos e para a elaboração de cartas temáticas.

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 RPAs. O espacial é obtido por satélites ou outros veículos espaciais (GALVÃO, 2014).

Conforme a norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), elaborada pela Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (BRASIL, 2016), a ortoimagem é um produto cartográfico formado a partir de uma imagem ou da composição, combinação, união ou fusão de várias imagens ortorretificadas, com as qualidades pictóricas das imagens originais e a geometria ortogonal derivada de uma projeção cartográfica.

Uma ortoimagem (ortofotomosaico) como produto cartográfico é gerada a partir de diversos processos, tais como: imageamento, processamento digital de imagens, ortorretificação de imagens, geocodificação e construção do mosaico de imagens. O tipo de representação espacial de uma ortoimagem é matricial e deve ter uma resolução espacial que permita a elaboração da planimetria compatível com a acurácia posicional prevista para as escalas adotadas.

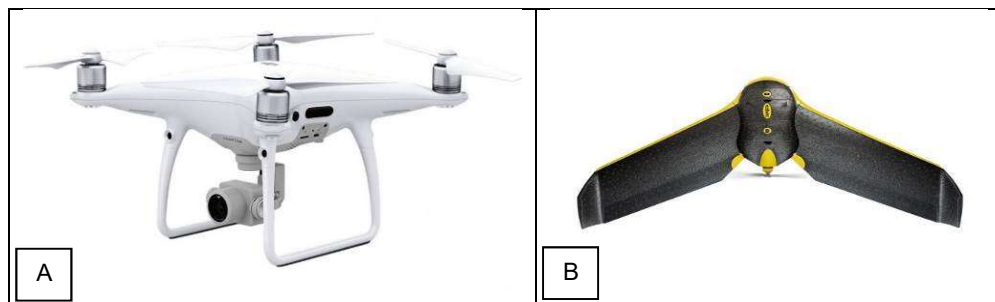
As ortoimagens são elaboradas através da utilização de variados processos. Cada processo deve ser realizado segundo a sua metodologia. Essa metodologia pode variar com a estrutura de trabalho de cada organização produtora. São exemplos de variáveis: os programas utilizados; o tipo de equipamento; o nível de capacitação do pessoal; o tempo disponível para a execução de cada processo (MONICO, 2008).

### 3.3.2 Fotogrametria com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)

Os RPAs são sinônimos da nova revolução nos levantamentos aéreos. Eles surgem como mais uma ferramenta e não como algo que vem substituir a fotogrametria (DALBELO, 2013) ou levantamentos feitos por varrimento por *laser Light Detection and Ranging* (LIDAR).

Ainda, os RPAs podem ser do tipo multirrotor ou asa fixa. Os primeiros são os que comumente se enquadram na categoria, cuja nomenclatura que os refere é o RPA. Já o segundo tipo, geralmente, são aeronaves de maior porte e seu uso mais comum é para fins profissionais (Figura 1).

Figura 1 - A) RPA multirrotor (quadrirrotor) da DJI; B) RPA do tipo asa fixa da fabricante *senseFly eBee*.



Fontes: <<https://nexRPAs.com/?product=phantom-4-pro>>; <<https://www.sensefly.com/RPA/ebee-mapping-RPA/>>.

Um RPA pode ser entendido como um conjunto de elementos configuráveis, como um sistema, onde:

Um sistema RPA compreende os elementos individuais, ou seja, o veículo aéreo, a estação de controle do RPA e qualquer outro elemento necessário para permitir o voo, tais como o comando e controle dos enlaces, sistema de comunicação e elementos de decolagem e de pouso. Em um sistema de RPA pode haver múltiplos RPA, estações de controle e elementos de decolagem e pouso (MUNARETTO, 2015, p. 14).

O RPA pode ser remotamente pilotado ou autônomo, quando o piloto não pode intervir para manobrar a aeronave. No modo autônomo, todo o perfil de voo é pré-programado e a aeronave executa o voo a partir das configurações estabelecidas. Vale destacar que, no Brasil, o uso de RPAs autônomos não é regulamentado, ou seja, não permitido para uso civil. Nesse contexto, quando se é reportado sobre a capacidade de utilização de forma autônoma dos RPAs, trata-se da utilização de aplicativos específicos, tais como, o *Pix4Dcapture*, desenvolvido e distribuído pela © *Pix4D SA*, o *DroneDeploy*, da fabricante de mesmo nome, em associação ao sistema nativo de gerenciamento da aeronave, desenvolvido pela própria fabricante do aparelho.

As aeronaves não tripuladas são ferramentas bastante conhecidas e utilizadas no exterior para diversas funções, principalmente por órgãos governamentais e para objetivos militares.

No aerolevanteamento por sensores fotográficos, ocorre interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes tipos de sensores embarcados. De acordo com Ponzoni (2015), dentre os conceitos de sensoriamento remoto, destacam-se aqueles intrínsecos aos processos de interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes objetos dos quais se pretende extrair alguma informação.

O sensor (câmera fotográfica) embarcado em um sistema RPA coleta a radiação eletromagnética emitida pelo sol e refletida pela superfície, como destaca Ponzoni (2015). Um sensor “observa” uma determinada porção da superfície e registra a intensidade do fluxo refletido somente desta porção.

No aerolevanteamento fotográfico para fins de mapeamento, os sensores utilizados podem ser aqueles que coletam a radiação eletromagnética refletida na região do visível (luz). Como destaca Munaretto (2015), o aerolevanteamento fotográfico é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano, em que a sensação de cor produzida pela luz está associada a diferentes comprimentos de ondas, correspondentes às cores violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho (magenta).

O sensor na faixa do visível ou RGB (*Red - Green - Blue*), vermelho, verde e azul) é o mais comum de ser empregado em RPA. São usadas câmeras desde as mais simples, sem georreferenciamento da imagem, até câmeras profissionais estabilizadas de alta resolução e com a determinação das coordenadas de cada *pixel* (MUNARETTO, 2015).



Baseado em Vidal (2013), são elencadas algumas das vantagens trazidas pelo avanço e alargamento ao setor civil desta nova tecnologia. Em relação aos meios convencionais, podem ser enumeradas algumas das suas vantagens, quais sejam:

- Maior rapidez no planejamento e execução das missões (< 1 hora) e na obtenção dos resultados *standard*, tais como parâmetros de orientação interna e externa das fotografias, MDS, e mosaico ortoretificado;
- Adequada qualidade posicional, e grandes resoluções temporais (as coberturas multitemporais podem ser diárias) e espacial (*pixels* a partir de 3 centímetros);
- Boa relação qualidade/custo por hectare;

Também podem ser enumeradas algumas das suas limitações, tais como:

- Pouca exatidão nos parâmetros de orientação externa, erros de metros nas coordenadas dos centros de projeção e erros de graus nos ângulos de Euler;
- Fotografias que necessitam de ortorretificação;
- Aconselháveis sobreposições muito elevadas (sobreposição transversal > 60% e longitudinal > 80%), dependendo da finalidade e do *software* utilizado;
- Cobertura de áreas geográficas pequenas, por cada missão.

Outro aspecto de extrema importância que interfere na autonomia de voos autônomos é a sobreposição de imagens. Em aerofotogrametria com estes aparelhos, segundo Bosak (2012), a sobreposição de imagens mínima necessária é de, geralmente, 60% longitudinalmente, ou frontal, e de 40% lateralmente. Entretanto, para o levantamento com RPAs Silva et al (2014) indica que é imprescindível que as sobreposições sejam na ordem de 70% longitudinal e 60% lateral para não haver problemas de reconstrução e mosaicagem das imagens em um ortofotomosaico.

Ainda, para efeitos de retificação fotográfica, embora em teoria não seja necessária qualquer sobreposição longitudinal, pois não se pretende usufruir da estereoscopia, os voos, geralmente, são feitos com sobreposições superiores a 70% para que se apliquem, no produto final, apenas as zonas centrais das fotos onde as distorções radiais, devido ao relevo e à altura dos objetos, são menores.

Normalmente, são exigidas para este caso iguais sobreposições longitudinal e lateral (REDWEIK, 2007).

Pedrali (2017) para identificação fitossanitária de povoamentos florestais utilizou uma altura de 80 m com uma sobreposição longitudinal e lateral de 70%, obtendo imagens com resolução espacial de 10 cm (sensor *Parrot Sequoia MicaSense*). Já em estudo desenvolvido por Petri et al (2017), o voo foi realizado considerando uma altura de voo de 70 m, utilizando sobreposição lateral e frontal entre fotografias de 70% e 80%, respectivamente.

### 3.4 POTENCIALIDADES DE USOS DE RPAS

Imagens de câmeras digitais vêm sendo utilizadas em estudos ecológicos, auxiliando na identificação das mudanças periódicas ocorridas na vegetação. As câmeras usadas para esse fim, ou "fenocâmeras", são utilizadas na observação da fenologia, em escalas intermediárias (KLOSTERMAN et al, 2018). São câmeras digitais montadas sobre torres, utilizadas para obter alta resolução temporal de dados de fenologia local próxima à superfície, semelhante a índices de vegetação oriundos de sensoriamento remoto. Tais dados podem estimar as datas de transição das "fenofases", que estão relacionadas com os ciclos de vida das plantas, como a brotação na primavera e a queda das folhas no outono, a assimilação de carbono e os parâmetros fisiológicos das folhas (KEENAN et al, 2014; TOOMEY et al, 2015; WINGATE et al, 2015; YANG et al, 2014; BORGES, 2016).

A tecnologia das câmeras digitais e seus relativos baixos custos podem proporcionar simplicidade na utilização do método de fenocâmeras (BROWN, et al, 2016). Porém, o fato de utilizar câmeras fixas para análises que são distribuídas no espaço causa limitação aos levantamentos nas áreas mais distantes da câmera. Uma distribuição destas câmeras cobriria uma área maior, porém aumentaria o custo de se ter mais câmeras instaladas. Uma alternativa é dar mobilidade a essas câmeras, cobrindo, assim, uma área maior.

O uso de fotografias aéreas é uma extensão natural do uso da técnica das fenocâmeras e da recente evolução tecnológica dos veículos aéreos não tripulados (RPAs). Isso torna viável a coleta de imagens aéreas com a resolução temporal necessária para o monitoramento dos eventos fenológicos das plantas (BURKART et

al, 2018; ANDERSON; GASTON, 2013; BERRA et al, 2016; DANDOIS; ELLIS, 2013; LISEIN et al, 2015).

Essa adaptação de metodologia e a popularização dos RPAs permitiram uma proliferação de estudos com uso de câmeras aéreas não só para esses fins de estudos ecológicos de fenologia, mas para vários tipos de levantamento ambiental e necessidades de monitoramento e medições.

Estudos recentes utilizaram fotografias obtidas de RPA para a validação de um estudo mostrando que observações em solo das brotações de primavera estão correlacionadas com análises individuais de fotografias digitais em escala que permite a visualização de forma clara de árvores (BERRA et al, 2016) e apresentaram as análises fenológicas de indivíduos como método de identificação de espécies arbóreas (LISEIN et al, 2015; FETTER et al, 2015).

São também exemplos de utilização recente de RPAs na ciência vegetal e ecologia, a construção de representação 3D e propriedades de cor dos dosséis florestais (DANDOIS; ELLIS, 2013) e da microtopografia da flora de musgos antárticos (LUCIEER et al, 2014). Também na área florestal pode-se utilizar RPA para a caracterização detalhada da estrutura 3D das copas individualizadas de árvores (GATZIOLIS et al, 2015) e para apoiar o monitoramento de florestas de mangue (OTERO et al, 2018).

Otero et al (2018) estimaram altura de árvore e biomassa acima do solo usando dados de RPA e obtiveram uma correspondência próxima (sem diferença estatística) com as estimativas baseadas no inventário florestal em solo. Os autores afirmam que informações valiosas podem ser geradas para a administração local, especialmente em áreas onde a extração de madeira ocorre. Segundo os autores, o uso de dados do RPA nos estudos de manguezais pode levar a avanços significativos na quantificação dos estágios de crescimento da floresta e das mudanças ao longo do tempo. Outro ponto importante ressaltado pelos autores é que se pode aumentar a frequência de monitoramento e complementar o inventário florestal tradicional utilizando RPA.

Frigeri (2016) e Fetter et al (2015) também utilizaram imagens de RPA para identificar indivíduos arbóreos. Frigeri (2016) identificou e estimou o volume de madeira da espécie Uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunb), utilizando imagens de RPAs na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Dois Vizinhos. Os indivíduos de Uva-do-Japão foram identificados na imagem e tiveram sua área de

copa medida por meio da vetorização e pela medida dos diâmetros no sentido norte-sul e leste-oeste em ambiente SIG.

Já Fetter et al (2015) identificaram os indivíduos arbóreos, dando outro foco em seu trabalho, o de apresentar um monitoramento aéreo de forma sistematizada e capaz de identificar a espécie arbórea invasora *Hovenia dulcis*, junto à extensão do cinturão verde do município, quantificando área já ocupada pela invasora e, descrevendo possíveis impactos causados. Esses autores coletaram as imagens em diferentes períodos, tanto quando as árvores de *Hovenia dulcis* não possuem folhas (junho e julho) e apresentam uma tonalidade acinzentada, bem como quando as folhas das árvores estão jovens e com um tom verde claro (setembro e outubro).

Reis (2017) também adotaram a abordagem da utilização de RPA para monitorar área florestal e, assim, recomendar manejo. A autora monitorou áreas de restauração por meio do processamento digital de imagens de uma câmera a bordo de RPA e de uma composição dados LIDAR (*Light Detection and Ranging*), de modo a gerar recomendações de manejo, como capina ou coroamento e adensamento com mudas de espécies nativas.

De forma mais simples que os autores já citados, Quirós et al (2015) usaram imagens de RPA para realizar contagem de indivíduos de dendê, sobrevoando a plantação, a fim de auxiliar os produtores com uma alternativa de levantamento rápido e de baixo custo.

A possibilidade de se ter imagens com alta resolução proporciona as mais variadas oportunidades de pesquisas relacionadas à riqueza de detalhamento obtido nas imagens de RPA para reconhecimento e avaliações relacionadas à vegetação. Roosjen et al (2018) verificaram uma estimativa melhorada do índice de área foliar e teor de clorofila foliar de uma cultura de batata usando dados espectrais multi-ângulo de imagens de RPA.

Fan et al (2018) utilizaram RPA equipado com uma câmera (visível e infravermelho próximo) de baixo custo para estimar biomassa e índice de área foliar em um campo de azevém. Devido à alta resolução espacial conseguida por RPA, os autores identificaram, pelos mapas de distribuição espacial da cultura, as áreas com maiores ou menores taxas de crescimento da forragem. Confirmando, assim, que o método empregado pode ser usado para caracterizar a variação espacial dentro de um campo de cultivo de maneira rápida e econômica. Os autores ainda salientam que a aplicação desse método se faz particularmente necessária para plantas com alta

variabilidade espacial e de rápido crescimento primaveril (curto prazo), como o azevém italiano.

Maciel et al (2017) também utilizaram RPA equipado com câmera RGB e infravermelha, porém analisaram o vigor vegetativo de uma cultura de milho através do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Eles tiveram resultados detalhados de mapeamento, demonstrando a aplicabilidade do uso dos RPAs nas culturas agrícolas e sua facilidade e precisão com relação ao manejo da cultura de milho.

Outro exemplo prático da utilização dos mapas gerados por RPA é o suporte que podem dar à agricultura de precisão. Shen et al (2015) estimaram a área que poderia ser utilizada para o plantio, em seu caso, de arroz. Rokhmana (2015) utilizou uma plataforma para sensoriamento remoto montada em RPA e obteve informações úteis para: preparação do solo, limites de propriedades (para fins de cadastro), monitoramento de vegetação, verificação da saúde de plantas e avaliação de estoque de madeira (em pé). O autor destacou que estes são dados necessários periodicamente, ressaltando a utilização de RPA para esses fins.

Reshetyuk e Mårtesson (2016) demonstraram a possibilidade de criar um modelo digital do terreno de uma área de 0,6 hectares, com uma incerteza de altura menor que 20 mm para áreas planas, usando imagens adquiridas por RPA a partir de uma altura de voo de 160 m. Os autores afirmam que a utilização de RPAs é viável para a geração de modelo digital do terreno, altamente precisos para esse tipo de superfície, e podem substituir os métodos tradicionais de levantamentos, como estações totais, reduzindo o custo do trabalho de levantamento.

Reshetyuk e Mårtesson (2016) ainda ressaltam que há uma pré-condição para alcançar tais baixos níveis de incerteza: o georreferenciamento preciso das imagens dos RPAs. Já a incerteza de altura do modelo digital do terreno em áreas onduladas é consideravelmente maior, entre 30 m e 80 m, o que, conforme os autores, ainda é suficiente para muitas aplicações.

Todo esse detalhamento explorado pelas pesquisas até aqui citadas, demonstram um alto potencial do uso de RPAs para monitoramento e gestão. Se o grau de detalhamento das imagens de RPA possibilitam a diferenciação entre indivíduos vegetais, diferenciação das folhas e características folhaves e, até mesmo, parâmetros fisiológicos das plantas, espera-se que a utilização das imagens geradas

por RPAs para monitoramentos e gestão, de forma geral, para auxiliar tomadores de decisão, sejam suficientes.

Se considerarmos o fato de que as imagens de satélite são atualmente muito utilizadas nos monitoramentos e na gestão territorial de forma geral, as imagens oriundas de RPAs, mais ricas em detalhes, agregam mais informações. D'Oliveira-Oltmanns et al (2012), utilizando RPA para monitorar a erosão do solo no Marrocos, concluíram que existe uma vantagem importante atribuída ao uso de RPAs para monitoramentos, que é o fato da aquisição de dados em múltiplas escalas, diminuindo a distância entre escala de campo e escala de imagens de satélite, preenchendo tal lacuna.

Já Kaneko e Nohara (2014) avaliaram um mapa de vegetação criado a partir de imagens de RPA, comparando-o com mapa de vegetação criado de fotografias aéreas (aeronave pilotada) e concluíram que os levantamentos de vegetação usando RPA são capazes de identificar comunidades vegetais com alta precisão. Os autores salientaram o benefício desse método para locais onde o reconhecimento à campo é difícil (remoto), reduzindo os custos de pesquisa associados à diminuição nos dias de pesquisa de campo e à mão-de-obra.

Porém, Klosterman et al (2018) ressaltaram que o uso de grades espaciais menores que 10 m aumentou as chances de atribuir incorretamente porções de copas de árvores em imagens de RPA às células da grade que não continham tais partes. O comprimento médio do maior eixo das copas dominantes (mais visível em imagens aéreas) foi de 8 m.

Outras aplicabilidades se referem à utilização de RPAs em processos de fiscalização, inspeção e monitoramento de impactos causados por desastres ambientais, além da utilização para mapeamentos da ocupação territorial.

Silva et al (2015 b) testaram o uso de RPA em atividades de fiscalização do uso de recursos hídricos, sobretudo no intuito de fazer o reconhecimento e detecção de áreas irrigadas às margens de rios. Os resultados mostraram que as imagens adquiridas pelo RPA podem ser utilizadas nas atividades de supervisão da ANA (Agência Nacional de Águas), principalmente quanto à alta qualidade e resolução espacial das fotografias aéreas, a resposta rápida e também a facilidade de processamento de dados.

Rangel et al (2009) desenvolveram um sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando RPA, para emprego em inspeção de linhas

de transmissão elétrica de alta voltagem, o que auxilia a diminuir a exposição de vidas humanas nestas aplicações de alta periculosidade.

Miranda Neto e Almeida (2009) analisaram as possibilidades de contribuição que o emprego do RPA pode oferecer no apoio às operações policiais militares, na perspectiva de proporcionar melhores condições para o restabelecimento da lei e da ordem com o mínimo de riscos para a população e para os efetivos das forças da legalidade.

Bicho et al (2013) trabalharam no desenvolvimento de RPAs e seu uso no monitoramento de atividades de mineração irregulares, oferecendo a possibilidade de adquirir dados de alta resolução temporal em alta resolução espacial, ajudando a solucionar esses problemas.

Brasil (2012) estudou a aplicabilidade do Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental (SAMA), construído a partir da integração do piloto automático MP2128g e uma câmera digital em uma plataforma aérea, para averiguação e identificação de mudanças de perfil ambiental, com foco em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Ainda, essa análise permitiu afirmar que a economia e versatilidade são as principais vantagens do sistema, especialmente para mapear áreas de pequena extensão.

Hoerlle et al (2015) propuseram o uso de imagens aéreas de baixa altitude e ortofotos de alta resolução para monitoramento de Áreas de Preservação Permanente (APPs) a partir do processamento de imagens obtidas pelo RPA, apresentando-se como ferramenta útil e viável, considerando-se o baixo custo do produto gerado, principalmente se comparado a imagens de satélite ou aerolevantamentos.

Para acidentes químicos, Longhitano (2010) aponta que é possível detectar, localizar e determinar a extensão de contaminações em solos, drenagens na vegetação, assim como o grau de alteração provocado por impactos. Segundo o autor, imagens de sensoriamento remoto podem ser utilizadas também no diagnóstico ambiental do entorno do acidente para a previsão de potenciais impactos. Na etapa de execução das ações de gestão, o autor explica que o sensoriamento remoto pode ser utilizado no monitoramento ambiental das áreas atingidas.

Ainda conforme esse autor, o sensoriamento para identificação e monitoramento de impactos causados por desastres de grande magnitude e de abrangência regional tem sido amplamente utilizado.

Longhitano (2010) também aponta a possibilidade do uso do sensoriamento remoto em RPAs em acidentes rodoviários com cargas perigosas, que em geral apresentam impactos de pequena extensão em áreas. Porém, como não é possível prever onde e quando ocorrerão os acidentes, e a avaliação de impactos destes tem caráter emergencial, as imagens de sensoriamento remoto para este fim devem ser dotadas de altíssima resolução espacial, e necessitam ser obtidas em momentos determinados, sem possibilidade de planejamento prévio.

Venturini (2015) avaliou o uso de um RPA como uma ferramenta de mapeamento topográfico e comparou o coeficiente de escoamento das superfícies resultantes do mapa de alta resolução com valores de escoamento por tipo de ocupação do solo retirados da bibliografia existente.

Pegoraro, Philips e Morcelli (2015) investigaram o potencial de aplicação de equipamentos aéreos não tripulados, quadricóptero MD4-1000, para atualização de cadastros multiuso. Concluíram que esse equipamento é promissor nos registros atualizados quando as variáveis envolvidas conhecem todas as variáveis em operacionalização ao processamento final de produtos cartográficos.

Pegoraro, Gubiani e Philips (2013) abordaram o uso do RPA MD4-1000 como ferramenta para a obtenção de imagens aéreas para posterior processamento e aplicação em diferentes áreas do conhecimento e questões relativas ao mapeamento da ocupação territorial para o planejamento e monitoramento das transformações ambientais. Os resultados desse estudo tornaram possível concluir sobre o potencial de uso desses recursos na gestão pública.

Assim, devido ao avanço da tecnologia em áreas como as da agrimensura e cartografia, a topografia também tem sido influenciada. Como citado por Tommaselli (2012), um exemplo típico é o aumento do uso de RPAs na área de mapeamento. Segundo este autor, isso implica diretamente em um aumento indireto na densidade e na qualidade de dados obtidos da superfície terrestre, principalmente dados de aerofotogrametria que são obtidas por meio da utilização de fotografia do terreno a partir de câmeras de alta resolução embarcadas em aviões ou RPAs.

Nesse contexto, Farias et al (2018) observam que, conforme tem aumentado a necessidade por mapeamentos em áreas de menores dimensões, paralelamente a isso, a aquisição de dados por meio de aerofotogrametria com a utilização RPA também está evoluindo, mostrando-se como uma alternativa para aquisição de



imagens aéreas e, dessa forma, uma diminuição dos custos associados ao mapeamento.

Uma amostra disso é um estudo publicado por Potsiou et al (2003), no qual afirmam que os levantamentos de campo na América Latina, são responsáveis por absorver entre 70% e 80% do custo total dos projetos, indicando a falta de otimização em torno da obtenção e compilação de dados em campo.

A utilização de RPA, portanto, é uma alternativa altamente viável para que se obtenham dados especializados de forma rápida, o que proporciona a redução de custos total totais do projeto em campo, embora em detrimento das questões que envolvem a etapa posterior ao da coleta dos dados, sobretudo a de processamento desses dados. Isso porque tal processamento exige *softwares* e *hardwares* mais específicos para produção cartográfica. Todavia, o uso desta tecnologia tem ganhado espaço em várias frentes, que vão desde o seu aprimoramento, estudos científicos e aplicações práticas (FARIAS et al, 2018).

### **3.4.1 Controle de qualidade dos produtos derivados de levantamentos aerofotogramétricos com RPAs**

Para que se possa produzir produtos cartográficos com precisão e alto grau de acurácia, é necessária a utilização de tecnologias de apoio terrestre, tais como o uso de GPS Geodésico para a coleta de informações precisas e fidedignas de pontos, denominados, nesse meio, de pontos de controle. Segundo Martínez-Carricondo et al (2018), a fotogrametria com o uso RPAs tem possibilitado a obtenção desse tipo de informação de forma relativamente econômica e prática.

Para Rodrigues e Gallardo (2018), a aerofotogrametria com o uso de RPAs é equivalente a convencional, por meio de aviões. Isso sugere que os procedimentos imprescindíveis para a geração do ortofotomosaico de uma determinada área devem ser realizados de forma análoga. Ou seja, todas as etapas, que vão desde o planejamento do voo, à sinalização e à coleta das coordenadas dos pontos de controle com o auxílio de tecnologia GNSS/GPS (Sistema de Posicionamento Global), são necessárias. Nesse sentido, conforme estes autores, a vantagem da aerofotogrametria se comparada aos métodos convencionais de topografia são a aquisição de uma grande densidade de pontos que, por meio de processos

computacionais, podem ser convertidos em uma nuvem de pontos 3D, geração de MDE (Modelo Digital de Elevação) e MDT (Modelo Digital do Terreno).

Os pontos de controle, segundo o conceito de Granshaw (2016), são pontos localizados ao nível do solo e sua nomenclatura deriva da sigla inglesa GCPs (*Ground Control Points*). Ou seja: “são aqueles pontos cujas coordenadas geoespaciais são conhecidas, o que possibilita realizar o georreferenciamento do trabalho fotogramétrico de forma precisa” (GRANSHAW, 2016, p. 214).

Dentre as diversas variáveis que influenciam a precisão associada à fotogrametria aérea e conseqüentemente os produtos cartográficos derivados, o efeito do número de pontos de controle do solo (GCPs), assim como a sua distribuição na área de estudo, é notadamente expressivo (MARTÍNEZ-CARRICONDO et al, 2018). Estes testaram diferentes distribuições de GCPs visando à otimização dos produtos obtidos por meio da fotogrametria com uso de RPA. Os resultados obtidos no estudo desses autores indicam que, dentre as distribuições avaliadas, os resultados mais significativos foram aqueles obtidos com distribuição de pontos de controle na borda e distribuição estratificada na área de estudo. Sendo assim, eles concluíram que se faz necessário alocar os GCPs ao redor da borda da área de estudo para minimizar erros de planimetria. Outro fator que observaram diz respeito à densidade de pontos e aconselham que seja utilizada uma densidade de cerca de 0,5 a 1 GCP  $\times$  ha<sup>-1</sup> para minimizar os erros de altimetria.

Sendo assim, Rodrigues e Gallardo (2018) salientam que todas as ferramentas que a fotogrametria com o uso de RPA utiliza, associadas aos pontos de controle, os quais são coletados em solo por meio de posicionamento GNSS L1/L2 RTK, de maneira geral, para georreferenciamento e ortorretificação dos dados coletados, resultam desta tecnologia, assim como do produto cartográfico obtido, sendo uma inovação tecnológica passível de ser utilizada em diversas aplicações, tais como, a exploração mineral, transportes, agricultura de precisão, geologia, monitoramento ambiental, diversão, saúde e segurança pública.

Marques e Souza (2019), também recomendam o uso de pontos de controle para melhoria da precisão do ortomosaico. Esses autores ressaltam que a localização com exatidão dos pontos de controle coletados é feita usando o GPS geodésico e os pontos no solo podem ser marcações em forma de X, por exemplo. Isso implica que, após o processamento das fotografias aéreas capturadas pelo RPA,

as coordenadas posicionais dos pontos de controle feitas no solo no ortomosaico terão uma precisão na ordem de poucos centímetros.

Para Santos (2010), a principal importância relacionada à acurácia posicional cartográfica associada ao controle de qualidade define-se pela identificação de incoerências e pelo nível de qualidade dos dados obtidos. Conforme Mikhail e Ackermann (1976), uma medida de acurácia sugerida por Gauss, e designada por Erro Quadrático Médio (EQM), da sigla em inglês MSE (*Mean Square Error*), é uma das formas de mensurar a acurácia de uma observação utilizando uma grandeza como referência. Na aerofotogrametria, o erro quadrático médio é representado pela sigla RMS.

Outro aspecto que Santos (2010) enfatiza, nessa ótica, concerne na determinação de soluções com o objetivo de minimizar e/ou evitar a propagação das incoerências dos dados, recomendando qual a possível utilização destes em termos de extração de feições cartográficas e informações geométricas.

Já de acordo com Nogueira Júnior (2003), é necessário realizar a análise de vários aspectos para o controle de qualidade de produtos, sendo a qualidade posicional do produto cartográfico uma das mais importantes. No Brasil, a PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e EP (Erro-Padrão) são as normas balizadoras para avaliar a qualidade dos produtos cartográficos. Em sua redação, a PEC indica quais as tolerâncias definidas conforme a escala do produto quanto à planimetria e a altimetria (Tabela 1).

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD e PEC.

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Altimetria	
		PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
-	A	0,28	0,17	0,27	0,17
A	B	0,5	0,3	0,50	0,33
B	C	0,8	0,5	0,60	0,40
C	D	1,0	0,6	0,75	0,50

Fonte: Adaptado de ET-ADGV (2011) e Decreto nº 89.817/84.

O Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, é o que estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional e, dessa forma, define o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Ressalta-se, de acordo com a Diretoria de

Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) (2011), a qual estabelece as tolerâncias na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), que as tolerâncias estabelecidas conforme o PEC-PCD complementam aquelas estabelecidas no Decreto nº 89.817/84, indicando uma nova Classe A. No entanto, são mantidas as classes estabelecidas no referido decreto, onde as classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD são equivalentes às classes “A”, “B” e “C” do Decreto nº 89.817/84.

Segundo Ariza-López et al (2008, p. 48), em geral, são duas as formas de realizar a avaliação a acurácia posicional em uma base cartográfica. A primeira é aquela em que a análise é feita em relação ao processo de produção, assim como do produto obtido. Conceitualmente, para esses autores,

a acurácia posicional pelo processo é uma forma que consiste em estudar toda cadeia produtiva, entendendo e quantificando as discrepâncias em cada operação cartográfica e, ao final, obtém-se uma estimativa geral da discrepância da produção cartográfica.

Já a segunda, a mais difundida, ocorre por meio da avaliação da acurácia posicional do produto, ou seja, consiste na comparação do produto cartográfico final com uma amostra de dados de referência, usando testes estatísticos. Os autores salientam, ainda, que as normas e padrões atualmente existentes de avaliação da acurácia posicional abrangem o uso de determinações estatísticas, onde, por meio de métodos e tolerâncias, avalia-se a qualidade posicional dos dados espaciais.

Dessa forma, para ser possível a aplicação dos testes estatísticos, são utilizadas amostras de dados, os quais podem ser feições pontuais ou uma amostra de feições do tipo lineares. Já em relação aos componentes posicionais passíveis de serem analisados, estes podem ser planimétricos (2D – X e Y) e, neste caso, bidimensionais, ou planialtimétricos, tridimensionais (3D – X, Y e Z).

Quanto à normalização dos processos avaliativos, para que os produtos cartográficos possam ser enquadrados em determinada escala e classe, segundo o padrão de acurácia posicional estabelecidas no Decreto nº 89.817/84 ET-ADGV, as seguintes condições devem ser acatadas:

#### SEÇÃO I

Classificação de uma Carta quanto à Exatidão.

Art 8º - As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica- PEC, seguinte o critério abaixo indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido

§ 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§ 2º - A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - PEC = 1,6449 EP.

§ 3º - O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

§ 4º - Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático. (BRASIL, 1984).

Sendo assim, conforme pode ser observado na redação do Decreto nº 89.817/1984, o levantamento dos pontos a campo deve ser realizado de forma criteriosa, bem definida e deve ser o mais acurado possível. As discrepâncias posicionais dos pontos a campo devem ser iguais ou inferiores ao valor de tolerância estabelecido no PEC, tendo em vista a escala e classe testadas.

Já conforme Farias et al (2018), no quesito relacionado à raiz do erro quadrático médio - RMS da amostra, as discrepâncias posicionais devem ser iguais ou inferiores à tolerância do EP, definida neste decreto, de acordo com a classe testada.

Além disso, conforme Santos et al (2016), em relação às avaliações de acurácia posicional, uma das opções mais utilizadas para a avaliação de tendências, é o teste de hipótese *t de Student*. Para realizar esse teste, é necessária uma amostra e as discrepâncias posicionais são tidas como uma distribuição normal. Na possibilidade da amostra não se apresentar na forma de uma distribuição normal, faz-se necessário utilizar estatísticas espaciais simples.

No contexto do uso de *software* para a realização da avaliação da acurácia posicional de dados cartográficos relacionados ao Decreto nº 89.817/84, o *software* GeoPEC 3.5 é uma das alternativas e este disponibiliza dois métodos para a análise de tendência: teste *t de Student* e média direcional aliada à variância circular. Em relação ao primeiro, é necessário que a amostra tenha distribuição normal, e nesse caso, a verificação da normalidade dos dados é feita pelo teste *Shapiro-Wilk*.

### **3.4.2 Processamento de dados RPAs voltado à classificação de imagens**

O avanço na tecnologia dos sensores de imageamento tem contribuído para o desenvolvimento e aplicabilidade da detecção remota com RPAs no estudo da

condição ambiental de áreas de interesse. No entanto, o adequado tratamento dessas imagens é fundamental para atingir os objetivos desejados.

Decorrente da sua alta resolução espacial, fornecendo imagem com *pixel* na escala de centímetros, a gestão de um grande número de imagens é demorada e o processamento de dados pode ser altamente complexo (GAGO et al, 2015).

Assim, o uso da inteligência artificial no processamento desse tipo de imagens torna-se fundamental. Essa técnica tem por objetivo desenvolver algoritmos capazes de adquirir conhecimento de forma automática, a partir de um exemplo histórico, aperfeiçoando seu desempenho (GOLDSCHIMIDT, 2010).

O aprendizado de máquina é eficaz para regressão e classificação (supervisionada ou não) de sistemas não lineares, possibilitando utilizar milhares de variáveis (LARY et al, 2016). Há diferentes tipos de aprendizagem, destacando-se o aprendizado supervisionado, no qual se conhecem os atributos de saída dos dados de treinamento, possibilitando avaliar a capacidade do resultado de prever os dados (MONTAÑO, 2016).

O aprendizado supervisionado é dividido em classificação e regressão, sendo estes determinados pelos conjuntos de dados de entrada e de saída. Se os rótulos forem conjuntos finitos de valores (categorias), o problema de aprendizado é chamado de classificação. Se os rótulos forem números, o problema de aprendizagem é a regressão (RUSSELL; NORVIG, 2013). Na classificação supervisionada, o operador insere amostras dos diferentes alvos presentes na área de estudo, sendo que o algoritmo utiliza essas amostras para seu treinamento, ou seja, ajuste do modelo classificador.

Existem diversos algoritmos de aprendizado de máquina, sendo cada um utilizado de forma diferenciada de representação dos dados e de busca (MONTAÑO, 2016). O *Support Vector Machine* (SVM), em português, Máquinas de Vetores de Suporte, é um dos algoritmos de aprendizado de máquinas disponíveis para a classificação de imagens. O SVM, por ser embasado na teoria de aprendizado estatístico, apresenta boa capacidade de generalização, sendo robusto diante de objetos de grandes dimensões, como é o caso de imagens RPA (FACELI et al, 2011).

### 3.4.3 Regulamentações para o uso de RPAs

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (ANAC, 2017) é complementar às normas de operação de RPAs estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Pela regra geral, os RPAs com mais de 250g só podem voar em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais), sob total responsabilidade do piloto operador e conforme regras de utilização do espaço aéreo do DECEA. Caso exista uma barreira de proteção entre o equipamento e as pessoas, a distância especificada não precisa ser observada.

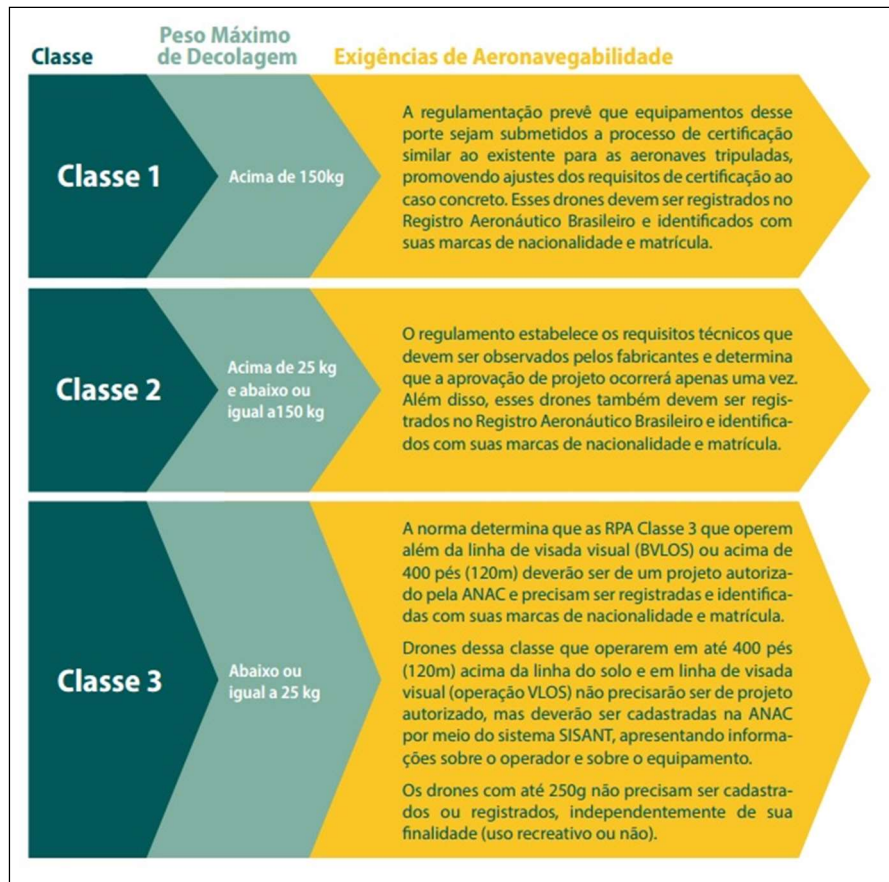
A Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017, aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. Já a Portaria nº 074 – DEC, de 17 de outubro de 2018 (publicada em 01 de novembro de 2018), aprova o Caderno de Instrução sobre o Emprego de Aeronaves de Asa Rotativa no Georreferenciamento de Áreas Patrimoniais Jurisdicionadas ao Exército Brasileiro (EB50-CI-04.004).

Operadores de aeromodelos e de aeronaves RPAs de até 250g são considerados licenciados, sem necessidade de possuir documento emitido pela ANAC (2017), desde que não pretendam usar equipamento para voos acima de 400 pés (120 metros).

Serão obrigatórias licença e habilitação emitidas pela ANAC apenas para pilotos de operações com aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (peso máximo de decolagem de mais de 150 kg) ou 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) ou da classe 3 (até 25 Kg), que pretendam voar acima de 400 pés. Pilotos remotos de aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (mais de 150 kg) e 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) deverão possuir, ainda, o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC ou o CMA de terceira classe do DECEA.

Os RPAs de uso comercial, corporativo ou experimental foram categorizados em três classes, de acordo com o peso máximo de decolagem do equipamento (Figura 2).

Figura 2 - Classificação dos RPAs, segundo a ANAC, 2017.



Fonte: ANAC, 2017.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

#### 4.1.1 Áreas de estudo

Foi realizada a seleção de áreas amostrais, cuja escolha culminou no desígnio de duas com características diferentes entre si, em alguns aspectos relacionados à cobertura vegetal. Dentre os atributos distintos observados figuram a variação na declividade do terreno, as formações vegetais e hídricas.

As áreas escolhidas, denominadas de Propriedade A e Propriedade B, apresentam vegetação nativa campestre com atividade pastoril e são áreas particulares de produtores rurais, razão pela qual se optou pela utilização das denominações citadas (Figuras 3 e 4). Apresentam como histórico de uso a atividade pastoril com pecuária extensiva.

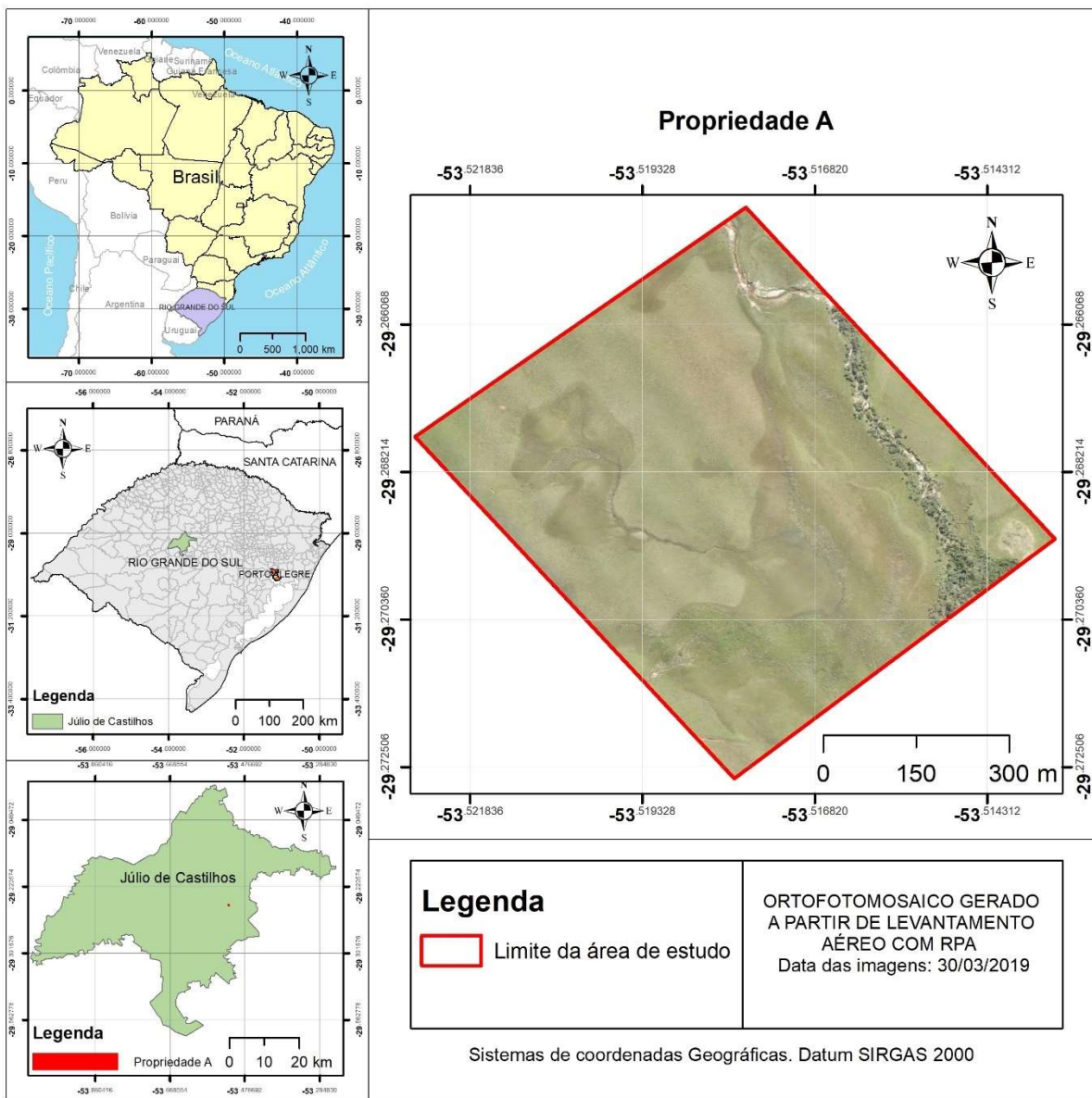
A Propriedade A, localizada no interior do município de Júlio de Castilhos, apresenta uma área amostral de estudo 41,8 hectares. A Propriedade B situa-se no interior de Nova Palma e possui 34,1 ha.

O clima da região é do tipo temperado úmido - Cf, conforme a classificação climática de Köppen com variantes Cfa e Cfb, segundo descreve Moreno (1961). A Propriedade A possui solos do tipo Argissolo Vermelho, com revelo do tipo Patamar Oriental da Bacia do Paraná, com coberturas sedimentares do Paraná. Já a Propriedade B tem solos do tipo Neossolo Litólico, com relevo descrito como Planalto de Araucárias, Bacias e coberturas sedimentares e Bacia Sedimentar do Paraná (GONÇALVES; SANTOS, 1985; IBGE, 2003; UFRGS - IB, 2009).

Em relação ao aspecto da vegetação ocorrente na Propriedade A (Figura 5), observa-se a mata ciliar composta por espécies arbóreas de médio e pequeno porte, em contraste com a vegetação campestre composta por espécies rasteiras e cespitosas (espécies campestres que formam touceiras).

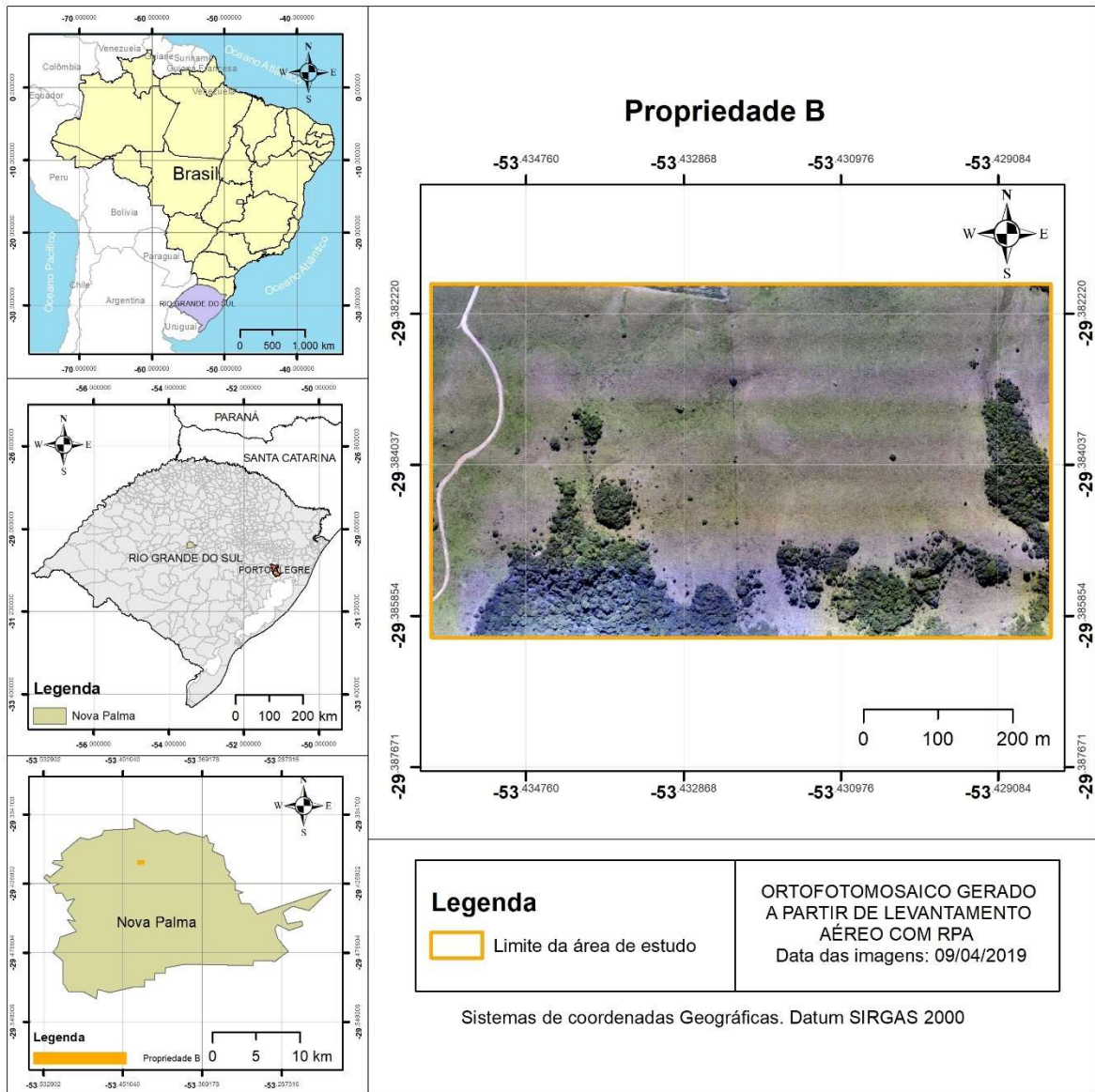
Na Figura 6, observa-se o aspecto geral da vegetação campestre na Propriedade B, com a presença de espécies rasteiras, cespitosas e arbustivas. A área apresenta fragmento florestal nativo composto de espécies arbóreas de médio a grande porte.

Figura 3 - Mapa de localização da área amostral de estudo (Propriedade A), Júlio de Castilhos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4 - Mapa de localização da área amostral de estudo (Propriedade B), Nova Palma.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5 - Vista panorâmica da área amostral localizada na Propriedade A, Júlio de Castilhos.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 6 - Vista panorâmica da área amostral localizada na Propriedade B, Nova Palma.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

#### 4.1.2 Levantamento aerofotogramétrico

Para esta etapa do trabalho, utilizou-se uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) fabricada pela *DJI Innovations*®, modelo *Phantom 4 PRO* (Figura 7). A linha *Phantom* está categorizada dentro dos veículos multirrotores (quadrirotor), com autonomia de voo aproximada de 30 minutos.

Esse modelo possui uma câmera embarcada com sensor RGB (*Red Green Blue*) de resolução espacial de 20 *Megapixel* (MP), com distância focal fixa de 8,8 mm (fornecido pelas configurações do sensor do RPA), rádio controle para pilotagem da aeronave acoplado a um dispositivo móvel (*tablet*) para visualização do plano de voo. Esses dispositivos podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 - RPA modelo *Phantom 4 PRO* com sensor embarcado.



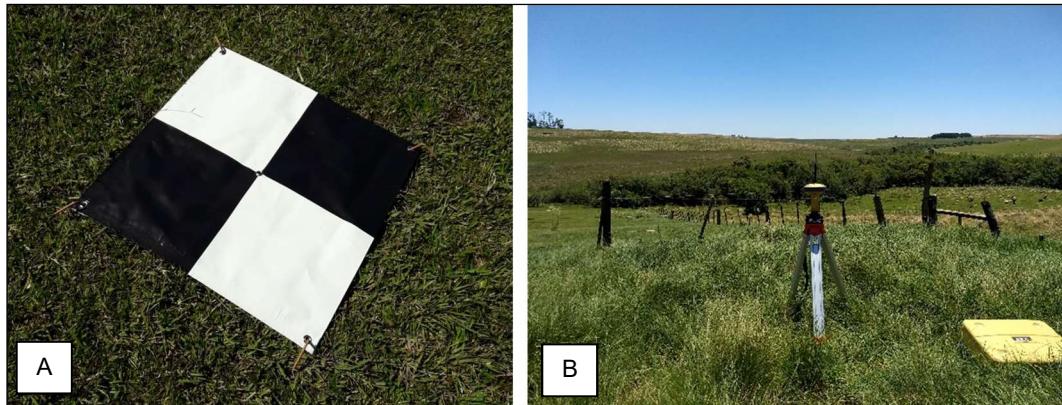
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

O levantamento das imagens com essa aeronave RPA, assim como na maioria de outros modelos, possui limitações técnicas envolvidas para seu uso, que precisam ser consideradas ao se planejar o levantamento aéreo. Por exemplo, a velocidade do vento no momento da execução do voo, a não ocorrência de chuvas e demais logísticas de campo são elementos que devem ser considerados.

Além disso, nesta etapa foi utilizado um GPS Geodésico RTK da fabricante *GeoMax*, modelo *Zenith 25* (Figura 8) para a coleta de pontos de controle, no solo, para determinar a acurácia do GPS embarcado no RPA. Para sinalização desses pontos no solo foram utilizados alvos de lona com dimensões de 0,60 m x 0,60 m

distribuídos de forma a contemplar toda a planimetria das áreas amostrais de estudo, (Propriedade A e B).

Figura 8 - A) Alvo de lona fixado no solo. B) GPS Geodésico utilizado para a coleta dos pontos de controle.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

#### 4.1.3 Imagens utilizadas no estudo proposto

Neste trabalho, utilizaram-se imagens ortorretificadas obtidas pelo levantamento e processamento dos dados aerofotogramétricos por meio do uso do RPA, cuja resolução espacial depende da altura de voo e pode ser verificada nos resultados apresentados no próximo capítulo.

Além dessas, também se fez uso de imagens mais recentes de satélite disponíveis no *Google Earth* das áreas de estudo, datadas em 28/09/2018 (Propriedade A) e 28/07/2017 (Propriedade B).

#### 4.1.4 Processamento e pós-processamento dos dados

Utilizou-se o *software Agisoft PhotoScan* com a finalidade de processar os dados digitais do levantamento aerofotogramétrico e de gerar os dados espaciais. Por meio destes, foram gerados os produtos como o ortofotomosaico, MDS (Modelo Digital de Superfície) e MDE (Modelo Digital de Elevação).

Na etapa de pós-processamento para elaboração dos *layouts* de apresentação dos produtos finais, ou seja, os mapas de estudo, foram utilizados dois *softwares*: *ArcGIS® 10*, da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* e *ENVI® 5.0*, que

é um *software* voltado para a análise de imagens desenvolvido pela © 2018 Harris Geospatial Solutions, Inc.

## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 Levantamento aerofotogramétrico

Para a realização do levantamento aerofotogramétrico com RPA, deve-se considerar as etapas de planejamento e execução do plano de voo a campo, conforme a Figura 9.

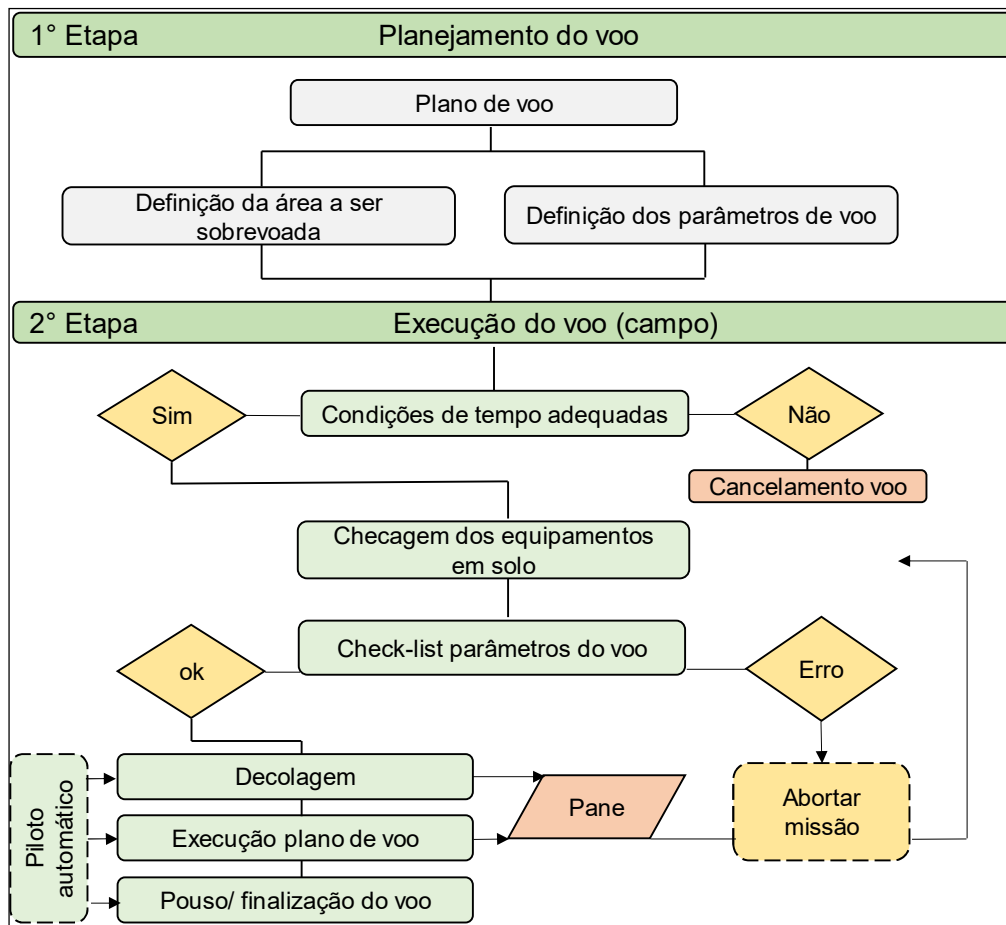
Na etapa de planejamento é definida a área alvo a ser imageada e os parâmetros técnicos de voo relacionados ao RPA, as condições de uso, assim como da configuração desses equipamentos de modo prévio. Essa etapa pode ser realizada em escritório e salva para posterior execução ou ser elaborada a campo de acordo com as condições climáticas existentes na hora e no local, sendo armazenadas as configurações definidas na controladora do RPA via conexão de telemetria UHF (sistema de transmissão de dados em tempo real via sinal de rádio ou televisão).

Para o gerenciamento do sistema autônomo de voo para o levantamento aerofotogramétrico do RPA foram utilizados dois aplicativos de apoio: o primeiro, de origem da própria fabricante do RPA (*DJI*) é necessário para o controle e pilotagem da aeronave e um segundo, de origem suíça, o *Pix4D software*, da *Pix4D SA*, usado para o gerenciamento dos planos de voo autônomos.

O plano de voo foi elaborado no aplicativo de gerenciamento *Pix4D SA*. Neste plano, foram determinados os parâmetros de altura do voo, tempo de voo, resolução espacial da imagem, sobreposição entre fotografias (frontal e lateral), configurações da câmera fotográfica, bem como o polígono de referência da área a ser sobrevoada (Figura 10).



Figura 9 - Fluxograma das etapas de planejamento e execução do plano de voo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 - Tela de visualização do plano de voo (polígono da área a ser sobrevoada) no aplicativo de gerenciamento *Pix4D SA*.

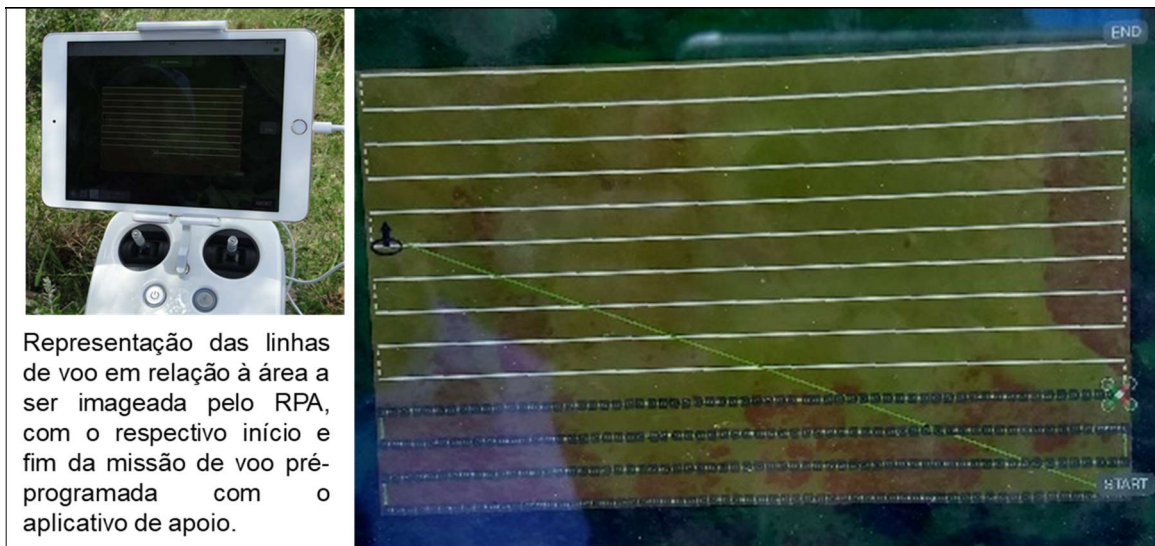


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Na etapa de execução do voo pelo RPA, devem ser considerados os aspectos relacionados às condições adequadas para o mesmo, como velocidade do vento no momento da execução do voo, a não ocorrência de chuva, checagem do equipamento antes da decolagem, autonomia de voo, bem como manter atualizado o aplicativo (*DJI*) responsável pelo sistema operacional da aeronave. Caso as condições não sejam as adequadas, a execução do voo deverá ser cancelada, por motivos de segurança.

Na Figura 11, pode-se observar à esquerda desta, a tela do dispositivo móvel (*tablet*) utilizado, juntamente com o rádio controle de pilotagem do RPA. Nesta mesma tela, verifica-se, ainda, a ilustração do polígono definido a ser sobrevoado. As linhas na imagem representam o trajeto a ser percorrido durante a execução do voo pelo RPA a campo. A área que será sobrevoada pelo RPA apresenta-se subdividida por linhas na cor branca. Cada uma dessas linhas corresponde ao alinhamento de voo que o RPA irá percorrer capturando as fotografias para o imageamento, representadas pelo desenho, em miniatura, de uma máquina fotográfica (pequenos quadrados em preto sobre algumas das linhas de voo).

Figura 11 - Visualização da tela do dispositivo móvel (*tablet*) durante a execução do plano de voo do RPA a campo.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

O pós-voo corresponde ao processamento das imagens obtidas pelo RPA no *software Agisoft PhotoScan* para geração do ortofotomosaico (conjunto das imagens capturadas) e MDE. A avaliação dos resultados nessa fase consiste na verificação de ocorrência, ou não, de falhas na captura e armazenamento das imagens. Caso tenha ocorrido falhas, deve-se considerar as possíveis causas que podem estar relacionadas à sobreposição adotada e à altura de voo, por exemplo, e realizar um novo voo.

#### **4.2.2 Definição dos critérios para os voos**

Foram realizados voos teste visando a observar o comportamento técnico do equipamento para subsidiar a definição das alturas e da sobreposição a ser adotada para os voos efetivos nas áreas de estudo.

O levantamento realizado em fase teste com voos em diferentes alturas obedeceu às limitações legais em relação ao uso dos RPAs, ou seja, altura de voo acima de 30 m e o máximo de 120 m, limitações estas dispostas na regulamentação da Agência Nacional de Aviação (ANAC, e vigentes atualmente).

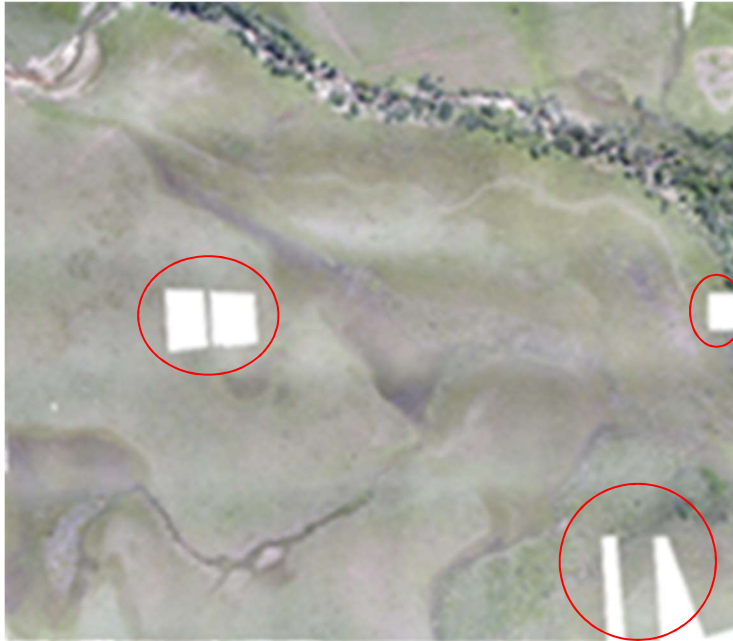
Inicialmente, foram testadas alturas de voo de 50 m, 70 m, 90 m, e 110 m com sobreposição mínima entre fotografias de 60% frontal e 40% lateral, segundo recomendação de Bosak (2012). Com a utilização dessa sobreposição obteve-se, como resultado ortofotomosaico, falhas na imagem (Figura 12) para a altura de 110 metros. Essas falhas são consideradas um problema de reconstrução e mosaicagem, segundo Silva et al (2014).

Considerando esses resultados observados, foi necessário adotar uma nova estratégia em relação à sobreposição das imagens, tendo em vista que, inicialmente, buscava-se uma otimização máxima entre a autonomia de voo e área de cobertura. Entretanto, diante da presença destas falhas na altura de voo que foi testada, adotaram-se novos parâmetros de sobreposição de imagens segundo recomendação de Vidal (2013), ou seja, sobreposição de 80% frontal e 60% lateral. Os resultados dos ortofotomosaicos nessa sobreposição adotada foram satisfatórios, sem a presença de falhas.

A análise das imagens nas diferentes alturas de voo foi meramente visual dos ortofotomosaicos. Devido não se ter observado diferenças entre as alturas de 70 m e 90 m, visualmente, nas imagens geradas, considerou em inferir uma altura

intermediária de 80 m. Deste modo, definiu-se para executar nos voos efetivos da presente pesquisa as alturas de 50 m, 80 m e 110 m.

Figura 12 - Ortofotomosaico gerado com sobreposição entre fotografias de 60% frontal e 40% lateral (altura de 110 m) com falhas de reconstrução.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

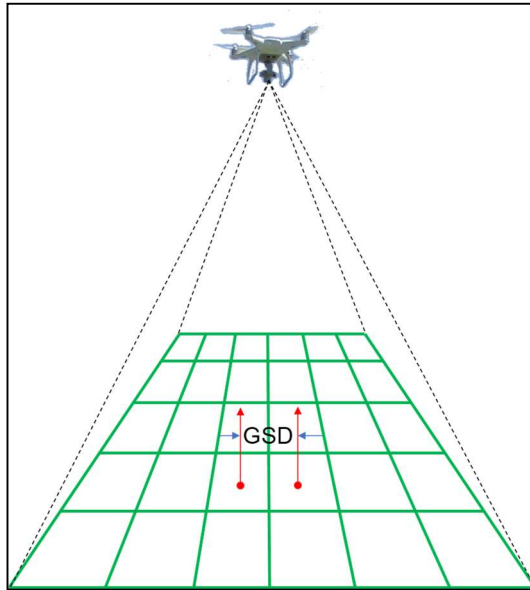
A execução da cobertura aerofotogramétrica foi realizada utilizando-se um sensor fotográfico do tipo embarcado com distância focal de 8,8 mm e *pixel* de 0,0024mm de lado, cujos GSDs resultantes médios variaram de 1,27 a 2,79 cm/*pixel* (Propriedade A) e 1,66 a 3,29 cm/*pixel* (Propriedade B).

O GSD (*Ground Sampling Distance*) pode ser entendido como o sinônimo de resolução espacial relacionada ao imageamento com RPAs. O conceito associado à resolução espacial remete à medida da distância, no solo, entre os centros de dois *pixels* próximos (Figura 13). Sendo assim, quanto menor o GSD, maior o detalhamento e maior será a resolução espacial e, conseqüentemente, possibilitará uma maior definição do objeto ou alvo no solo (SANTOS et al, 2017).

É necessário enfatizar que a resolução espacial, especificamente, o GSD pode variar em uma mesma área. Isso porque a altura relativa do voo em uma área varia, conforme as diferenças do relevo, já que a aeronave efetua o voo com uma altitude aproximadamente constante. Ressalta-se que a altitude do voo está relacionada ao nível médio dos mares, já a altura dos voos está associada entre a altura do ponto de

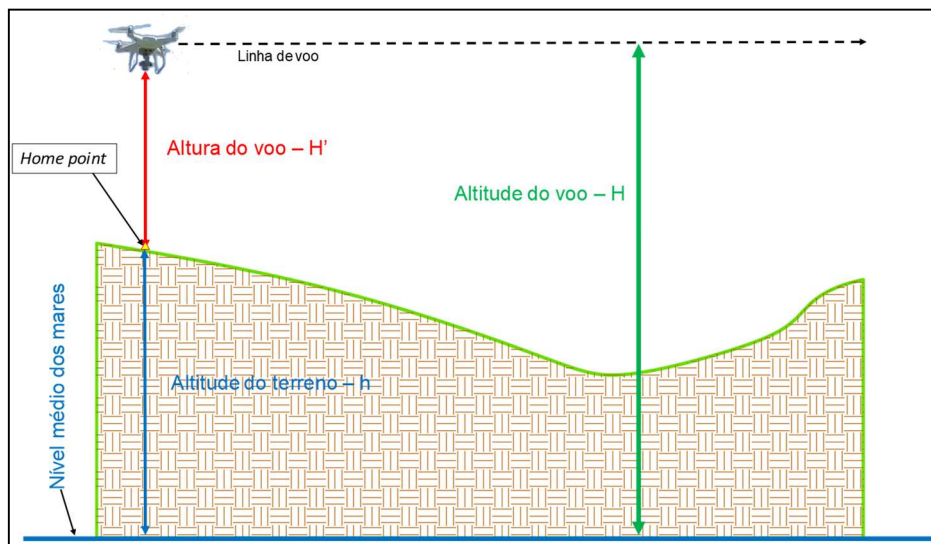
saída da aeronave (*home point*) e a linha de voo que esta executará. Por essa razão que, em determinados pontos do terreno, a altura de voo, e, conseqüentemente, o GSD, podem variar em uma mesma área. A esquematização dessas variações pode ser observada na Figura 14.

Figura 13 - Esquematização relacionada a obtenção do GSD.



Fonte: Adaptado de <<http://blog.RPAng.com.br/variacao-de-gsd/>>.

Figura 14 - Esquematização relacionada à variação do GSD.



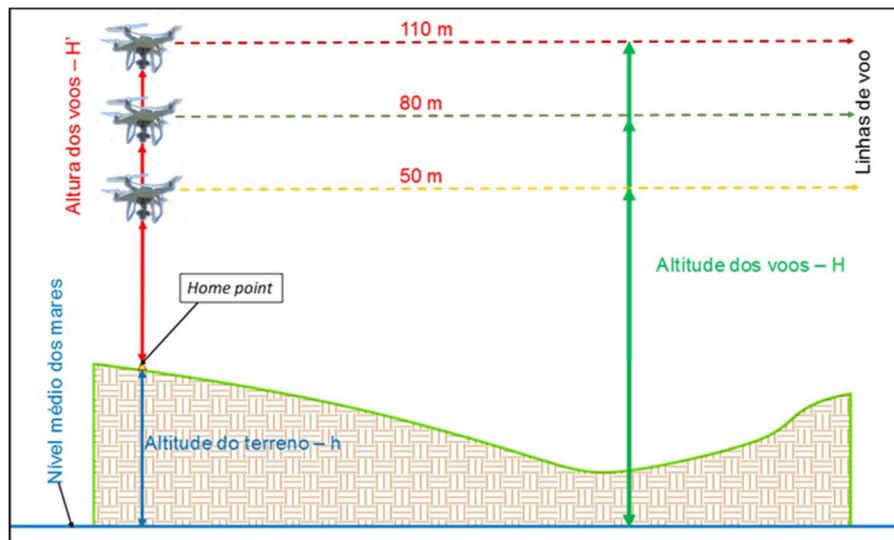
Fonte: Adaptado de <<http://blog.RPAng.com.br/variacao-de-gsd/>>.

### 4.2.3 Voos efetivos nas áreas de estudo

Para o levantamento das áreas amostrais de estudo, Propriedade A e Propriedade B foram definidas alturas de voos de 50, 80 e 110 metros, utilizando a sobreposição frontal e lateral entre fotografias de 80% e 60%, respectivamente, conforme descrito no item 4.2.2.

A Figura 15 apresenta a esquematização relacionada às diferentes alturas de voos que foram executadas.

Figura 15 - Esquematização relacionada às alturas de voos executadas com o RPA.



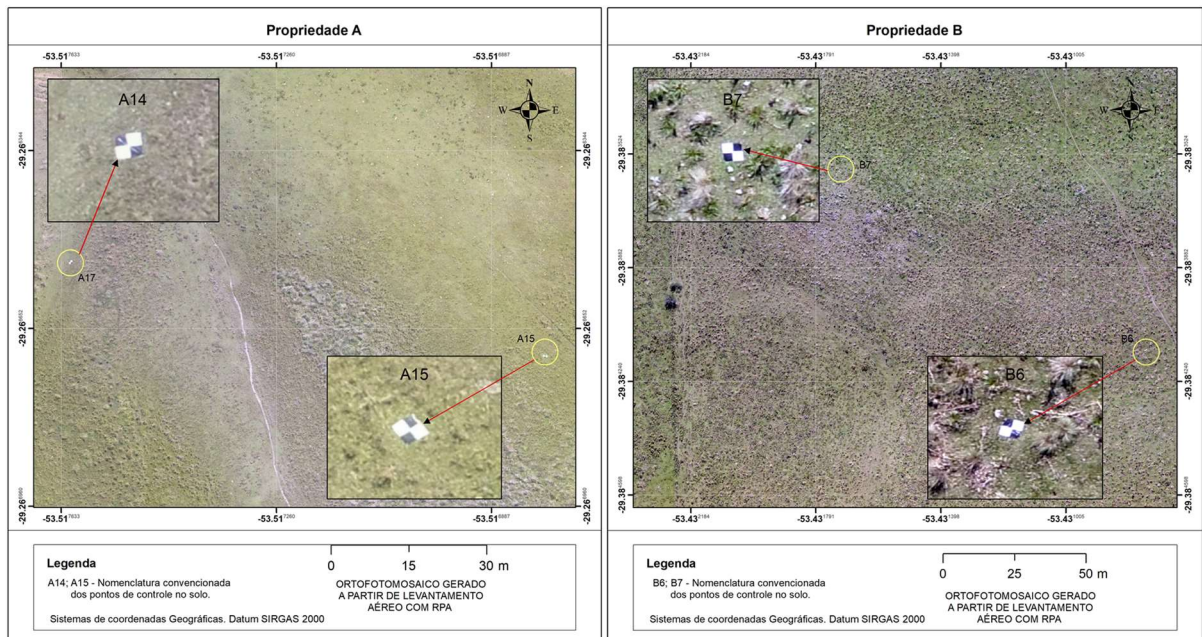
Fonte: Adaptado de <<http://blog.RPAng.com.br/variacao-de-gsd/>>.

Associado à execução desses voos utilizando este modelo de aeronave foram realizados pontos de controle no solo. A aeronave utilizada possui um GPS embarcado que grava as coordenadas de posição do centro de cada imagem capturada (fotografia).

Contudo, o erro associado ao posicionamento de cada uma das imagens, normalmente, pode estar em uma faixa, que varia, em média, entre 3 até 10 m, inclusive. Logo, durante o processamento das imagens na etapa posterior ao levantamento aerofotogramétrico, o *software* faz o uso dessas informações espaciais. Sendo assim, a posição locacional, como a altitude pode sofrer variações em relação a sua verdadeira posição. Para contornar essa deficiência, podem ser utilizadas informações de posicionamento mais precisas para a obtenção de dados com maior precisão e acurácia.

Por isso, no intuito de indicar essas diferenças entre a utilização ou não de pontos de controle no solo, foi realizada a coleta das coordenadas de posicionamento e altitude usando um GPS Geodésico RTK de alta precisão destes pontos antes da execução dos voos para fazer o uso destas informações na fase de processamento das imagens. Primeiramente, os pontos foram demarcados no solo com a fixação de 15 alvos de lona (0,60 m x 0,60 m) distribuídos de forma a contemplar toda a planimetria nas áreas de estudo. A escolha desse material considerou a sua visualização nas imagens após o levantamento aerofotogramétrico e a fácil instalação a campo (Figura 16).

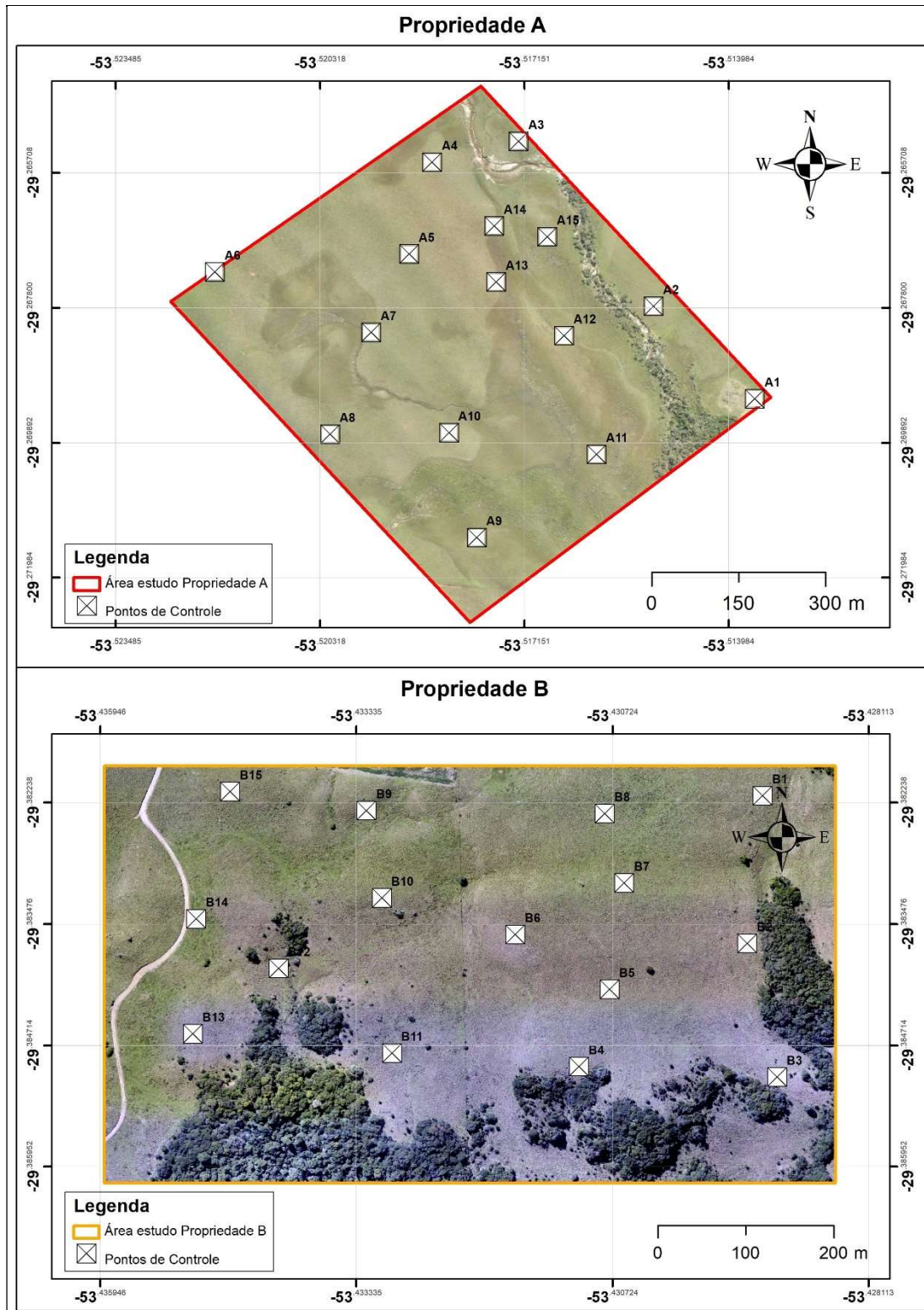
Figura 16 - Vista dos alvos de lona sinalizando os pontos de controle no solo, Propriedades A e B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

A Figura 17 apresenta a espacialização dos pontos de controle nas áreas de estudo e na Tabela 2, constam as coordenadas de localização desses pontos, conforme nomenclatura definida de A1-A15 (Propriedade A) e B1-B15 (Propriedade B).

Figura 17- Espacialização dos pontos de controle em cada área de estudo.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.



Tabela 2 - Coordenadas de localização dos pontos de controle nas áreas de estudo.

Áreas de Estudo							
A				B			
Ponto	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Ponto	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)
	Lat. (S)	Long. (O)			Lat. (S)	Long. (O)	
A1	29,269212	53,513577	406,438	B1	29,382165	53,429193	471,173
A2	29,267778	53,515149	407,663	B2	29,383672	53,429351	463,007
A3	29,265222	53,517240	406,239	B3	29,385036	53,429045	460,460
A4	29,265545	53,518582	414,032	B4	29,384929	53,431065	463,989
A5	29,266969	53,518936	421,603	B5	29,384141	53,430754	470,281
A6	29,267244	53,521949	433,953	B6	29,383581	53,431715	469,480
A7	29,268182	53,519527	417,301	B7	29,383057	53,430603	478,065
A8	29,269763	53,520163	416,927	B8	29,382349	53,430804	481,725
A9	29,271365	53,517889	404,417	B9	29,382318	53,433232	461,734
A10	29,269740	53,518318	409,398	B10	29,383209	53,433075	456,702
A11	29,270078	53,516031	402,783	B11	29,384794	53,432973	446,264
A12	29,268238	53,516533	405,254	B12	29,383928	53,434129	441,585
A13	29,267402	53,517588	407,094	B13	29,384595	53,435002	450,835
A14	29,266538	53,517617	407,130	B14	29,383421	53,434969	453,768
A15	29,266700	53,516794	405,197	B15	29,382126	53,434621	464,609

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2.4 Processamento e pós-processamento



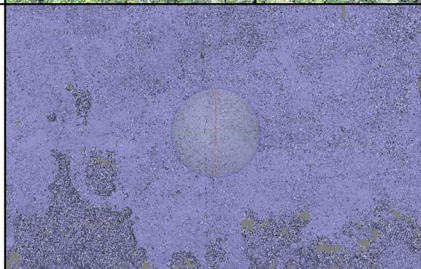
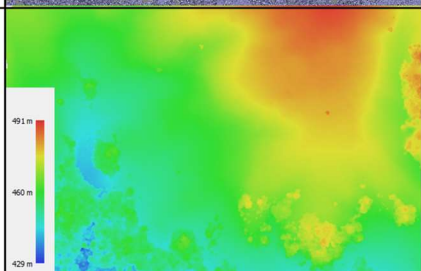

O processamento inicial dos dados foi realizado no *software Agisoft Photoscan*, com a finalidade de realizar a fotogrametria de forma a obter um ortofotomosaico utilizável para uma posterior análise de seus elementos.

A etapa de processamento no *software* se dá pelo alinhamento inicial das fotografias através de seu posicionamento geográfico (ponto central da imagem, demarcado pelo RPA) e pela associação de elementos da imagem. Posteriormente, é criada uma nuvem densa de pontos. Essa nuvem é responsável pela geração de um Modelo Digital de Superfície (MDS), utilizado pelo *software* para ortorretificar as imagens. Por fim, uma só imagem de saída é gerada pela combinação de todas as imagens de entrada (ortofotomosaico), conforme ilustrado na Figura 18.

O fluxo de trabalho, ou o *workflow* como é denominado no *Agisoft Photoscan* utilizado para o processamento das ortofotos depende de cada tipo de *software*. O que foi utilizado nesta pesquisa (Figura 18) contém a representação e a descrição de cada uma das fases do *workflow* durante o processamento das ortofotos.

Vale ressaltar que a imagem ilustrativa de cada uma das fases, com uma descrição sucinta, é demonstrada ao lado é o que ocorre durante o processamento e nem todas as fases essencialmente irão gerar produtos, mas são necessárias para que, ao final das fases, se possa obter os produtos esperados tais como o ortofotomosaico, o Modelo Digital de Superfície (MDS).

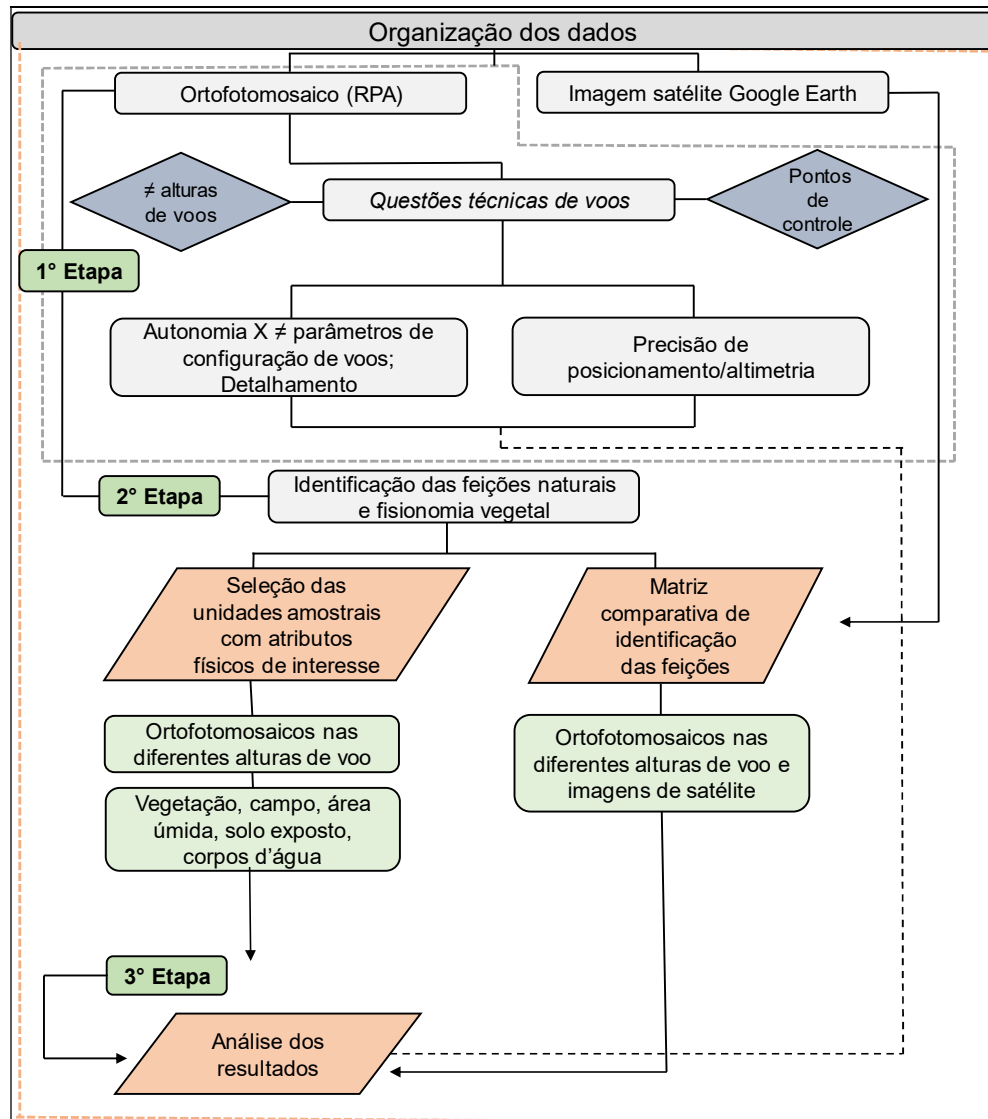
Figura 18 - Etapas do fluxo de trabalho, elementos e produtos gerados no processamento no *software Agisoft Photoscan*.

<p>1° - Inserção dos pontos de controle; Alinhamento das fotos – a partir dos pontos homólogos comuns entre as fotografias e georreferenciamento a um sistema de coordenadas definido.</p>	
<p>2° - Geração da nuvem densa de pontos – com base nas posições estimadas das fotografias são identificadas as coordenadas x, y e z.</p>	
<p>3° - Criação da malha triangular – usando a nuvem de pontos como nós, é gerada uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco que representa a superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas.</p>	
<p>4° - Criação do MDS– usando a nuvem de pontos como nós, é gerada uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco que representa a superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas ou por meio da nuvem de pontos.</p>	
<p>5° - Geração do ortofotomosaico.</p>	

Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Na Figura 19, é apresentada uma síntese de como foi realizado o pós-processamento nas etapas de trabalho e análises.

Figura 19 - Fluxograma das etapas de pós-processamento.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira etapa de pós-processamento (Figura 19), foram organizados cartogramas, cujas informações contidas nestes estão relacionadas a questões técnicas de voo e demais implicações.

Foram elaborados *layouts* com as informações dos ortofotomosaicos para a análise posterior das ponderações relacionadas com os quesitos técnicos envolvidos nos voos. Tais como: o horário dos voos, o local de partida da aeronave (*home point*),

a autonomia de voo, a sobreposição das imagens, assim como o uso ou não de pontos de controle na fase de processamento dos dados aerofotogramétricos.

Foram utilizados pontos de controle no solo, os quais foram tomados como verdadeiros. A coleta dos mesmos foi realizada com equipamento de posicionamento planialtimétrico de alta precisão e acurácia (RTK). A precisão e acurácia dos ortofotomosaicos, assim como das feições e atributos contidos neles, foi determinada de acordo com as etapas descritas na análise dos resultados.

Na segunda etapa (Figura 19), com as informações obtidas a partir dos ortofotomosaicos nas diferentes alturas de voo (50 m, 80 m e 110 m) das Propriedades A e B, foi possível identificar e delimitar áreas (regiões) com atributos de interesse (vegetação, campo, curso hídrico, áreas úmidas, solo exposto), contidas nas áreas estudadas a análise das imagens (Figuras 20 e 21). Tais áreas amostrais, com dimensões de 800 m<sup>2</sup> (20 m x 40 m) foram denominadas de A1, A2, A3..., e assim sucessivamente, em ordem crescente até o número total de áreas na Propriedade A e de B1 a B8, para aquelas situadas na Propriedade B.

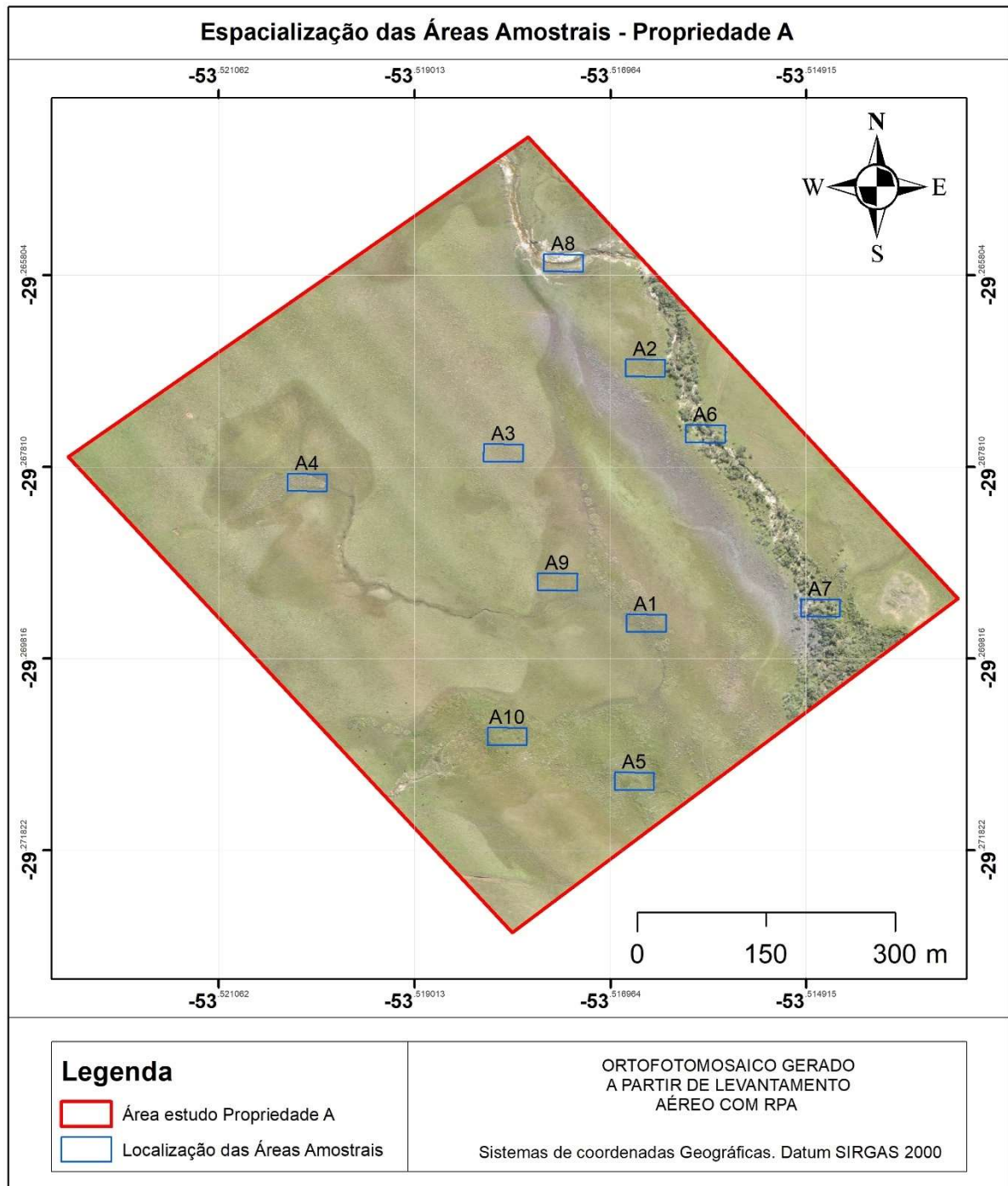
Na Tabela 3, são apresentadas as coordenadas geográficas do centroide de cada área amostral para as respectivas propriedades.

Tabela 3 - Localização das coordenadas do centroide das áreas amostrais, Propriedade A e B.

Área Amostral (20 X 40 m - 800 m <sup>2</sup> )					
Área Estudo Propriedade A	Localização Centróide		Área Estudo Propriedade B	Localização Centróide	
	Lat. (S)	Long. (O)		Lat. (S)	Long.(O)
A1	29,269446	53,516589	B1	29,384267	53,430237
A2	29,266778	53,516599	B2	29,383258	53,432432
A3	29,267665	53,518082	B3	29,382897	53,433786
A4	29,267976	53,520135	B4	29,384217	53,433846
A5	29,271100	53,516713	B5	29,385129	53,430029
A6	29,267466	53,515969	B6	29,384285	53,432229
A7	29,269286	53,514766	B7	29,385318	53,431423
A8	29,265679	53,517454	B8	29,385286	53,433734
A9	29,269015	53,517516	-	-	-
A10	29,270631	53,518043	-	-	-

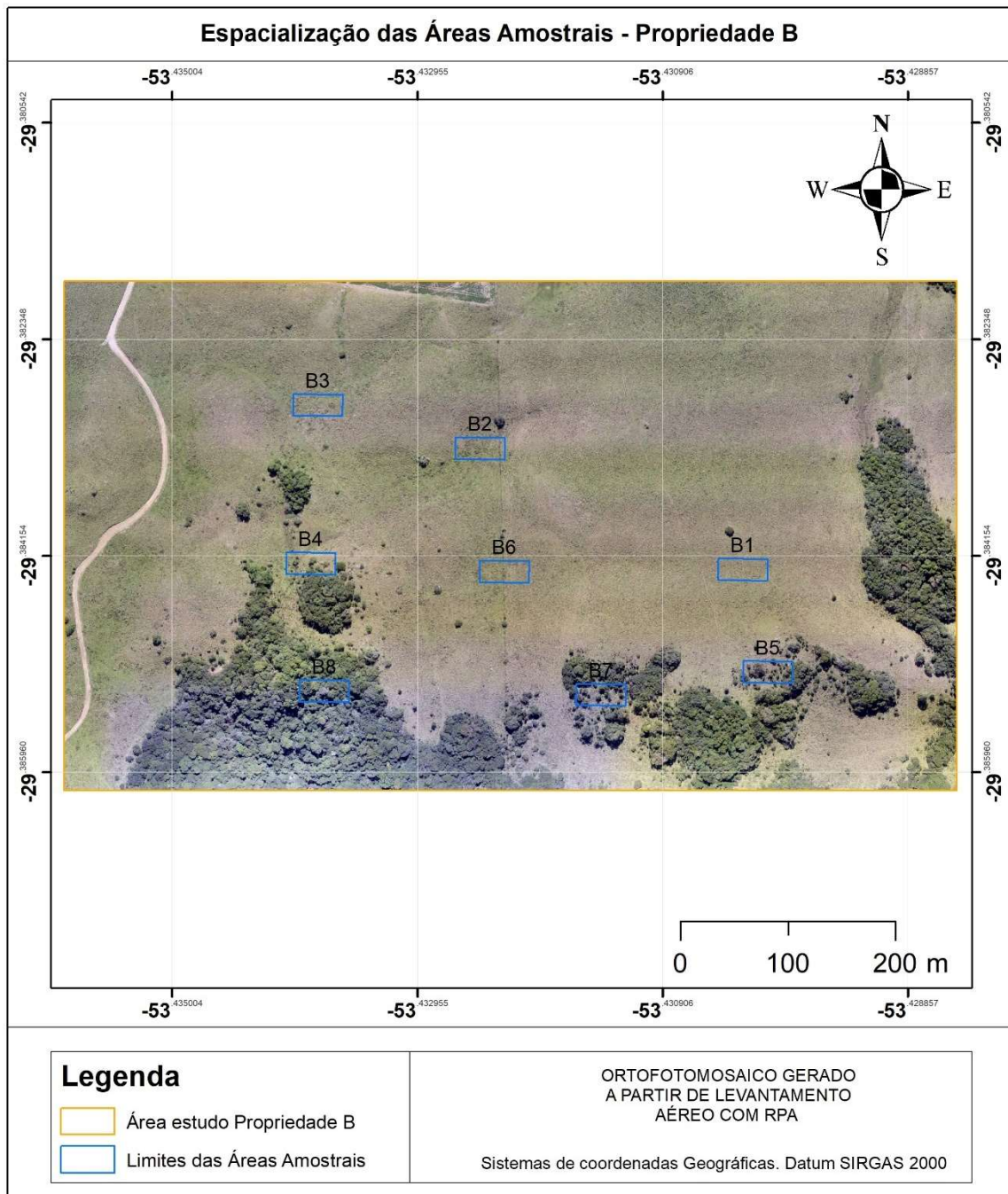
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 - Localização espacial das áreas amostrais (A1 - A10) na Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 21 - Localização espacial das áreas amostrais (B1- B8) na Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Também na segunda etapa do fluxograma da Figura 19, foram pré-selecionados diferentes atributos/feições nas imagens em diferentes alturas de voo nas duas áreas de estudo, tanto das provenientes do processamento aerofotogramétrico, quanto de satélite do *Google Earth*. O tamanho dos recortes relacionados à identificação das feições, denominados de F e numerados em ordem sequencial de 1 até o número total (F1-F10), foi de 10 m x 10 m.

A partir dos atributos/feições verificados nas imagens, foi gerada a matriz comparativa de identificação dos ortofotomosaicos das alturas de 50, 80 e 110 m e da imagem de satélite. Nessa matriz, considerou-se o critério de identificação das feições como sendo P: presente (possível identificação) e A: ausente (identificação dificultada) pelo pesquisador para os parâmetros de análise denominados de F1: área úmida, F2: processo erosivo/solo exposto, F3: queda de vegetação (senescência/ fenômenos naturais/supressão), F4: vegetação campestre, F5: curso d'água, F6: divisa de área (cercamento), F7: afloramento d'água/nascente, F8: solo exposto, F9: afloramento rochoso e F10: Dossel florestal.

A terceira etapa corresponde à análise dos resultados oriundos das etapas descritas no fluxograma apresentado anteriormente.

#### **4.2.5 Análise dos resultados**

##### **4.2.5.1 Análise das diferenças de alturas de voos**

No intuito de verificar a acurácia quanto à classificação das feições, nas diferentes alturas de voo, elas foram submetidas ao processo de classificação supervisionada, a fim de verificar a eficácia das mesmas na identificação de alvos na superfície, de modo que as feições presentes em ambas as áreas de estudo foram: vegetação, áreas úmidas, campo, solo exposto e corpos d'água. Assim, foram adquiridas amostras em cada uso e cobertura, sendo que o número de amostras em cada tratamento foi superior a 5.000. As amostras referem-se a *pixels*, as quais foram obtidas pelo *software Qgis* versão 2.18.

Devido à capacidade de processamento de dados do RPA, os quais englobam um número elevado de *pixels*, a classificação foi realizada por algoritmo de aprendizado de máquina, utilizando o método de SVM (*Support Vector Machine*) em linguagem de programação R versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). Segundo Montaña (2016), o SVM pode ser utilizado para a resolução de problemas de classificação, sendo muito aplicado na área florestal.

Após a classificação das imagens, procedeu-se à validação cruzada. Desse modo, o potencial de identificação dos alvos na superfície terrestre nas diferentes alturas de voo foi obtido por meio da validação cruzada, tendo como parâmetro o índice de acurácia da classificação. A acurácia global (*Overall Accuracy*) informa o

quanto um valor é correto e isento de erros, sendo um importante parâmetro de avaliação da classificação de imagens.

Para a validação da classificação das feições a partir do índice de acurácia, utilizaram-se 30 repetições, sendo esse número considerado ideal para estudos dessa finalidade, conforme descrito por Granatyr (2017). As repetições são essenciais para eliminar resultados oriundos do acaso, desse modo, a indicação da melhor altura de voo baseou-se no valor médio das repetições, proporcionando maior consistência aos resultados obtidos.

De posse dos valores de acurácia das repetições de cada altura de voo, atribuíram-se pesos, os quais foram ordenados de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído o peso 1 para a altura de voo mais eficiente e assim sucessivamente, estabelecendo um *ranking* de escores, conforme método descrito por Thiersch (1997). Por fim, com o intuito de testar a existência de diferença significativa entre as alturas de voo, efetuou-se o teste de Friedman e Nemenyi a partir dos escores das repetições, considerando o nível de significância de 5%.

O teste de Friedman é do tipo não paramétrico para tratamento de dados dependente de  $k$  grupos com tamanhos de amostras iguais. A hipótese nula, de igualdade é configurada por:  $H_0: F(1) = F(2) = \dots = F(k)$ , já na hipótese alternativa  $H_1$ , pelo menos um grupo não pertence para a mesma população (POHLERT, 2014). O vetor de resposta  $y$  tem que ser classificado em ordem crescente, separadamente para cada bloco  $\pi_j: j = j, \dots, m$ . Posteriormente, as estatísticas do teste de Friedman são calculadas de acordo com a fórmula:

$$\hat{X}_R^2 = \left[ \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_i \right] - 3n(k+1)$$

A estatística de Friedman é, aproximadamente,  $X^2$  - distribuição, e a hipótese nula é rejeitada caso  $\hat{X}_R^2 > X_{k-1}^2, \alpha$ .

Ao se verificar que houve significância por meio do teste de Friedman, é necessário realizar um teste *post-hoc*, ou seja, um teste de comparação múltipla. É, normalmente, utilizado o teste de Nemenyi. O teste consiste em fazer comparações em pares com o intuito de verificar qual dos fatores que diferem entre si. O teste de Nemenyi requer, no entanto, que  $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$ , para cada grupo  $k$  de dados



classificados segundo Friedman. A fórmula a seguir indica a diferença crítica e refere-se à diferença entre as somas médias de  $\bar{R}_i - \bar{R}_j$ , em módulo (DEMSAR, 2006).

$$|\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \frac{q_{\infty; k; \alpha}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{k(k+1)}{6n}}$$

Essa desigualdade, leva às mesmas diferenças críticas de somas classificadas  $|\bar{R}_i - \bar{R}_j|$  quando multiplicado por  $n$  para  $\alpha = 0,1; 0,5; 0,01$ ; assumindo, assim, valores semelhantes aos tabelados por Wilcoxon.

#### 4.2.5.2 Avaliação da acurácia e precisão utilizando pontos de controle

Com o objetivo de avaliar a acurácia dos produtos gerados a partir do levantamento aéreo com o RPA, após o processamento e pós-processamento dos produtos, procedeu-se conforme segue.

A primeira fase desta etapa consistiu na coleta dos pontos homólogos aos que foram levantados a campo, nos produtos gerados. Para isso, a coleta das coordenadas planimétricas, assim como da altimetria de cada, foi realizada no ortofotomosaico utilizando o *Agisoft Photoscan*.

Na sequência, de posse das coordenadas levantadas a campo a nível do solo com GPS Geodésico RTK e daquelas coletadas nos produtos dos ortofotomosaicos, utilizou-se o *software GeoPEC v3.2.1* para determinar a acurácia posicional dos produtos, baseado no Decreto nº 89.817/84.

O referido decreto trata da determinação e da validação dos produtos gerados por levantamento aerofotogramétricos visando a classificá-los segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), de acordo com uma escala de referência.

Nesse contexto, consideraram-se as tolerâncias estabelecidas no Decreto nº 89.817/84. Sendo assim, foram duas as medidas usadas no processamento utilizando o *GeoPEC*: a tolerância para a resultante posicional, planimétrica e altimétrica, assim como a da dispersão dos dados; esta última, indicado pelo RMS (*Root Mean Square*). O Nível de Confiança utilizado em ambos os testes estatísticos de tendência tanto por meio  $t$  de Student quanto para o teste de normalidade de *Bowman-shelton* foi de 95%.

A entrada de dados no *software GeoPEC* é baseada na configuração apresentada no Quadro 1, onde:  $X_{test}$ ,  $Y_{test}$ ,  $Z_{test}$ , correspondem às coordenadas

planialtimétricas coletadas nos produtos gerados e  $X_{ref}$ ,  $Y_{ref}$ ,  $Z_{ref}$  são as coordenadas homólogas de posicionamento obtidas pelo levantamento a campo.

Quadro 1 - Configuração da planilha dos dados de entrada no *software GeoPEC*.

Descrição do Ponto	Xtest	Ytest	Ztest	Xref	Yref	Zref
A1	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, as discrepâncias posicionais dos pontos obtidos nos produtos e as suas homólogas coletadas a campo foram determinadas, conforme as equações constantes no Quadro 2.

Quadro 2 - Fórmulas matemáticas utilizadas para a determinação das discrepâncias posicionais.

Discrepância Posicional	Coord.	Equação	
Planimétrica	E	$\Delta X(m) =$	$X_{test} (ORTO) - X_{ref} (Referência)$
	N	$\Delta Y(m) =$	$Y_{test} (ORTO) - Y_{ref} (Referência)$
Altimétrica	Z	$\Delta Z(m) =$	$Z_{test} (ORTO) - Z_{ref} (Referência)$

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ ; correspondem à discrepância na posição de Longitude (E), de Latitude (N) e de altimetria do terreno (Z), respectivamente.

Segundo o Decreto nº 89.817/84, a probabilidade de pelo menos 90% das discrepâncias posicionais deve ser menor ou igual ao PEC para a escala que está sendo testada. Sendo assim, visando a avaliar a acurácia dos ortofotomosaico e MDEs produzidos sem a utilização de pontos de controle no solo e com o uso destes, foram realizadas análises de tendência, precisão e os resultados foram comparados e classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), segundo os limites aceitáveis de erros admitidos pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) (2011) na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).

A metodologia se baseia naquela proposta por Galo e Camargo (1994), onde são realizados testes de hipóteses por meio do uso de análises de tendências e de precisão. Naquelas, estão alicerçadas na distribuição  $t$  de *Student*, onde se avalia a presença de erros do tipo sistemáticos, já nestas, o teste se baseia na distribuição

Qui-quadrado, visando a verificar as implicações dos erros aleatórios. Em ambos os testes, o nível de confiança utilizado foi o de 90%.

Para viabilizar as avaliações tanto de tendência, quanto de precisão, foram utilizados os valores das discrepâncias que é a diferença entre os valores das coordenadas observadas no produto analisado e aquelas coletadas a campo com GPS RTK e que são utilizadas como referência.

No Quadro 3, apresentam-se as equações utilizadas nas avaliações de ambos os testes, assim como a descrição e implicações de cada uma delas no processo de análise.

As determinações iniciais são baseadas nas discrepâncias e, a partir delas, são aplicadas as equações descritas na Tabela 4, assim como os testes de hipóteses. As hipóteses testadas foram: H0, ou de nulidade, onde, nos casos testados, essa foi tida como a hipótese verdadeira de aceitação; já a H1, foi considerada a hipótese alternativa, de rejeição da H0 e, conseqüentemente, aceite da H1.

Nesse contexto, para o teste de tendência, os testes foram: H0:  $\overline{\Delta X}=0$ , onde o valor da estatística amostral  $t_x$  deve ser menor que o valor tabelado de t. Se isso ocorre, poder-se afirmar que o produto não apresenta significativas tendências em suas coordenadas testadas.

Já em relação à precisão, o teste utilizado foi o Qui-quadrado, satisfazendo aos valores do Erro Padrão (EP). Nesta etapa, no intento de atender a uma determinada precisão e seu enquadramento à classe relacionada, o valor do Qui-quadrado calculado deve ser inferior ao tabelado, observando o nível de confiança correspondente. Sendo assim, as hipóteses de precisão foram H0:  $s_{\Delta x}^2 = \sigma_x^2$  e H1:  $s_{\Delta x}^2 \neq \sigma_x^2$ . Ou seja, foi comparado o desvio-padrão das discrepâncias com o desvio padrão esperado por meio da aplicação deste último teste.

Para efetivamente avaliar a acurácia dos ortofotomosaicos e MDEs tanto naqueles produzidos sem o uso de pontos de controle, quanto quando se fez o uso desses pontos, o controle de qualidade foi realizado por meio da análise de tendência e precisão dos modelos, cujos resultados foram comparados e classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

Quadro 3 - Equações para a determinação da acurácia e da precisão dos produtos analisados.

Nº Eq.	Equação	Descrição
1	$\Delta X = (X_i - X_i')$	Determinação das discrepâncias entre as coordenadas observadas nos ortofotomosaicos e MDEs e suas homólogas coletadas a campo; em que a variável X representa qualquer uma das coordenadas planialtimétricas.
2	$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$	Para o cálculo da média, onde n é o número d amostra.
3	$S_{\Delta x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2}$	Utilizada para a obtenção do desvio padrão.
4	$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n}$	Por meio desta equação, determinam-se os valores da estatística amostral baseados na distribuição t de <i>Student</i> .
5	$ t_x  < t_{n-1, \alpha/2}$	Parâmetros para obtenção do valor tabelado de t de <i>Student</i> .
6	$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}}$	Erro padrão esperado planimétrico; em que EP corresponde ao Erro Padrão, este determinado conforme a norma.
7	$\sigma_A = EP_{Alt} X Eq. curvas de nível$	Erro padrão esperado altimétrico.
8	$X_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_x^2}$	Qui-quadrado calculado, onde n é o tamanho da amostra, S é o desvio padrão das discrepâncias e $\sigma$ é o EP.
9	$X_X^2 \leq X_{(n-1, \alpha)}^2$	Qui-quadrado tabelado.

Fonte: Adaptado de Silva (2015 a).

Na avaliação da acurácia, foi utilizado o PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais) e o EP (Erro Padrão), como balizadores haja vista que são estes os parâmetros oficiais adotados no Brasil. A escala utilizada para os cálculos foi de 1:1000. A partir dos pontos coletados a campo e das amostras da população dos pontos oriundos dos produtos gerados,

observando que estes últimos de igual quantidade que os coletados a campo, determinaram-se as discrepâncias e as respectivas médias e desvio padrão.

Tabela 4 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia, conforme PEC-PCD e PEC.

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Altimetria	
		PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
-	A	0,28	0,17	0,27	0,17
A	B	0,5	0,3	0,50	0,33
B	C	0,8	0,5	0,60	0,40
C	D	1,0	0,6	0,75	0,50

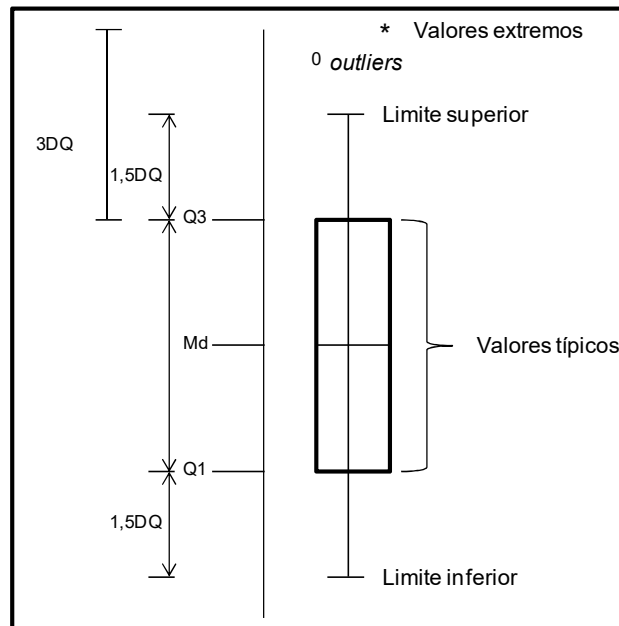
Fonte: Adaptado de ET-ADGV (2011) e Decreto nº 89.817/84.

Na sequência, foi verificado se o valor dos desvios-padrão das amostras era estatisticamente menor do que o valor limite admissível em precisão de acordo com o PEC-PCD (Tabela 4), por meio do teste do Qui-Quadrado, já que este possibilita realizar a estimativa do desvio padrão de uma população a partir do desvio-padrão amostral. Dessa forma, as discrepâncias são obtidas por meio da diferença entre as coordenadas planialtimétricas dos ortofotomosaicos e dos MDEs e daquelas tidas como referência, às coletadas a campo.

É necessário enfatizar que, de acordo com a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011), que estabelece as tolerâncias na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), as tolerâncias estabelecidas PEC-PCD complementam aquelas estabelecidas no Decreto nº 89.817/84, indicando uma nova Classe A, mantendo-se, no entanto, as classes estabelecidas no decreto, onde as classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD são equivalentes às classes “A”, “B” e “C” do Decreto nº 89.817/84.

Por fim, com o objetivo de avaliar a dispersão dos dados, elaboraram-se gráficos que sintetizam as medidas estatísticas descritivas, cuja representação foi feita mediante o uso de diagramas de caixas (*Box-plot*), conforme observa-se na Figura 22. Por meio do *Box-plot*, foram identificadas medidas relevantes, tais como a dispersão, assimetria, cauda e os *outliers*. Além disso, a importância da utilização desse tipo de análise permite a comparação múltipla entre vários grupos lado a lado possibilitando, assim, a comparação entre eles de forma inequívoca (WILKS, 2006).

Figura 22 - Ilustração esquemática do gráfico tipo *Box-plot*.



Fonte: Friedrich, 2017 - Adaptado de Wilks (2006).

Na Figura 22, pode-se conferir a divisão que ocorre em quatro quartis, cada um correspondendo 20% e 25% ( $q$  0,25). O quartil inferior  $q_1$  0,25, a mediana  $q$  0,5 e o quartil superior  $q_3$  0,75. Os limites inferior, superior e os *outliers* são calculados pela diferença interquartílica (DQ).

A dispersão é representada pela determinação do intervalo interquartílico que é obtido pela diferença entre o terceiro e o primeiro quartil. Já a simetria dos dados é indicada pela linha da mediana que deverá estar centralizada na caixa central. As assimetrias podem ser positivas, quando a linha da mediana estiver mais próxima ao primeiro quartil, tanto quanto negativas, caso a linha da mediana tiver sua posição mais próxima do terceiro quartil.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados, juntamente com a discussão em relação aos levantamentos, serão apresentados neste capítulo, organizados de acordo com os objetivos da pesquisa.

No primeiro item, são apresentados os resultados relacionados às questões técnicas de voo e, posteriormente, os levantamentos aerofotogramétricos realizados com diferentes alturas de voos.

### 5.1 VOOS REALIZADOS

No que tange aos voos realizados, o resultado destes pode ser visualizado na Tabela 5. Nesta tabela, é evidenciado tanto o número de voos totais realizados, quanto dos parâmetros relacionados, tais como, intervalo do horário dos voos, tempo de voo, área de cobertura, número total de fotos do imageamento para cada altura de voo, bem como a quantidade de cargas de bateria utilizada.

Pode-se observar que foram realizados 3 voos em diferentes alturas em relação ao nível do solo para cada área de estudo (Propriedade A e B), totalizando 6 voos. Verifica-se, também, que para os voos com menor altura relativa (50 m) o número de fotografias foi maior que em voos em maior altura (80 e 110 m). Razão pela qual o número de fotos capturadas pelo equipamento cobrindo a área na altura de voo de 50 m foi maior. Por exemplo, na área de estudo A o correspondente voo de 50 m de altura resultou em 1663 fotografias (4 cargas de bateria). Já para a altura de 110 m foram 356 (uma carga de bateria). Desse modo, fica evidente que, voos com maior altura relativa resultam em menor número de fotografias para uma mesma área a ser imageada no solo e menor carga de bateria. Além disso, existem outras implicações relacionadas que serão expostas no item 5.2 (questões técnicas de voo).

Tabela 5 - Resumo dos resultados dos voos realizados em ambas as áreas de estudo.

Área de estudo	Altura (m) do voo	Data do voo	Intervalo do voo		Tempo de voo (min)	n° de Fotos	Área (ha) de cobertura	n° baterias utilizadas
			Início (h)	Fim (h)				
A	50	30/03/2019	12:27	15:00	58	1663	51.4	4
	80		11:45	12:19	34	669	54.0	2
	110		11:20	11:38	18	356	58.6	1
B	50	9/4/2019	13:08	13:55	37	999	37.0	3
	80		12:37	12:54	17	419	40.7	1
	110		14:00	14:13	13	264	50.1	1

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.2 QUESTÕES TÉCNICAS DE VOO

Algumas questões técnicas devem ser consideradas para a escolha da melhor estratégica de execução para levantamentos aéreos com utilização de RPA. Nesta pesquisa, conforme já citado na metodologia, foi utilizada uma aeronave RPA, fabricada pela *DJI Innovations*, modelo *Phantom 4 PRO* (multirrotor).

Segundo o fabricante, uma das variáveis associadas aos voos que deve ser observada é a velocidade dos ventos. Conforme aquela, a velocidade máxima de ventos que permite realizar voos com segurança neste quesito é de 10 m/s. Dessa forma, respeitar este limite depende de um conhecimento prévio da área, assim como da verificação *in loco* antes da execução dos voos.

Nesta etapa do trabalho, durante a visita a campo nas áreas utilizadas neste estudo, observou-se que ambas não apresentaram grandes restrições em relação à presença relativamente constante de ventos. Nesse contexto, não houve interferência dessa variável durante a realização dos voos. Todavia, em áreas onde a presença relativamente constante de ventos com velocidade próxima ou superior à indicada como sendo o limite para a execução de voos pode ser um interferente, já que, muitas vezes, ao chegar ao local não se pode executá-los, conforme o planejado.

Outro aspecto importante, dependendo do objetivo e das características específicas do trabalho, é o horário de execução dos voos. Para a obtenção de produtos finais é necessário realizar o processamento das imagens aerofotografadas utilizando-se de *softwares* específicos que realizam a ortorretificação e mosaicagem das imagens separadamente obtendo-se assim um ortofotomosaico de toda a área



imageada. Assim, dependendo do horário, haverá maior ou menor sombreamento em relação aos alvos ou objetos devido à inclinação relativa da luz solar.

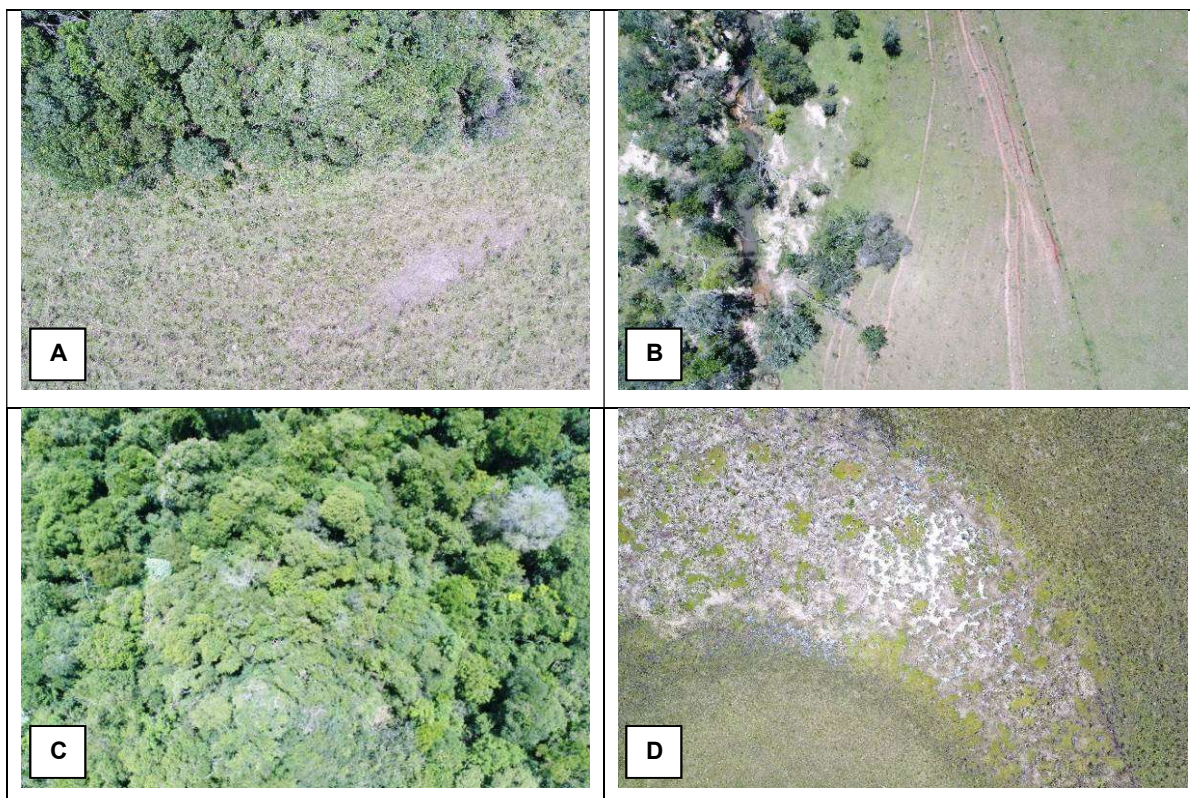
Tendo-se em vista que se trata de duas áreas de estudo localizadas em diferentes municípios, os voos foram realizados em datas distintas. Além disso, os voos foram executados após a instalação dos alvos no solo (pontos de controle) e a coleta desses pontos com RTK. Na área de estudo A iniciaram-se os voos às 11h20min da manhã e, na área, B às 12h37min (Tabela 5).

O horário planejado para a execução dos voos foi definido no intuito de diminuir o sombreamento dos próprios alvos devido à posição relativa do sol). Isso torna-se importante em muitas etapas de pós-processamento, como para a análise da cobertura e uso do solo, identificação e mensuração de alvos específicos e sobretudo, em processos de classificação das imagens. Ainda, o horário também está diretamente ligado ao índice de radiação solar e neste quesito, mesmo que isso possa acarretar pequenos prejuízos de visualização em áreas onde há a ocorrência de vegetação relativamente seca e aparentemente esbranquiçada (Figura 23), optou-se por efetuar os voos em um período do dia com maior grau de radiação solar.

Do contrário, observa-se que, em áreas com um dossel denso, a maior radiação solar possibilita observar maior distinção de espécies florestais e/ou diferentes estágios de sucessão ecológica devido à diferença destacada de cores do dossel (copa).

Evidentemente, outra limitação técnica relacionada à execução dos voos seria a ocorrência de chuvas durante os voos. Nesse aspecto, não houve qualquer tipo de problema em relação ao cronograma planejado para os voos que posteriormente foram executados.

Figura 23 - Fotografias aéreas individuais RPA a altura de 110 m.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A: Área sem presença de sombra; B: Pequenos pontos de sombra na vegetação ciliar; C: dossel florestal; D: vegetação apresentando cor acinzentada e esbranquiçada (área úmida).

Em relação à autonomia de voo, existem, atualmente, diversas variáveis que devem ser analisadas no contexto técnico durante o pré-planejamento dos voos. Conforme mencionado na metodologia, foi utilizado um modelo de RPA, cuja capacidade de voo, segundo a fabricante é de no máximo 30 minutos, porém na prática, em média obteve-se uma autonomia de cerca de 20 min por bateria.

Contudo, a capacidade máxima de 30 min deve ser considerada para voos onde o piloto controla a aeronave desde o início até o término do voo, ou seja, para voos controlados manualmente. Já para fins de obtenção de produtos cartográficos, essa prática torna-se inviável, sendo necessária a utilização de aplicativos capazes de gerenciar voos autônomos conforme descrito na metodologia (*Pix4D Capture*).

Pode-se observar, na Tabela 5, que o tempo de voo para a altura programada nos planos de voos de 50 metros é maior que o intervalo entre o horário de início e fim dos mesmos. Isso porque foi necessário realizar a troca de baterias no RPA, uma vez que a duração de tempo máximo de voo efetivo observado na prática foi de aproximadamente 20 min.

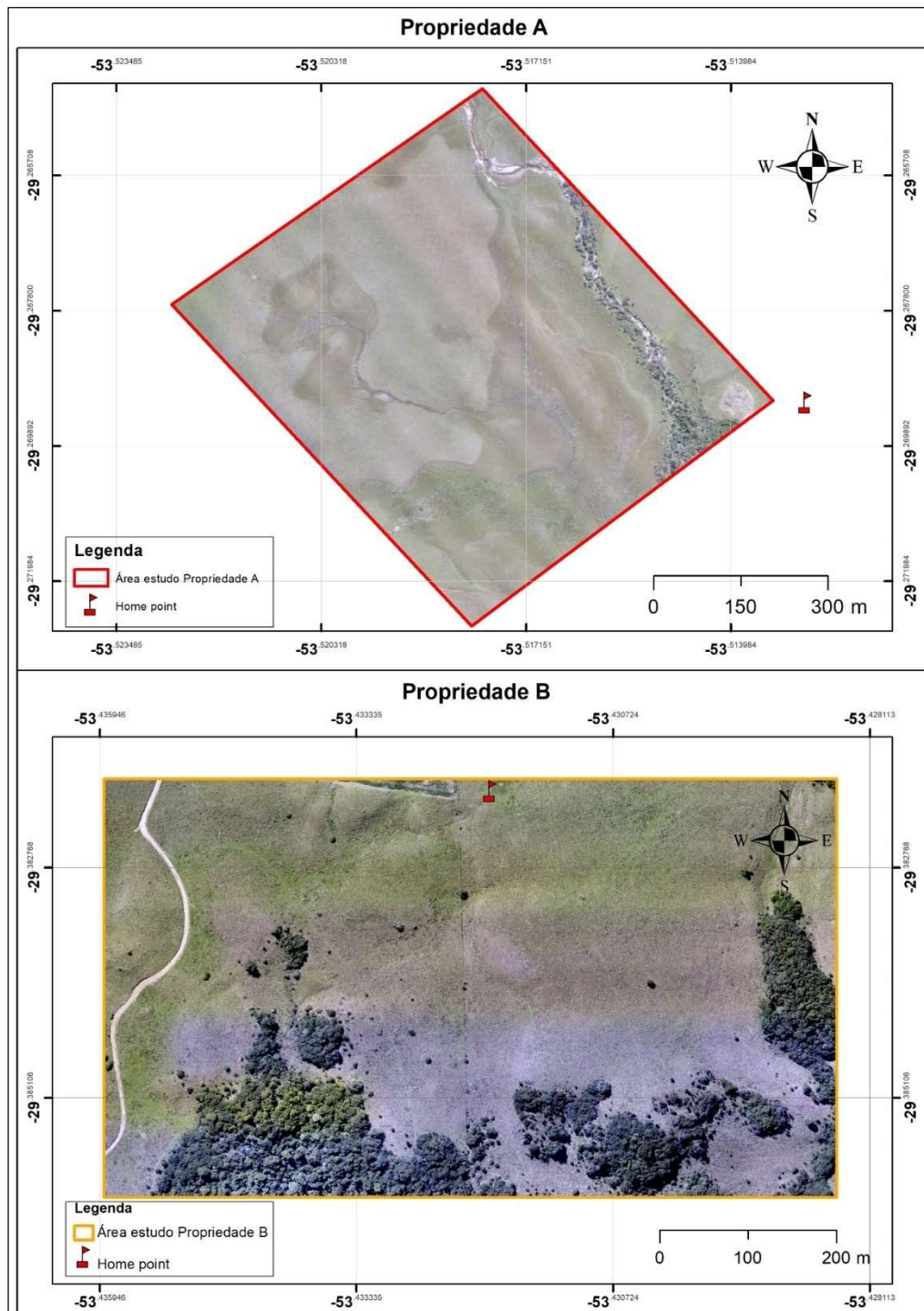
Sendo assim, para menores alturas de voos foi necessário utilizar mais de uma carga de bateria o que resultou em um maior intervalo de tempo entre o início e fim dos voos.

Dessa forma, observa-se na Tabela 5, que nos tempos de voos para as alturas de 80 e 110 metros, os tempos entre o início e o fim dos voos correspondem ao tempo total de voo, o que possibilita concluir que houve autonomia suficiente de carga de bateria no RPA para realizar o plano de voo da área na íntegra sem a necessidade de recarga (troca de bateria).

Além disso, a altura do voo em relação ao referencial do ponto de partida, *home point*, e a distância da área a ser coberta pelo plano de voo implica diretamente na autonomia de voo, já que quanto maior a altura que o aparelho terá que percorrer tanto na subida quanto na descida no retorno a base maior será o gasto de energia ocasionando menor disponibilidade de energia para a execução segura do plano de voo. Situação análoga pode ocorrer em relação à distância entre o *home point*, e a área a ser imageada.

Nesse estudo, na Propriedade A o local de partida para os voos estava relativamente próximo à área a ser coberta pelo plano de voo. Já para a Propriedade B, o *home point* estava localizado dentro da área que foi sobrevoada e imageada (Figura 24). A localização do *home point* depende, na maioria das vezes, das facilidades ou dificuldades de acesso na área do voo.

Figura 24 - Localização do ponto de partida (*home point*) do RPA nas respectivas áreas de estudo.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Outro aspecto de extrema importância e que interfere na autonomia de voos autônomos é a sobreposição de imagens.

Para as alturas de voos que foram executadas, a sobreposição mínima necessária para não haver falhas no ortofotomosaico foi de 80% frontalmente, e 60% lateralmente. Quando se utilizaram na etapa de planejamento da pesquisa voos teste com sobreposição reduzida a 60% e 40%, frontal e lateral, respectivamente, verificaram-se falhas como pode ser observado na Figura 25 B e D.

Os voos com RPA devem ter uma sobreposição entre si para cobrir toda a área a ser imageada. Entretanto, não existe um valor específico devendo ser observado a área e o objetivo, contudo deve-se garantir que as imagens forneçam sobreposição suficiente para que após serem unificados, haja informação suficiente para toda a área de estudo.

Dessa forma, para os voos que foram realizados, utilizaram-se sobreposições de 80% e 60 %, frontal e lateral, respectivamente. Esses parâmetros são semelhantes às sobreposições mínimas recomendadas por Silva et al (2014) e também usadas nos estudos desenvolvidos por Pedrali (2017) e Petri et al (2017), em que empregaram sobreposições de 70 % frontais e 80 %, laterais.

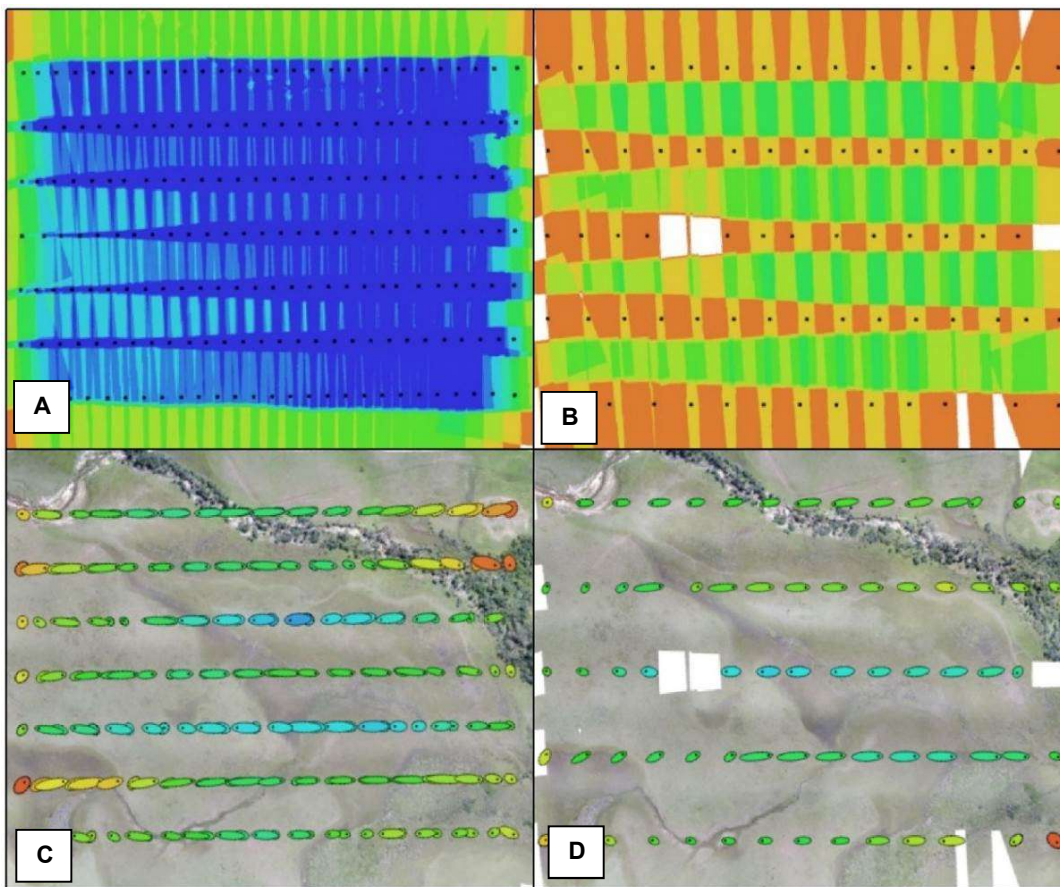
Na Figura 25, é apresentada, de forma esquemática (visualização no software *Agisoft Photoscan*), a locação de cada fotografia em relação as linhas de voo sobre a área que foi sobrevoada (C e D). Pode-se observar que a quantidade de fotografias em C é superior que em D, quando é feita a observação em relação a uma mesma linha de voo. Pode ser observado que, na representação em A e B, cada um dos pontos em negrito se refere a uma fotografia capturada. De forma semelhante, em C e D, desta mesma Figura 25, apresenta-se semelhante comparação onde é possível observar que cada uma das elipses corresponde a uma fotografia.

De forma análoga, para o voo com maior sobreposição lateral (60%), foram necessárias 7 linhas de voos para o completo imageamento da área de estudo (Figura 25 C). Já quando se utilizou uma menor sobreposição lateral (40%), foram necessárias apenas 5 linhas de voos para o completo sobrevoos e imageamento da mesma área (Figura 25 D).

Importante destacar que a escolha da sobreposição a ser utilizada nos voos traz implicações tanto na autonomia de voo, quanto no produto final gerado. Ou seja, embora se tenha uma menor autonomia de voo quando se utiliza de maior sobreposição, destacadamente a lateral, observa-se que isso é necessário para que

se obtenha um produto final, ortofotomosaico e outros como (MDE), com qualidade e isento de falhas ou no máximo com falhas apenas na borda da imagem. Esses problemas de reconstrução na mosaicagem (falhas) podem ocorrer devido ao *software* de processamento não encontrar os pontos homólogos nessas regiões. As falhas que ocorrem em regiões centrais não são desejáveis.

Figura 25 - Resultados do processamento do voo teste a 110 m altura com as respectivas sobreposições frontal e lateral.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A: sobreposição 80% e 60%; B: sobreposição 60% e 40%, com falhas de reconstrução e mosaicagem no ortofotomosaico gerado (regiões em branco). C e D: Imagem em relação às linhas de voo sobre a área que foi sobrevoada, C (7 linhas) e 5 linhas em D.

### 5.2.1 Uso de pontos de controle

Nesta etapa de estudo, foram compilados e analisados os dados relacionados às discrepâncias posicionais planialtimétricas resultantes das diferenças obtidas comparativamente entre os pontos coletados nos produtos cujo processamento ocorreu sem e com o uso dos pontos de controle e aqueles obtidos por meio do uso de GPS Geodésico RTK, a campo.

As principais implicações que representam o uso ou não dos pontos de controle no processamento das fotos no *software* para a obtenção do ortofotomosaico e MDE estão relacionadas com uma maior acurácia de localização posicional dos alvos, objetos, na área imageada determinada pelas menores discrepâncias posicionais planialtimétricas. É importante destacar que os valores das discrepâncias podem ser tanto positivos, em consequência de o valor obtido nos produtos ser maior que os seus homólogos coletados a campo, quanto negativos, caso seja o inverso.

Os valores obtidos na determinação das discrepâncias planialtimétricas podem ser observados nas Tabelas 6 e 7.

Cabe destacar que o ponto de controle PC6 das Tabelas 6 e 7, encontram-se sem valores para as discrepâncias na altura de voo de 50 m. Isso é resultado da falta de maior área de cobertura de voo em relação a área de estudo utilizada. Ou seja, os produtos cartográficos gerados para a altura de 50 m não atingiram cobertura suficiente em relação a área de estudo, logo, não puderam ser coletados os pontos sobre os produtos cartográficos relacionados ao seu homólogo (PC6) no solo.

Sendo assim, a discrepância posicional não foi possível ser calculada para esse ponto, já que é necessário determinar a diferença entre o ponto coletado nos produtos cartográficos e aquele coletado com o RTK no solo. Ressalta-se que esse imprevisto foi resultante apenas na área de estudo, Propriedade A. Isso ocorreu, pois adotou-se uma área de estudo maior capaz de abranger todos os 15 pontos de controle localizados no solo. É por tal motivo que para as demais alturas de 80 m e 110 m não houve problemas neste aspecto. Isso poderá ser novamente evidenciado na página 112 da Figura 36, onde são apresentados os produtos cartográficos para a altura de 50 m nessa área de estudo.

Tabela 6 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais, considerando o processamento sem pontos de controle na Propriedade A.

Pontos	Discrepâncias Planialtimétricas (m)								
	50			80			110		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PC1	0.168	-0.008	-44.377	-1.966	0.610	-47.601	-2.458	1.106	-49.101
PC2	-0.181	-0.947	-43.309	-1.624	-0.285	-47.603	-1.968	0.325	-48.774
PC3	-0.513	-2.398	-43.847	-0.740	-1.697	-48.159	-1.117	-0.991	-48.843
PC4	0.184	-2.448	-42.287	-0.123	-1.401	-46.914	-0.582	-0.795	-48.136
PC5	0.621	-1.986	-40.568	0.066	-0.704	-45.799	-0.396	-0.101	-47.772
PC6	-	-	-	1.126	-0.301	-43.423	0.632	0.105	-47.177
PC7	-0.452	-1.056	-39.819	0.105	-0.269	-44.866	-0.291	0.408	-47.510
PC8	-0.279	-0.755	-35.368	0.196	0.203	-44.290	-0.116	0.917	-47.696
PC9	-0.727	-0.752	-37.561	-0.363	0.656	-45.659	-0.731	1.608	-48.442
PC10	-0.772	-0.899	-39.733	-0.333	0.188	-45.316	-0.723	0.984	-47.902
PC11	0.981	-0.653	-41.744	-0.953	0.469	-46.246	-1.454	1.317	-48.186
PC12	0.308	-1.292	-42.136	-0.954	-0.253	-46.640	-1.403	0.454	-48.161
PC13	0.282	-1.764	-41.614	-0.613	-0.642	-46.280	-1.010	0.064	-47.976
PC14	0.024	-2.016	-42.065	-0.607	-1.026	-46.760	-0.917	-0.361	-48.038
PC15	-0.191	-1.753	-42.764	-0.940	-0.931	-29.288	-1.298	-0.255	-48.328
<b>Média</b>	-0.039	-1.338	-41.228	-0.515	-0.359	-44.990	-0.922	0.319	-48.136
<b>D.Padrão</b>	0.486	0.704	2.375	0.735	0.690	4.376	0.734	0.737	0.497
<b>Máx.</b>	0.981	-0.008	-35.368	1.126	0.656	-29.288	0.632	1.608	-47.177
<b>Mín.</b>	-0.772	-2.448	-44.377	-1.966	-1.697	-48.159	-2.458	-0.991	-49.101

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude;  $\Delta Z$  = Discrepância altimétrica relacionado às altitudes do terreno e PC1...PC15 = Pontos de Controle.



Tabela 7- Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento com pontos de controle na Propriedade A.

Ponto	Discrepâncias Planialtimétricas (m)								
	50			80			110		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PC1	0.014	-0.007	-0.005	0.029	-0.017	-0.032	0.029	0.009	-0.050
PC2	-0.009	-0.078	0.290	-0.055	-0.006	1.153	-0.005	-0.002	0.016
PC3	-0.027	-0.003	-0.067	-0.008	0.005	-0.068	-0.009	0.022	-0.079
PC4	0.007	0.091	-0.892	-0.036	0.003	-0.281	-0.038	-0.046	-0.209
PC5	-0.009	0.001	0.013	0.013	0.011	-0.445	0.006	-0.005	-0.265
PC6	-	-	-	0.003	-0.006	-0.047	-0.029	-0.009	-0.036
PC7	-0.016	0.033	1.479	-0.007	0.007	-0.034	0.033	0.011	-0.066
PC8	-0.004	0.031	0.008	-0.022	0.000	-0.016	-0.060	-0.013	-0.093
PC9	0.009	-0.032	-0.025	-0.087	-0.022	-0.214	-0.008	-0.039	-0.120
PC10	-0.024	0.069	1.668	-0.049	-0.006	-0.240	-0.052	-0.015	-0.181
PC11	0.007	-0.005	0.010	-0.023	-0.046	-0.672	0.036	0.015	-0.232
PC12	0.001	-0.011	0.001	0.019	0.002	-0.009	-0.015	0.012	-0.026
PC13	-0.021	0.046	-0.360	-0.008	0.006	-0.069	-0.031	0.021	-0.147
PC14	-0.021	0.016	-0.178	-0.005	0.023	0.017	0.041	-0.031	-0.027
PC15	-0.019	-0.001	-0.023	0.010	0.002	-0.022	0.013	-0.013	0.020
<b>Média</b>	-0.008	0.011	0.137	-0.015	-0.003	-0.065	-0.006	-0.005	-0.100
<b>D.Padrão</b>	0.013	0.041	0.641	0.030	0.016	0.375	0.031	0.021	0.087
<b>Máx.</b>	0.014	0.091	1.668	0.029	0.023	1.153	0.041	0.022	0.020
<b>Mín.</b>	-0.027	-0.078	-0.892	-0.087	-0.046	-0.672	-0.060	-0.046	-0.265

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude;  $\Delta Z$  = Discrepância altimétrica relacionado às altitudes do terreno e PC1...PC15 = Pontos de Controle.

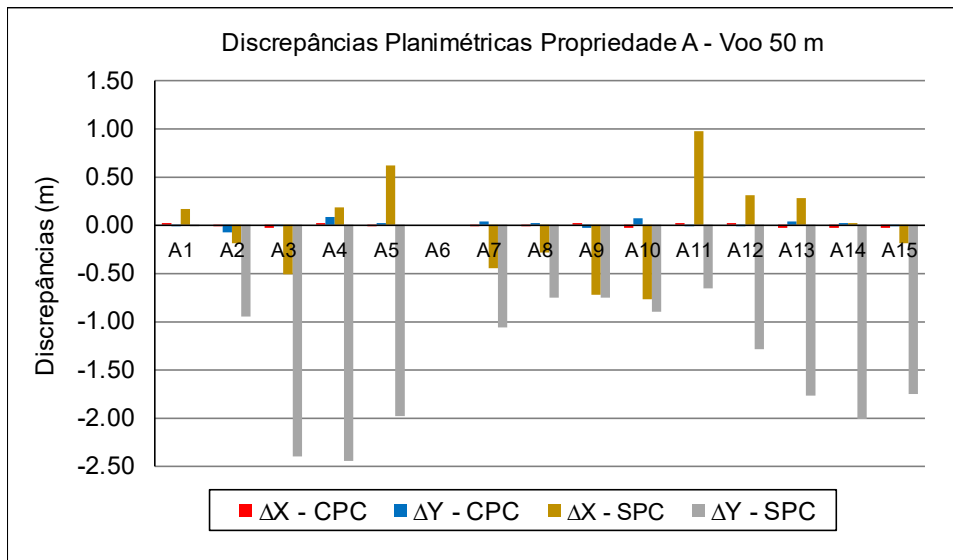
Nas Figuras 26 a 28 são apresentadas as discrepâncias posicionais planimétricas indicadas por  $\Delta X$  e  $\Delta Y$  e as altimétricas, por  $\Delta Z$ , para a área de estudo Propriedade A. Conforme pode ser observado nos resultados das discrepâncias planimétricas, nessa área de estudo, os valores indicam que o voo a 50 m de altura resultou em maior número de ocorrências de maiores discrepâncias para o eixo Y, ou seja, para as latitudes, sobretudo, derivando em valores negativos, ou seja, medições cuja posição em relação a este eixo, considerando um plano cartesiano, encontram-se mais ao norte.

Outra constatação refere-se às diferenças entre as médias dos valores das inconexões das coordenadas X e Y, longitude e latitude, respectivamente. Observa-se, nas Tabelas 6 e 7 que, em todos os voos, os valores médios de discrepâncias são

maiores para aqueles em cujos processamentos não se utilizaram os pontos de controle.

Pode-se verificar que as médias dos valores do total de pontos coletados, para as discrepâncias  $\Delta X$  em relação ao eixo X variaram entre -0,922 m a -0,039 m nos produtos sem o uso de pontos de controle e de -0,015 m a -0,006 m utilizando os pontos referenciais. Já para o eixo das latitudes (eixo Y do plano cartesiano), as médias das discrepâncias  $\Delta Y$  obtidas nas três alturas de voos testadas foram, novamente, maiores nos produtos sem a utilização de pontos de controle no processamento, -1,338 m a 0,319 m e de -0,005 m a 0,011 m, nos produtos resultantes do processamento considerando os pontos de controle.

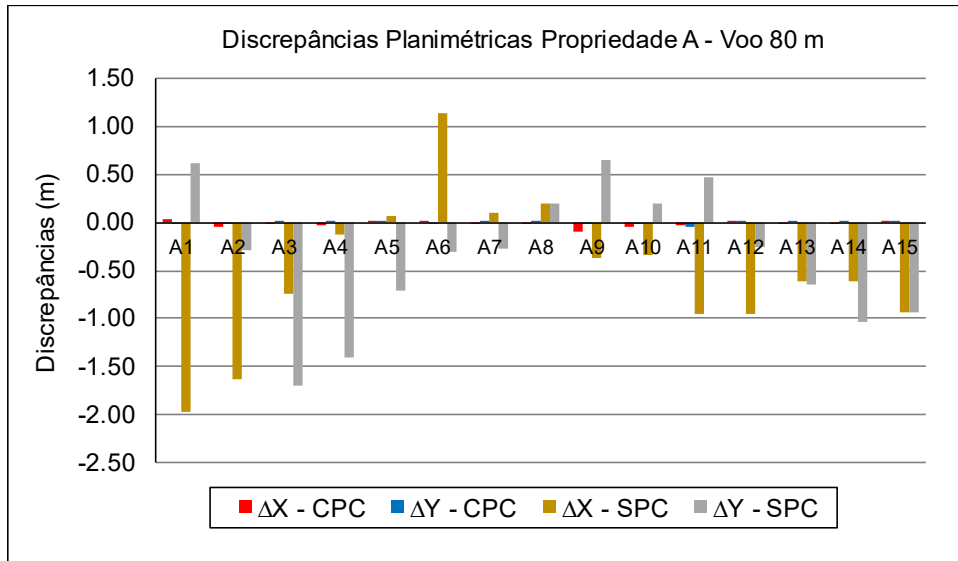
Figura 26 - Discrepâncias planimétricas de voo a 50 m de altura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

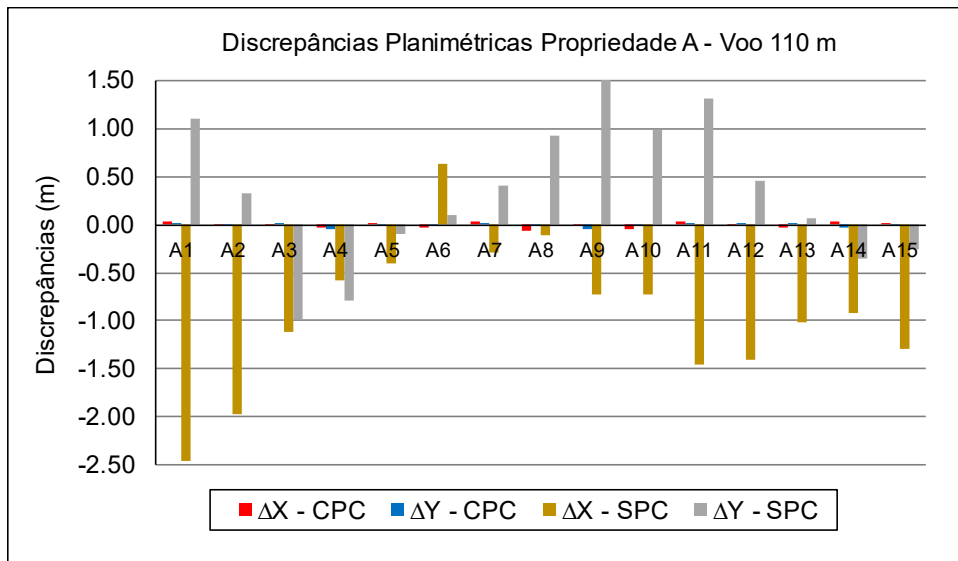
Figura 27 - Discrepâncias planimétricas de voo a 80 m de altura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

Figura 28 - Discrepâncias planimétricas de voo a 110 m de altura

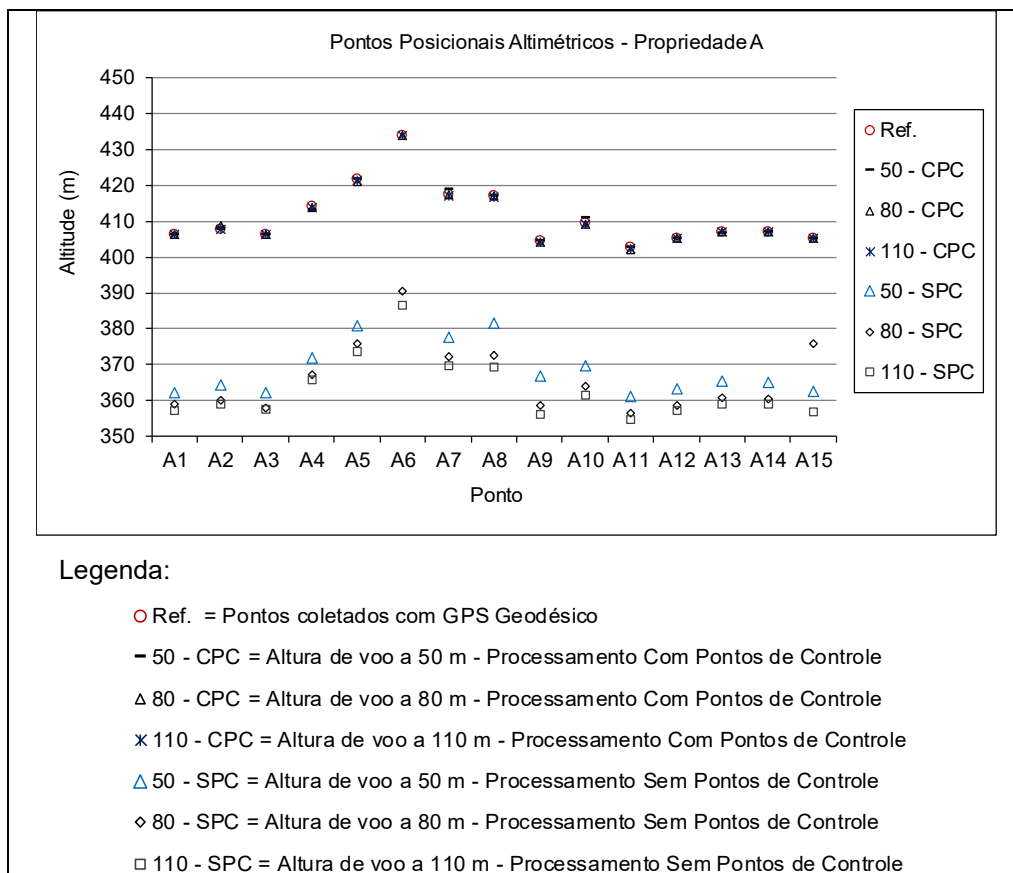


Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

Já em relação às altitudes, os resultados indicam que as diferenças posicionais entre os produtos sem o uso de pontos de controle são bem mais acentuadas quando comparadas àqueles com o uso de pontos de controle. Isso pode ser verificado nas Tabelas 6 e 7 e na Figura 29, onde pode ser examinado que as diferenças médias posicionais entre os pontos coletados nos produtos com uso de pontos de controle são relativamente pequenas, -0,10 m e 0,137 m ao serem comparadas com os pontos referenciais, aqueles coletados a campo com o GPS Geodésico RTK. Diferentemente disso, as diferenças ficaram na ordem de -48,136 m, -44,990 m e -41,228 m nas três alturas testadas, 50 m, 80 m e 110 m, respectivamente.

Figura 29 - Discrepâncias altimétricas posicionais para as três alturas de voo realizadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os dados resultantes das determinações das discrepâncias para a segunda área de estudo, a Propriedade B, o comportamento dos resultados das oposições pertinentes à utilização ou não de pontos de controle no processamento, demonstrou-se semelhante aos que foram obtidos na primeira área estudada

(Propriedade A). Isso pode ser observado nas Tabelas 8 e 9 e nas Figuras 30 a 33, onde são apresentados os resumos das discrepâncias em ambas as situações, sem e com o uso de pontos de controle, assim como das disposições das inconexões por meio de gráficos em relação às diferentes alturas testadas.

Tabela 8 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento sem pontos de controle, Propriedade B.

Ponto	Discrepâncias Planialtimétricas (m)								
	50			80			110		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PC1	-0.035	-0.479	-37.746	-2.043	0.817	-45.930	1.702	0.786	-33.309
PC2	0.100	-0.153	-40.231	-1.653	1.035	-47.128	2.480	-0.024	-35.391
PC3	0.078	-0.068	-42.314	-1.345	1.180	-48.222	3.403	-0.897	-35.129
PC4	0.268	0.046	-42.024	-1.241	0.752	-48.279	2.084	-1.256	-37.660
PC5	0.292	-0.156	-40.945	-1.380	0.702	-47.603	1.926	-0.682	-37.368
PC6	0.474	-0.109	-40.260	-1.381	0.573	-47.199	1.152	-0.553	-37.811
PC7	0.273	-0.385	-39.542	-1.633	0.590	-46.776	1.417	-0.057	-36.563
PC8	0.301	-0.576	-38.690	-1.753	0.456	-46.301	0.969	0.143	-35.938
PC9	1.006	-0.135	-38.942	-1.286	0.287	-46.233	-0.031	-0.131	-36.417
PC10	0.817	0.117	-39.755	-1.221	0.458	-46.792	0.367	-0.500	-37.485
PC11	0.568	0.533	-41.517	-1.108	0.660	-47.980	0.911	-1.566	-38.006
PC12	0.994	0.635	-40.471	-1.017	0.566	-47.262	-0.051	-1.124	-37.266
PC13	1.002	0.959	-41.194	-0.883	0.502	-47.846	-0.289	-1.709	-36.058
PC14	1.343	0.634	-40.063	-0.855	0.398	-47.037	-0.599	-0.966	-35.937
PC15	1.476	0.067	-39.034	-1.024	0.126	-46.362	-0.711	-0.286	-35.133
<b>Média</b>	0.597	0.062	-40.182	-1.321	0.607	-47.130	0.982	-0.588	-36.365
<b>D.Padrão</b>	0.461	0.429	1.239	0.324	0.261	0.719	1.166	0.660	1.248
<b>Máx.</b>	1.476	0.959	-37.746	-0.855	1.180	-45.930	3.403	0.786	-33.309
<b>Mín.</b>	-0.035	-0.576	-42.314	-2.043	0.126	-48.279	-0.711	-1.709	-38.006

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude;  $\Delta Z$  = Discrepância altimétrica relacionado às altitudes do terreno e PC1...PC15 = Pontos de Controle.

Tabela 9 - Discrepâncias planialtimétricas posicionais considerando o processamento com pontos de controle, Propriedade B.

Ponto	Discrepâncias Planialtimétricas (m)								
	50			80			110		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PC1	-0.0176	0.0078	0.012	0.0058	-0.0074	0.007	0.0113	-0.0091	0.052
PC2	-0.0867	0.0372	-0.044	-0.0442	0.0244	0.024	-0.0719	-0.0042	-0.016
PC3	-0.0178	-0.0285	-0.065	0.0171	0.0222	-0.015	0.0306	0.0261	-0.009
PC4	0.0042	0.0261	-0.024	0.0012	-0.0765	-0.117	0.0007	-0.0001	-0.026
PC5	-0.0079	-0.0086	0.028	0.0256	-0.0319	-0.026	0.0062	0.0091	-0.017
PC6	-0.0122	0.0224	-0.146	-0.0086	0.0109	-0.099	0.0221	-0.0352	-0.152
PC7	-0.0024	0.0133	0.014	-0.0207	-0.0007	-0.016	0.0101	0.0135	-0.032
PC8	-0.0252	0.0672	-0.058	-0.0209	0.0674	-0.156	0.0075	-0.0338	0.005
PC9	-0.0017	0.0174	0.031	-0.0055	-0.0052	0.081	-0.0039	-0.0176	0.145
PC10	-0.0250	0.0059	-0.088	-0.0209	0.0021	0.047	-0.0257	-0.0427	-0.13
PC11	0.0466	-0.0507	-0.222	-0.0361	-0.0862	-0.123	-0.0017	-0.0270	0.073
PC12	0.0098	-0.0230	-0.023	-0.0244	-0.0166	0.06	0.0213	0.0045	-0.039
PC13	-0.0072	-0.0316	-0.038	-0.0244	-0.0856	-0.045	-0.0091	-0.0245	0.092
PC14	0.0506	0.0127	0.023	0.0427	0.0126	0.011	-0.0116	0.0266	-0.054
PC15	-0.0261	0.0027	0.025	-0.0348	-0.0016	-0.027	-0.0154	-0.0327	0.044
<b>Média</b>	-0.008	0.005	-0.038	-0.010	-0.011	-0.026	-0.002	-0.010	-0.004
<b>D.Padrão</b>	0.031	0.029	0.069	0.024	0.042	0.068	0.024	0.022	0.076
<b>Máx.</b>	0.051	0.067	0.031	0.043	0.067	0.081	0.031	0.027	0.145
<b>Mín.</b>	-0.087	-0.051	-0.222	-0.044	-0.086	-0.156	-0.072	-0.043	-0.152

Fonte: Elaborado pela autora.

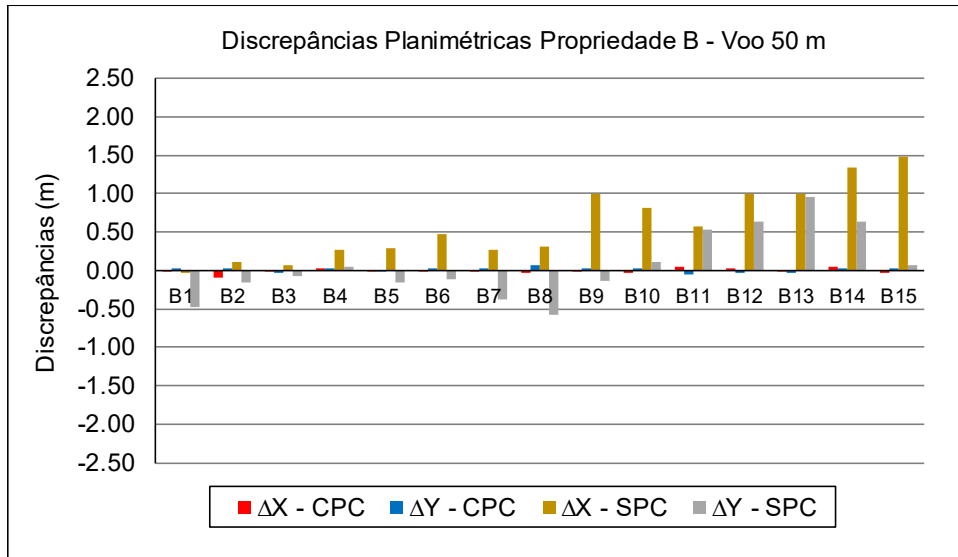
Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude;  $\Delta Z$  = Discrepância altimétrica relacionado às altitudes do terreno e PC1...PC15 = Pontos de Controle.

As médias das discrepâncias em relação ao eixo X variaram entre -1,331 m a 0,982 m nos produtos sem o uso de pontos de controle. Já quando se fez o uso desses pontos, as discrepâncias planimétricas diminuíram para um intervalo entre -0,010 m a -0,002 m. Considerando o eixo das altitudes, as médias das inconexões  $\Delta Y$  obtidas nas três alturas de voos foram mais acentuadas para aqueles produtos gerados sem a utilização de pontos de controle,  $\Delta Y$  entre -0,558 m a 0,607 m, e de -0,011 m a 0,002 m, nos produtos resultantes do processamento, fazendo o uso de tais pontos.

Para esta área de estudo, a altimetria dos pontos considerados também se mostrou com maiores discrepâncias naqueles produtos obtidos sem a utilização dos pontos de controle (Tabela 8). Isso porque as diferenças de altimetria resultante nas três alturas de voo 50 m, 80 m e 110 m, respectivamente, sem o uso de pontos de controle, foi de -40,182 m, -47,130 m e -36,365 m. Diferentemente, ao utilizar os

pontos referencias no processamento, as discrepâncias das altimetrias foi de -0,038 m, -0,026 m e -0,04 m, respectivamente, para os voos de 50 m, 80 m e 110 m de altura.

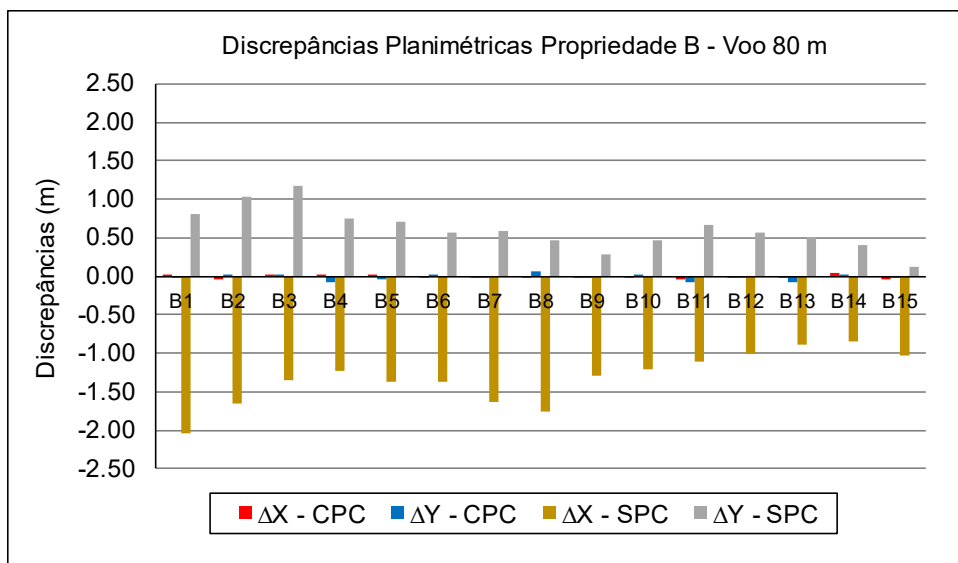
Figura 30 - Discrepâncias planimétricas de voo a 50 m de altura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

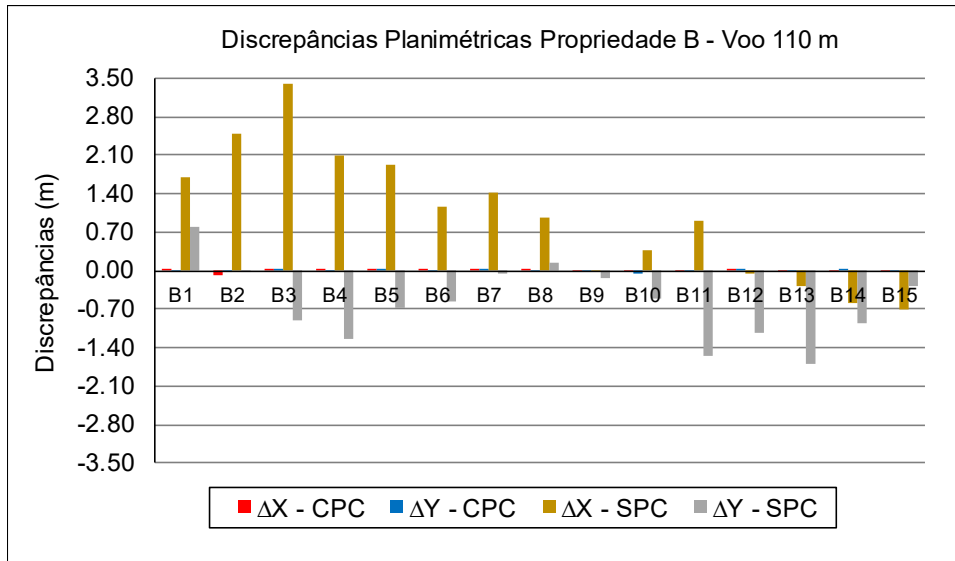
Figura 31 - Discrepâncias planimétricas de voo a 80 m de altura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

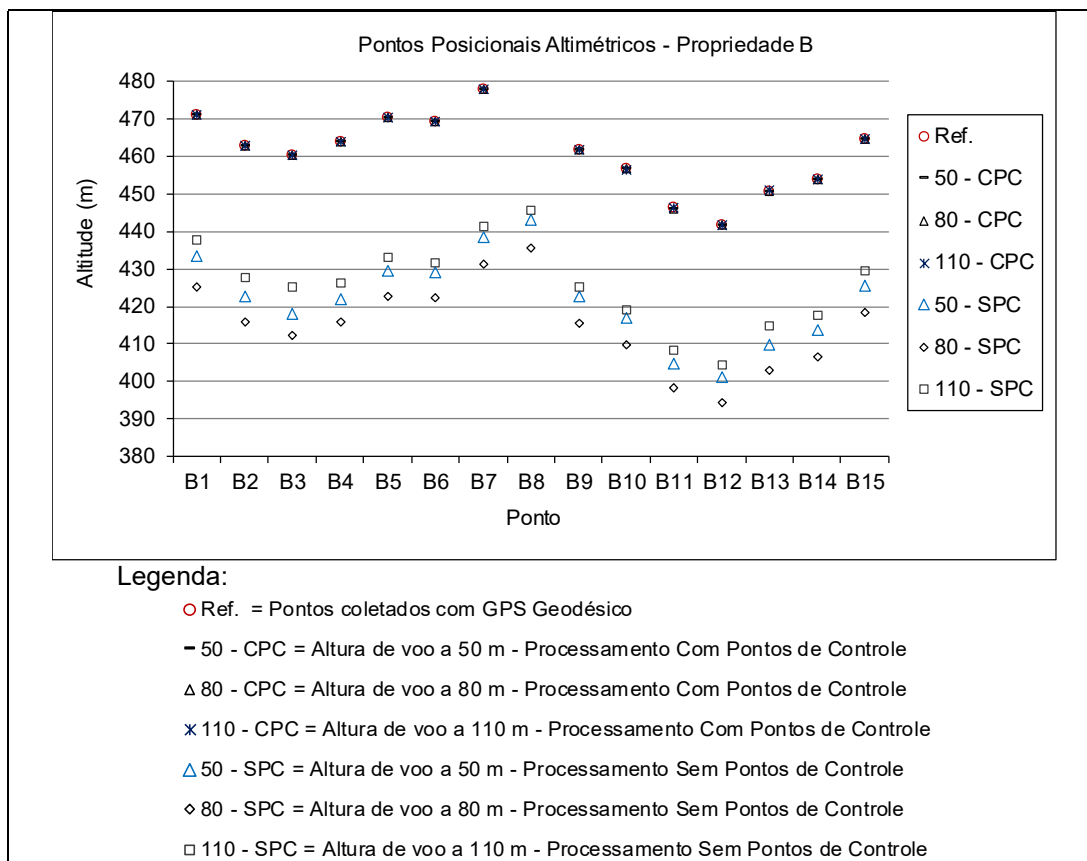
Figura 32 - Discrepâncias planimétricas de voo a 110 m de altura.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude; SPC = Sem uso de Pontos de Controle e CPC = Com uso de Pontos de Controle.

Figura 33 - Discrepâncias altimétricas posicionais para as três alturas de voo realizadas.



Fonte: Elaborado pela autora.



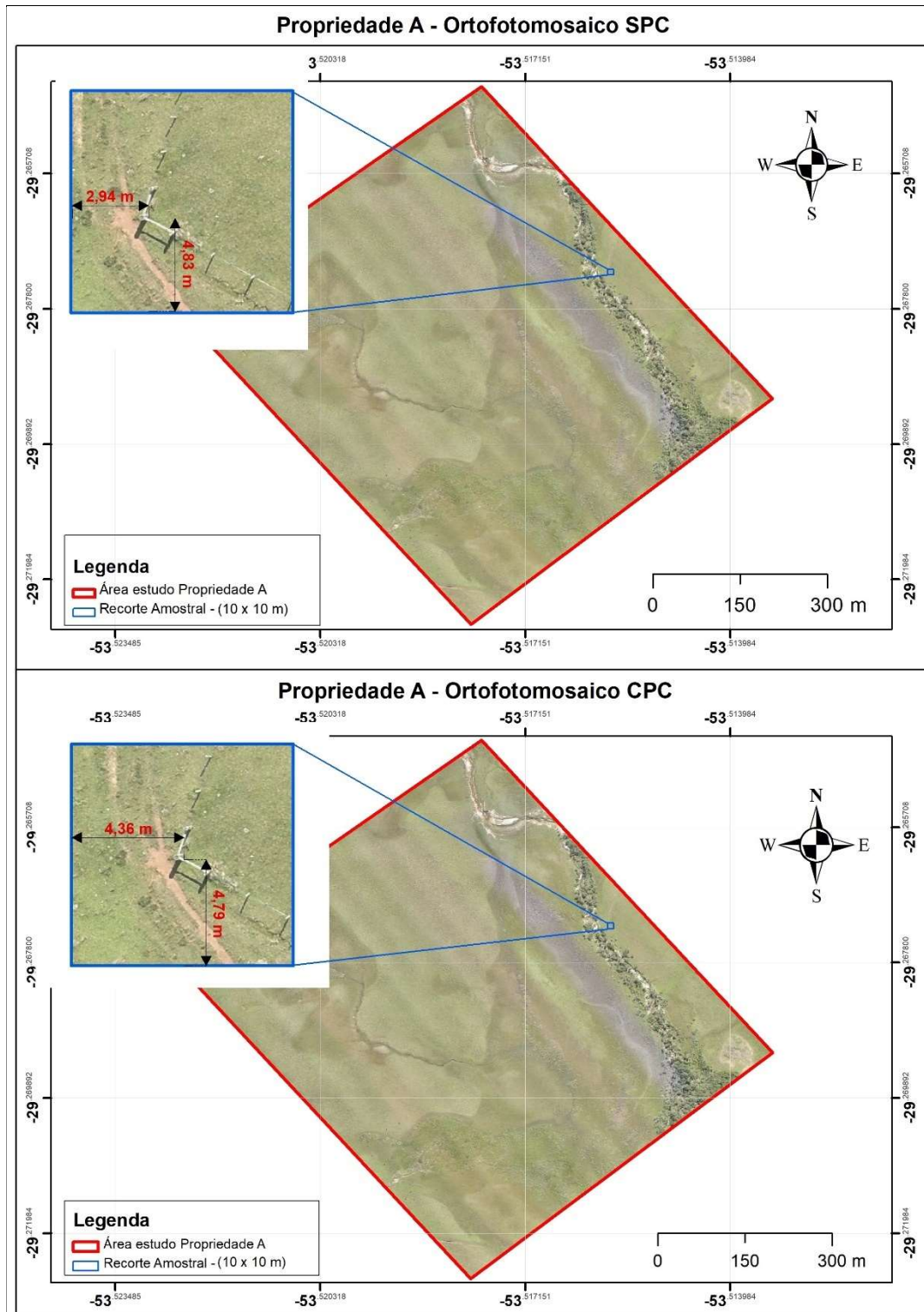
Sendo assim, esses resultados indicam fortes indícios de que quando se trata de discrepâncias planimétricas a não utilização de pontos de controle afeta os resultados de forma mais branda, ao contrário do que ocorre em relação às altimetrias do terreno. Nesse contexto, pode-se inferir que a não utilização de pontos de controle nos processamentos pode representar um risco elevado em relação aos erros que podem ser cometidos sobre o posicionamento planimétrico, uma vez que são diversas variáveis que podem afetar os resultados e que, no final, podem induzir a erros relevantes. Sobretudo, quando se trata de projetos cujo nível de exigência é mais elevado. Cabe lembrar que, como observado, as discrepâncias altimétricas são consideravelmente mais marcantes, o que sugere a necessidade inerente do uso de pontos de controle para a melhoria dos resultados e diminuição drástica das discrepâncias.

Visando a ilustrar uma ocorrência prática relacionada ao uso de pontos de controle e melhoria posicional planimétrica, é apresentada, nas Figuras 34 e 35, a ampliação de um ponto específico, fixo, e relativamente de fácil identificação.

Observa-se que, na Figura 34, foi tomado como referencial um mourão do vértice do cercamento existente na área, onde este foi centralizado em um recorte amostral de 10 x 10 m (quadrado com limite externo em azul). As posições e conseqüentemente as cotas relacionadas aos eixos cartesianos X e Y, resultaram em maiores diferenças no ortofotomosaico processado sem o uso de pontos de controle - SPC. Realizando uma análise em outro recorte amostral, conforme na Figura 35, essa constatação se repetiu, o que já era, de certa forma, esperado, pois o GPS embarcado na aeronave possui, aproximadamente, a mesma margem de erro relativa de posição de um GPS portátil, que varia entre 3 m a 10 m, tomando um ponto como referência.

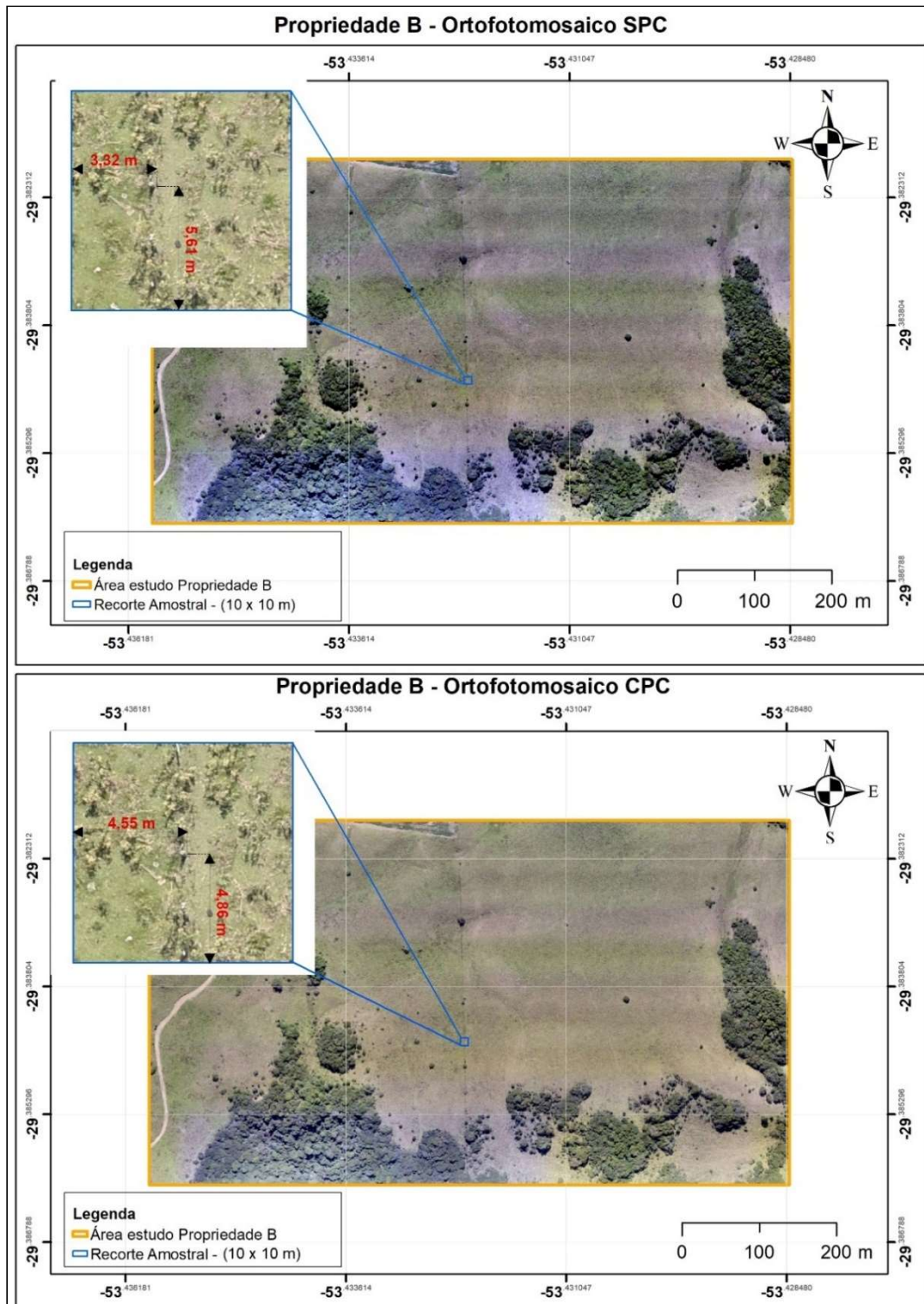
Nesse contexto, quando um trabalho necessitar de uma maior exigência locacional, na obtenção de áreas mais precisas e acuradas, faz-se necessária a utilização de metodologias de apoio como o uso de GPS geodésico de alta precisão. Para isso, coletam-se pontos de controle para uso no processamento das imagens e, ainda, pontos de verificação para mensurar a acurácia do levantamento, como é o caso específico exigido para o georreferenciamento por meio de aerofotogrametria descrito na Norma de Execução/DF/02 (2018) do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Figura 34 - Recorte amostral considerando o processamento do ortofotomosaico sem pontos de controle (SPC) e com pontos de controle em (CPC) para a Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 35 - Recorte amostral considerando o processamento do ortofotomosaico sem pontos de controle (SPC) e com pontos de controle em (CPC) para a Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Nas Figuras 36 a 41 são apresentados os MDEs de ambas as áreas de estudo nas diferentes alturas de voos.

Os resultados dos MDEs sem o uso desses pontos na fase de processamento indicam, em média, uma maior diferença principalmente para os valores de altitudes mínimas e, ao se utilizarem os pontos de controle, nota-se que houve uma elevação nos valores de altitudes. Ou seja, ao avaliar os resultados obtidos nas altimetrias, traduzidas por meio dos valores das altitudes, pode ser observado que, em todos os casos em que não foram utilizados os pontos de controle, ocorreu um “rebaixamento” do MDE em relação àquele em que se fez o uso dos pontos. Ademais, verifica-se que as amplitudes obtidas em ambas as áreas de estudo foram mais notáveis para as altimetrias dos produtos gerados sem o uso de pontos de controle (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo do intervalo de altitudes verificadas nos produtos.

Processamento MDE								
Área de estudo	Altura (m)	GSD (cm/pixel)	Altitude (m)				Amplitude (m)	
			SPC		CPC		SPC	CPC
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
A	50	10.02	356.60	403.26	399.05	428.64	46.66	29.59
	80	15.7	353.05	393.13	399.50	435.75	40.08	36.25
	110	22.3	351.30	388.85	400.14	435.80	37.55	35.66
B	50	13.3	382.94	445.97	425.85	484.24	63.03	58.39
	80	19.6	378.23	438.13	426.75	484.01	59.90	57.26
	110	26.3	391.71	448.93	429.40	484.26	57.22	54.86

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: SPC: Sem Pontos de Controle; CPC: Com Pontos de Controle e Amplitude (mínima e máxima).

Observando a Figura 36, pode ser verificado que o MDE apresentado da Propriedade A, embora semelhante aos demais (Figuras 37 e 38), na sua configuração geral, apresenta uma “linha divisória”, que o divide em duas partes, não se assemelhando, neste aspecto, àqueles das Figuras 37 e 38. Esse resultado é devido a uma capacidade limitada de processamento das ortofotos. Cabe ressaltar que não se trata de uma capacidade de *software*, mais sim, de capacidade de processamento de máquina - *hardware*, ou seja, do computador utilizado para realizar esta etapa. Nesse aspecto, é necessário enfatizar que quanto maior o número de ortofotos utilizadas em um pacote de processamento, maior deverá ser a capacidade

de processamento, razão pela qual se o número de ortofotos for muito elevado em relação à capacidade de processamento do *hardware*, o processamento das ortofotos e a geração dos ortofotomosaicos não serão completados.

Nesse sentido, a Separata ao Boletim do Exército nº 44/2018 do Ministério da Defesa Exército Brasileiro recomenda que o *hardware* a ser utilizado para o processamento de imagens de RPAs tenha uma configuração mínima que apresente um sistema operacional XP ou versão superior de 64 *bits*, com memória RAM de 12 GB (*Gigabytes*), processador de 2.0 GHz (*Gigahertz*) ou superior e uma placa de vídeo dedicada de 8 GB (*Gigabytes*) (BRASIL, 2018).

Ainda, segundo este mesmo documento, “ressalta-se que a configuração do computador influencia diretamente no número de fotos que podem ser manipuladas pelo *software* de processamento das imagens captadas pelo RPA”, e cita ainda que “a velocidade do processamento para a confecção do ortomosaico depende diretamente da memória RAM disponível e dos parâmetros da imagem” (BRASIL, 2018, p. 13).

Por fim, o documento apresenta um exemplo de como a capacidade de memória interfere na capacidade de processamento das ortofotos, qual seja:

Supondo que uma única foto tenha resolução de aproximadamente 10 megapixels, com memória RAM de 2 GB, será necessário criar um modelo de ortofoto com 20 a 30 fotos. Ao utilizar um equipamento com 12 GB de memória RAM, a capacidade de processamento aumenta para 200 a 300 fotos para o ortomosaico (BRASIL, 2018, p. 13).

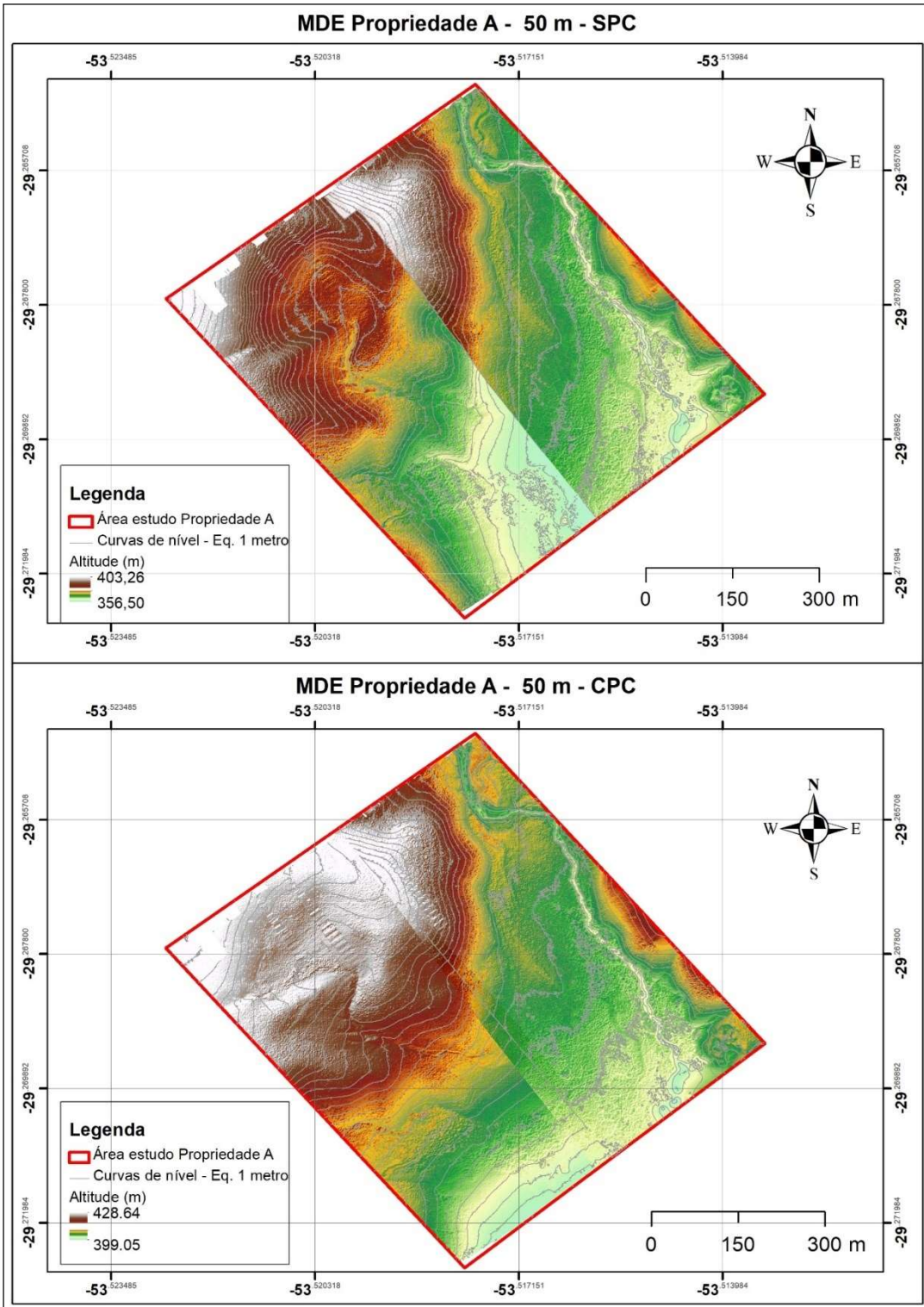
Nesse contexto, o *hardware* disponível para o processamento que foi utilizado possui um sistema operacional Windows 10 de 64 *bits*, com memória RAM de 8 GB (*Gigabytes*), processador de 2.5 GHz (*Gigahertz*), com placa de vídeo dedicada de 2 GB (*Gigabytes*).

Portanto, como no caso da área de estudo A para a altura de voo de 50 metros foram captadas e utilizadas 1663 ortofotos no processamento, culminou que devido à limitação de *hardware* não foi possível completar o processamento. Sendo assim, foi necessário realizar o processamento das ortofotos em duas etapas, ou seja, utilizar, aproximadamente, a metade do número total de ortofotos em cada processamento e, posteriormente, fazer a junção dessas duas partes. Logo, devido a estas limitações técnicas e a necessidade de buscar alternativas para se atingir o propósito, o resultado, principalmente no MDE. Por essa razão, o resultado desse produto foi

relativamente afetado, haja vista o que pode ser observado na Figura 36, em que o MDE da área completa é resultante da composição de dois MDEs de áreas parciais (MDE parte 1 e MDE parte 2). Verifica-se, ainda, que nesta mesma figura, para o MDE, onde o processamento foi realizado sem o uso de pontos de controle, há uma evidente descontinuidade das linhas entre uma parte e outra do MDE da área total. Já quando no processamento foram utilizados pontos de controle (Figura 36) a descontinuidade entre as duas partes é atenuada devido à maior acurácia entre os MDEs parciais que foram justapostos.

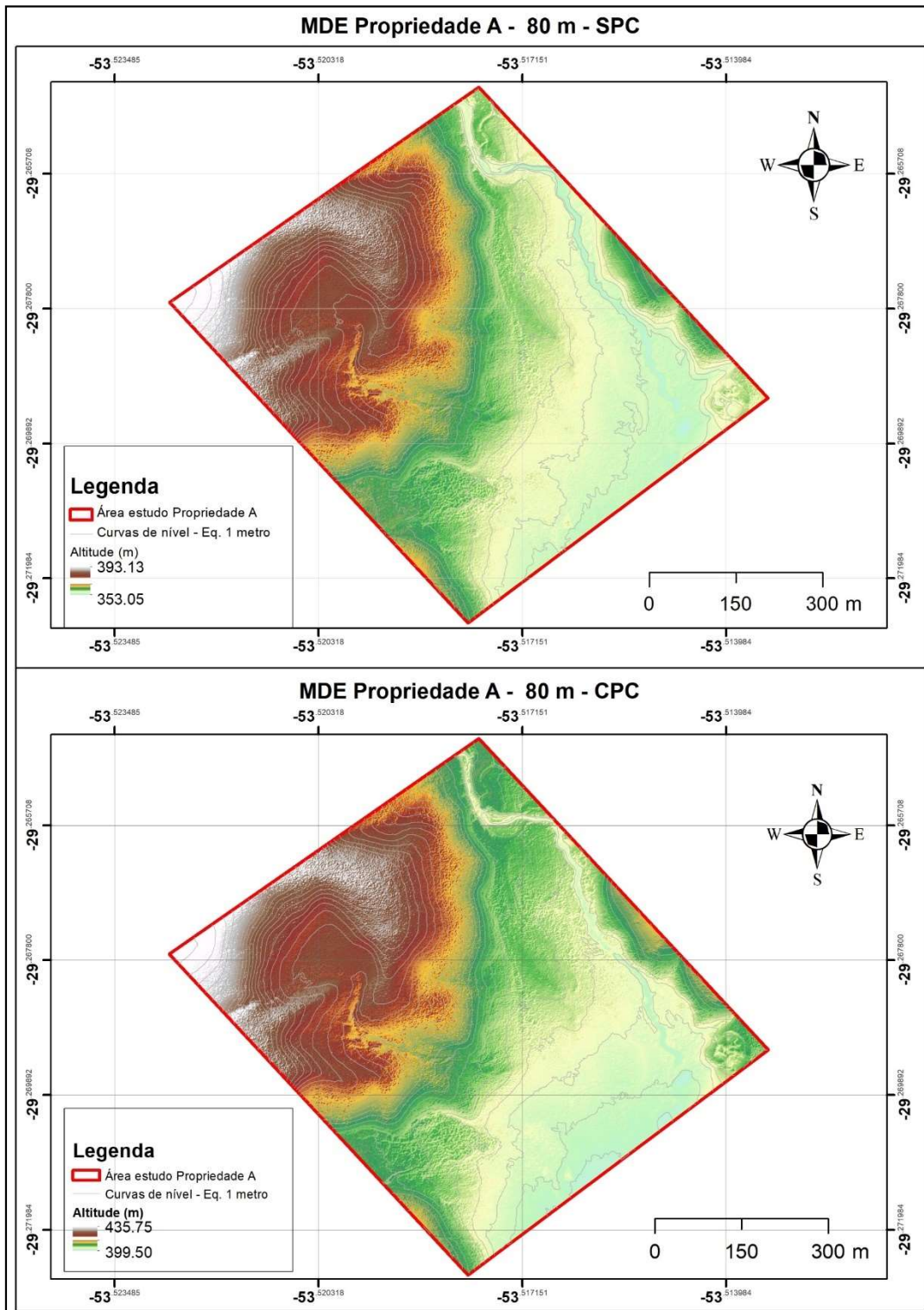
Contudo, é necessário ressaltar que esse imprevisto do processamento ocorreu apenas na área de estudo Propriedade A para o voo cuja altura em relação ao nível do solo foi de 50 m, uma vez que na área de estudo B para essa mesma altura de voo o total de ortofotos da área imageada foi 999 fotos.

Figura 36 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 50 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

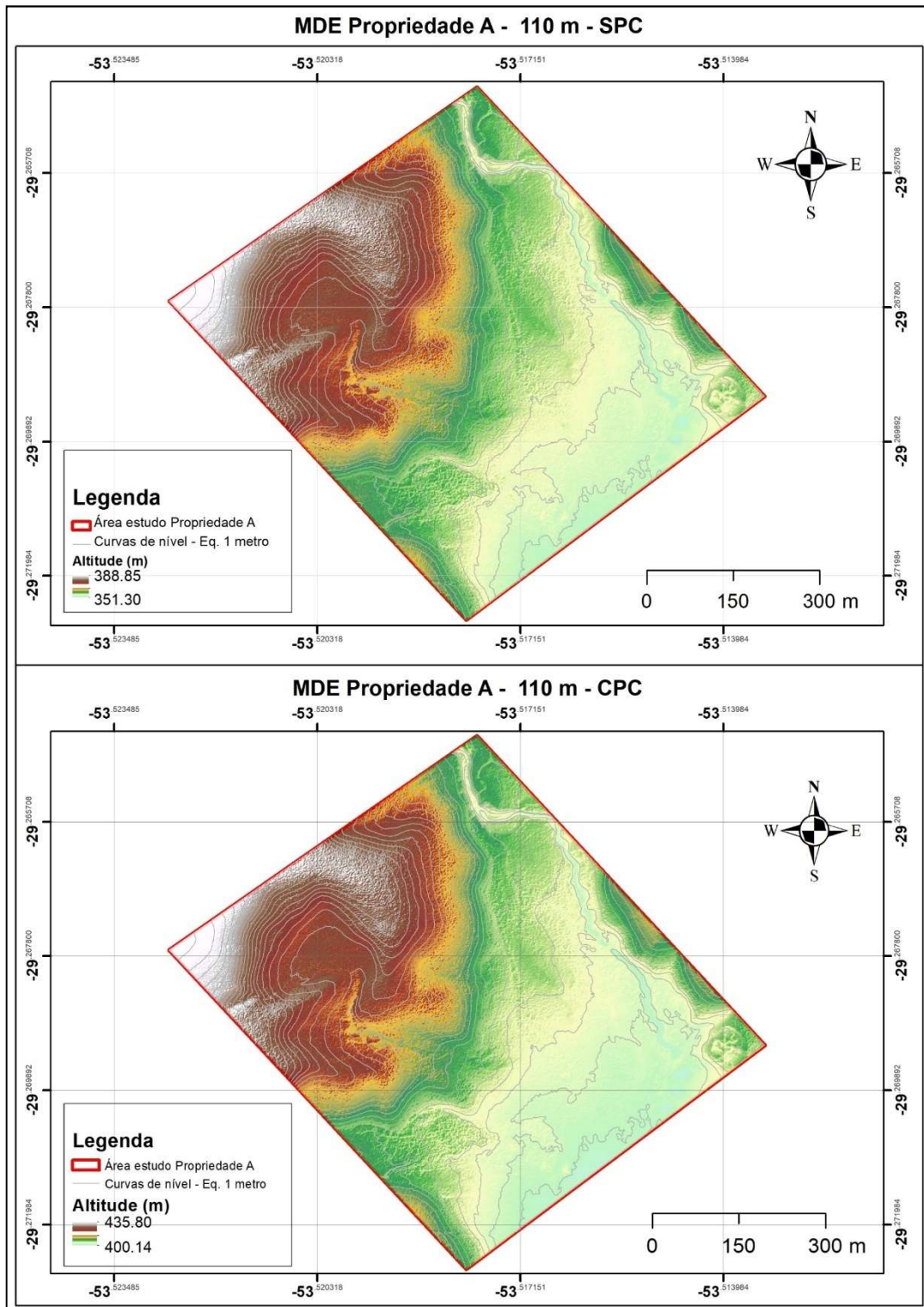
Figura 37 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 80 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

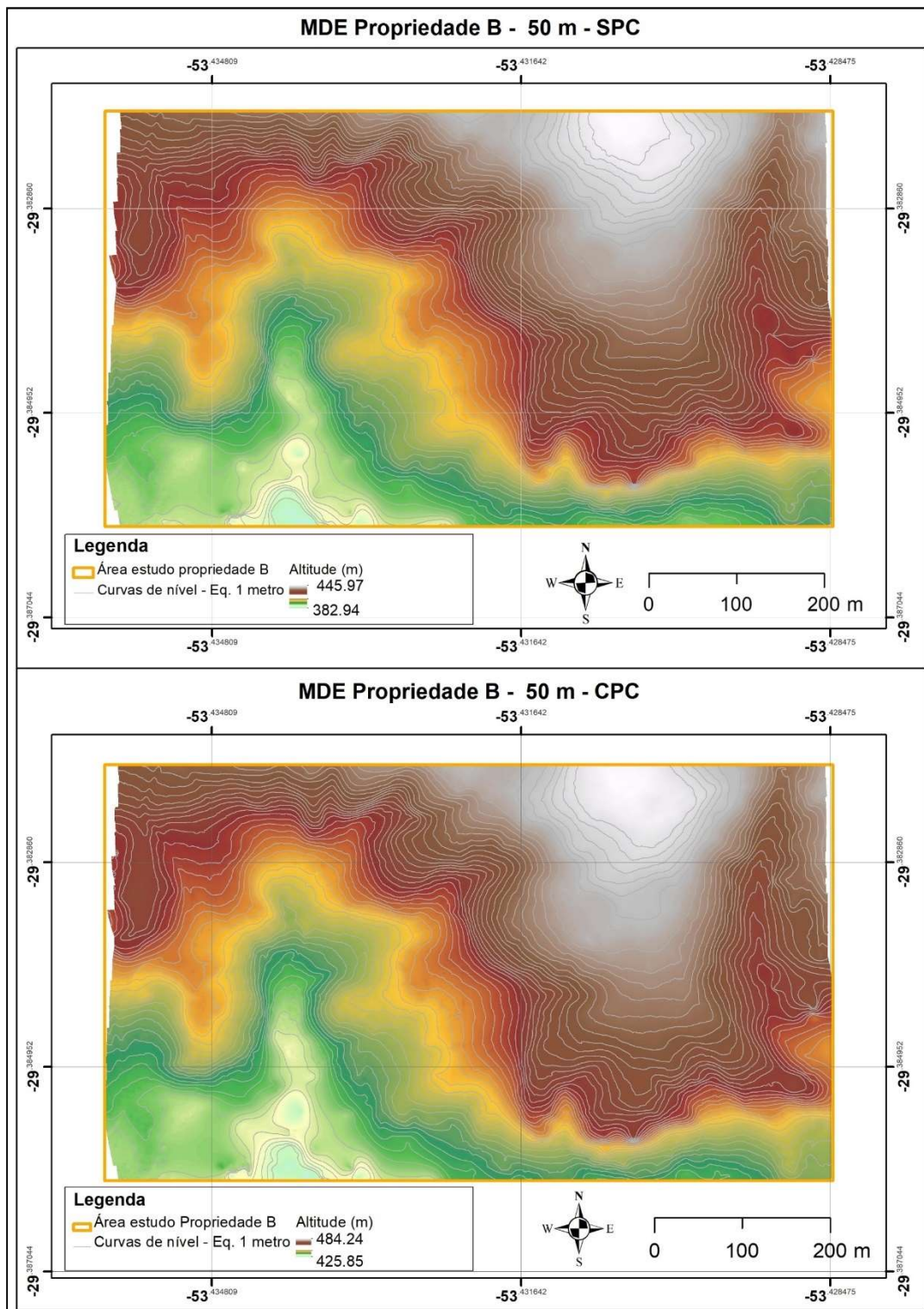


Figura 38 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade A com voo de 110 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



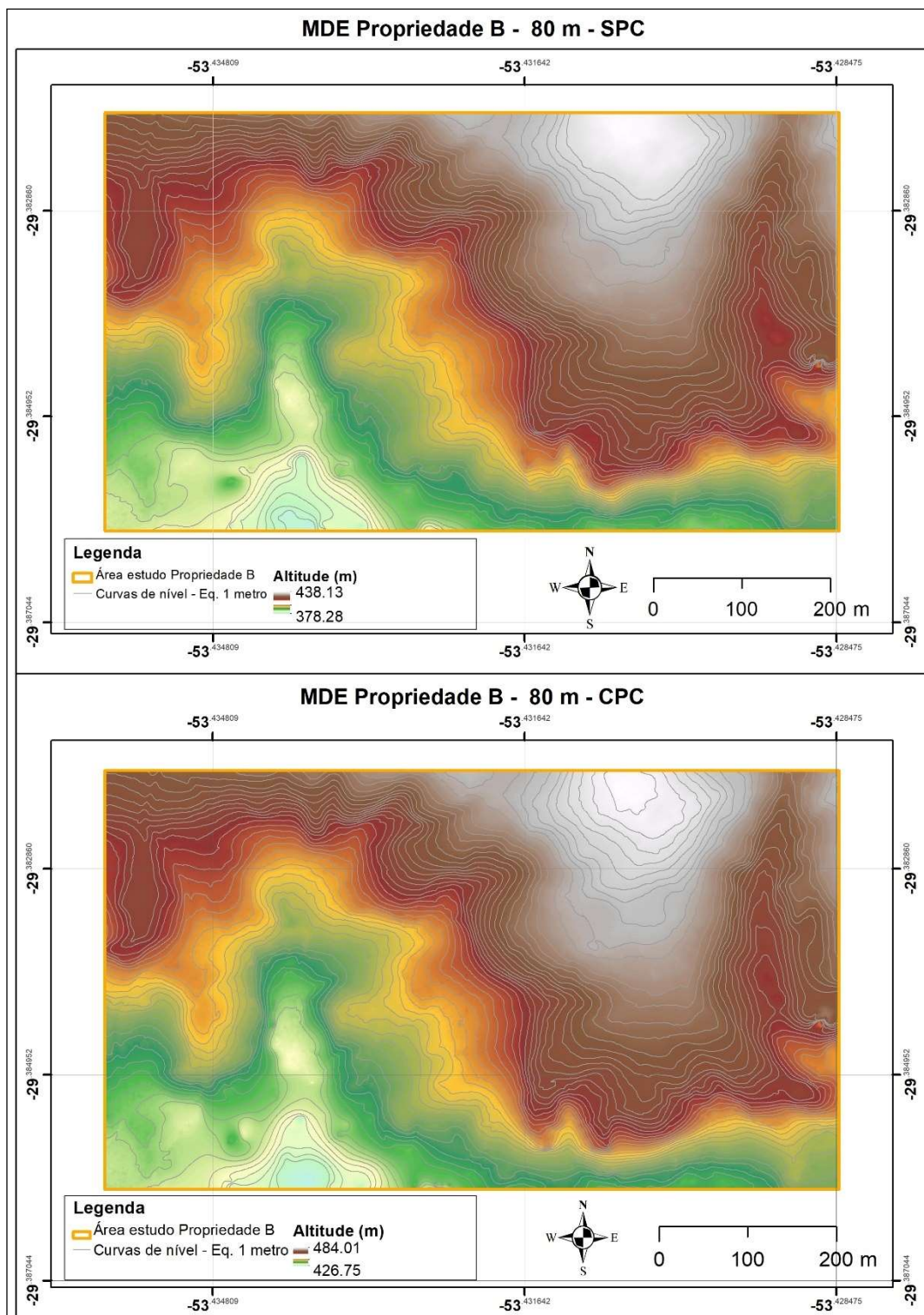
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 39 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 50 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



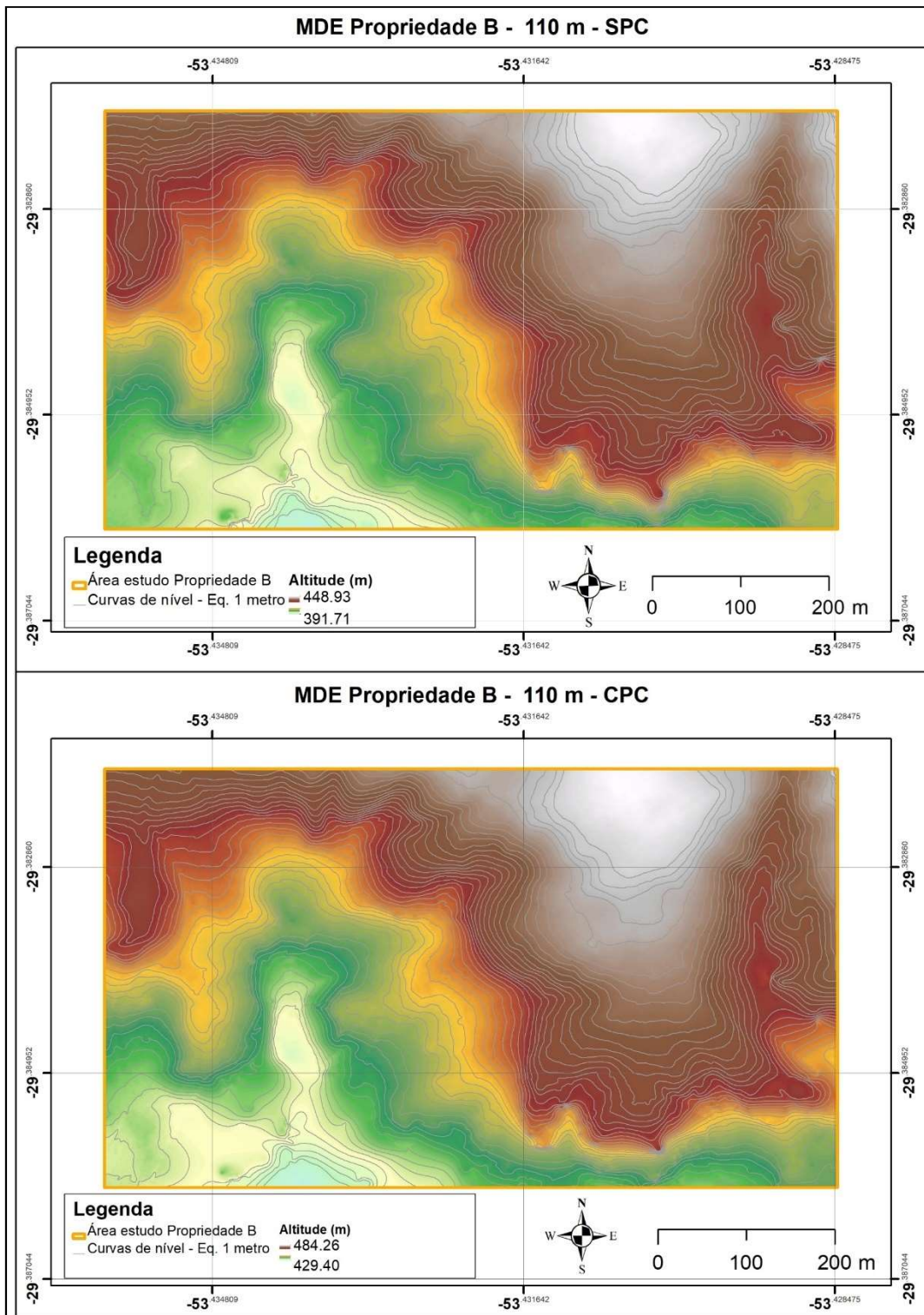
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 40 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 80 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 41 - Modelo Digital de Elevação da Propriedade B com voo de 110 m de altura: SPC - sem pontos de controle e CPC - com pontos de controle.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

É necessário ressaltar que, se a análise que se pretende fazer de uma área é mais contextual para a verificação do uso e cobertura do solo, índices de vegetação, de maneira mais generalizada e, desta forma, os produtos não exigirem alta precisão e acurácia em relação à locação posicional, a utilização de pontos de controle torna-se dispensável, o que, certamente, refletirá em menor custo e tempo para a execução dos voos. Esta inferência refere-se ao fato de que ao se ponderar o uso de pontos de controle associado a um levantamento aerofotogramétrico, é necessário o uso de equipamentos auxiliares durante a execução dos voos, tais como um GPS de alta precisão e mão de obra especializada no manuseio destes.

Em uma análise estatística final realizada neste trabalho relacionado a este item, nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os resultados das discrepâncias e das avaliações das tendências por meio do teste de hipóteses baseado na distribuição *t* de *Student*. Ressalta-se que os termos  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  correspondem às discrepâncias relacionadas às coordenadas de longitude, latitude e altitude, respectivamente.

Tabela 11 - Resumo estatístico das discrepâncias para ambas as áreas de estudo.

Área de estudo Propriedade A			
Ortomosaico/MDE	Pontos de controle	Média (m)	Desvio Padrão (m)
Sem pontos de controle	$\Delta X$	-0.922	0.734
	$\Delta Y$	0.319	0.737
	$\Delta Z$	-48.136	0.497
Com pontos de controle	$\Delta X$	-0.006	0.032
	$\Delta Y$	0.005	0.021
	$\Delta Z$	0.100	0.090
Área de estudo Propriedade B			
Ortomosaico/MDE	Pontos de controle	Média (m)	Desvio Padrão (m)
Sem pontos de controle	$\Delta X$	0.982	1.166
	$\Delta Y$	-0.588	0.660
	$\Delta Z$	-36.365	1.248
Com pontos de controle	$\Delta X$	-0.008	0.032
	$\Delta Y$	-0.005	0.030
	$\Delta Z$	0.038	0.072

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X = E_{\text{test}} - E_{\text{Ref.}}$ ;  $\Delta Y = N_{\text{test}} - N_{\text{Ref.}}$ ;  $\Delta Z = \text{Alt}_{\text{test}} - \text{Alt}_{\text{Ref.}}$ . Onde: E, eixo relacionado à longitude (Leste); N, eixo relacionado à latitude (Norte); Z, corresponde à altimetria dos pontos; *test*, coordenadas planialtimétricas retirada dos produtos e *Ref.*, coordenadas coletadas a campo com GPS Geodésico.

Tabela 12 - Resultados das avaliações das tendências para ambas as áreas de estudo.

Área de estudo Propriedade A				
Ortomosaico/MDE	Eixo Coord.	$ t_{\text{calc}} $	$t_{10\%}$	Tendência
Sem pontos de controle	$t_x$	3.322	2.145	Sim
	$t_y$	1.146		Não
	$t_z$	256.450		Sim
Com pontos de controle	$t_x$	0.496	2.145	Não
	$t_y$	0.680		Não
	$t_z$	2.940		Sim
Área de estudo Propriedade B				
Ortomosaico/MDE	Eixo Coord.	$ t_{\text{calc}} $	$t_{10\%}$	Tendência
Sem pontos de controle	$t_x$	2.228	2.145	Sim
	$t_y$	2.360		Sim
	$t_z$	77.084		Sim
Com pontos de controle	$t_x$	0.655	2.145	Não
	$t_y$	0.414		Não
	$t_z$	1.418		Não

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $t_x$ , eixo relacionado a longitude (Leste);  $t_y$ , eixo relacionado a latitude (Norte);  $t_z$ , corresponde a altimetria dos pontos;  $|t_{\text{calc}}|$ ,  $t$  relacionado ao teste de  $t$  de Student calculado, com seu valor em módulo;  $t_{10\%}$ , valor tabelado de  $t$  de Student baseado em um  $p$  valor de 10%.

Analisando os valores calculados de  $t$  e comparando-os com os tabelados  $t_{10\%}$ , observa-se que, por meio do teste aplicado, as discrepâncias planimétricas  $t_x$  em ambas as áreas estudadas apresentaram tendência em relação aos erros sistemáticos sem o uso de pontos de controle, a exceção de  $t_y$ , da área de estudo A (Tabela 12). Além disso, quando identificam-se as diferenças dos valores observados nos produtos com pontos de controle a campo em relação à altimetria  $t_z$ , estatisticamente há a indicação de tendência a este tipo de erro, quando não foram usados pontos de controle no processamento e apenas em uma área de estudo apresentou-se tendência quanto aos erros na altimetria dos pontos utilizando os pontos de controle no processo.

No que tange à precisão, os valores do teste Qui-quadrado podem ser visualizados na Tabela 13.

Tabela 13 - Avaliação da precisão/accurácia e enquadramento nas classes PEC-PCD.

Área de estudo Propriedade A					
Ortomosaico/ MDE	$X^2_{10\%}$	$X^2_{Calc.}$	Classe		
			A	B	C
Sem pontos de controle	21.064	$X^2_x$	163.384	63.822	40.846
		$X^2_y$	164.395	64.217	41.099
		$X^2_z$	31.075	21.580	13.811
Com pontos de controle	21.064	$X^2_x$	0.315	0.123	0.079
		$X^2_y$	0.137	0.054	0.034
		$X^2_z$	1.013	0.704	0.450
Área de estudo Propriedade B					
Ortomosaico/ MDE	$X^2_{10\%}$	$X^2_{Calc.}$	Classe		
			A	B	C
Sem pontos de controle	21.064	$X^2_x$	412.218	161.022	103.054
		$X^2_y$	131.829	51.496	32.957
		$X^2_z$	196.291	136.314	87.241
Com pontos de controle	21.064	$X^2_x$	0.309	0.121	0.077
		$X^2_y$	0.270	0.106	0.068
		$X^2_z$	0.645	0.448	0.286

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $X^2_x$ , eixo relacionado a longitude (Leste);  $X^2_y$ , eixo relacionado a latitude (Norte);  $X^2_z$ , corresponde a altimetria dos pontos;  $X^2_{Calc.}$ , relacionado ao teste de quiquadrado calculado;  $X^2_{10\%}$ , valor tabelado do quiquadrado correspondente a um *p valor* de 10%.

Verifica-se, nas Tabelas 13 e 14, que para a escala que foi testada, ou seja, 1:1000, obteve-se a precisão compatível com as Classes “A”, a mais restritiva em termos de classificação e, conseqüentemente, houve o enquadramento para as demais classes também “B” e “C”, como pode ser observado nas Tabelas 13 e 14. Essa classificação resultante foi observada em ambas as áreas quando se utilizaram os pontos de controle no processamento das ortofotoimagens.

Já em relação ao processamento sem o uso de pontos de controle, verificou-se estatisticamente que em ambas as áreas de estudo nenhum dos produtos obtidos, ortofotomosaico e MDE, puderam ser classificados em alguma das classes indicadas. Isso porque as discrepâncias foram superiores as indicadas como o limite máximo aceitável para os eixos de planimetria e altimetria.

Tabela 14 - Avaliação da precisão/acurácia e enquadramento nas classes PEC-PCD.

Área de estudo Propriedade A					
Ortomosaico/ MDE	Eixo das Coord.	Passou no Teste	Classificação - PEC/PCD		
Sem pontos de controle	X - Long.	Não	S/Classe	S/Classe	S/Classe
	Y - Lat.	Não	S/Classe	S/Classe	S/Classe
	Z - Alt.	Não	S/Classe	S/Classe	C
Com pontos de controle	X - Long.	Sim	A	B	C
	Y - Lat.	Sim	A	B	C
	Z - Alt.	Sim	A	B	C
Área de estudo Propriedade B					
Ortomosaico/ MDE	Eixo das Coord.	Passou no Teste	Classificação - PEC/PCD		
Sem pontos de controle	X - Long.	Não	S/Classe	S/Classe	S/Classe
	Y - Lat.	Não	S/Classe	S/Classe	S/Classe
	Z - Alt.	Não	S/Classe	S/Classe	S/Classe
Com pontos de controle	X - Long.	Sim	A	B	C
	Y - Lat.	Sim	A	B	C
	Z - Alt.	Sim	A	B	C

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse contexto, Cunha et al (2016), a partir de testes estatísticos, avaliaram a qualidade cartográfica por meio da análise de precisão e acurácia, analisando as tendências e utilizando como referencial o mapeamento realizado a partir do receptor GNSS embarcado em um RPA, para a escala 1:5000, obtendo resultados compatíveis de geometria do ortofoto com a Classe “A” do PEC. Esses autores ressaltam, porém, que a precisão e acurácia necessárias ao arquivo digital dependem da finalidade à qual se destina produto. Sendo assim, eles afirmam que o usuário deve, primeiramente, ser conhecedor da margem de erro tolerável aceitável, ou seja, não necessariamente deve-se rejeitar produtos de Classe “B”, “C” ou até mesmo inferior.

Nesse sentido, os estudos citados convergem para a necessidade e, principalmente, a relevância em relação ao uso de pontos de controle associados ao levantamento aerofotogramétrico com RPAs. Todavia, não inferem diretamente para qual a altura de voo os resultados com o uso de pontos de controle podem ser mais significativos.



### 5.2.1.1 Avaliação da acurácia dos produtos para as diferentes alturas de voos considerando o uso de pontos de controle

Visando a identificar alguma tendência, a altura de voo mais adequada para atender aos propósitos desse estudo, foram efetuadas análises referentes às discrepâncias planialtimétricas entre as diferentes alturas de voo, considerando somente os resultados obtidos com a utilização de pontos de controle. Estes são apresentados na Tabela 15 e por meio das Figuras 42 a 53.

Tabela 15 - Resumo estatístico das discrepâncias planialtimétricas.

Resumo Estatístico das Discrepâncias Planialtimétricas (m)										
Área de estudo	Estatísticas	50			80			110		
		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
A	Média	-0.008	0.011	0.137	-0.015	-0.003	-0.065	-0.006	-0.005	-0.100
	D.Padrão	0.013	0.041	0.641	0.030	0.016	0.375	0.031	0.021	0.087
	Máx.	0.014	0.091	1.668	0.029	0.023	1.153	0.041	0.022	0.020
	Mín.	-0.027	-0.078	-0.892	-0.087	-0.046	-0.672	-0.060	-0.046	-0.265
B	Média	-0.008	0.005	-0.038	-0.010	-0.011	-0.026	-0.002	-0.010	-0.004
	D.Padrão	0.031	0.029	0.069	0.024	0.042	0.068	0.024	0.022	0.076
	Máx.	0.051	0.067	0.031	0.043	0.067	0.081	0.031	0.027	0.145
	Mín.	-0.087	-0.051	-0.222	-0.044	-0.086	-0.156	-0.072	-0.043	-0.152

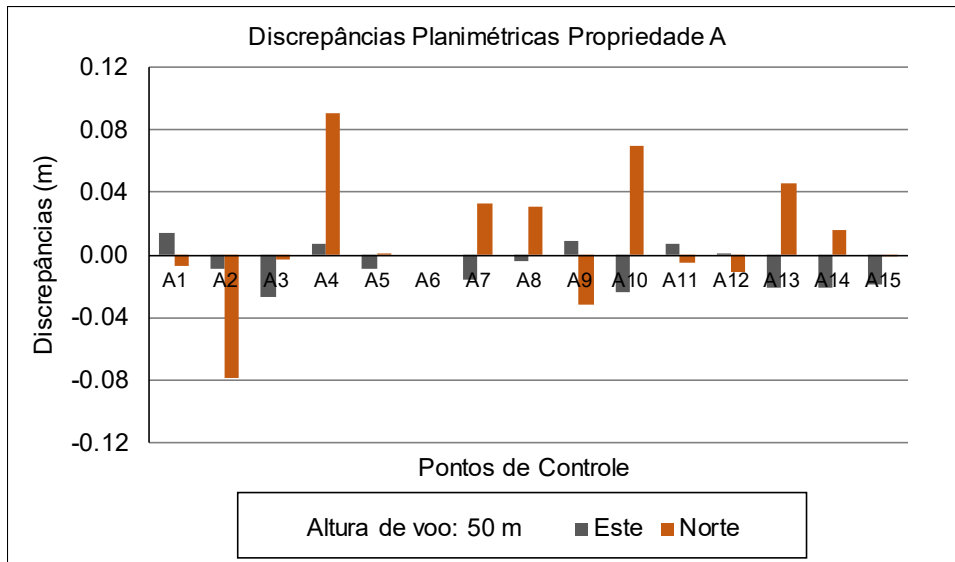
Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude;  $\Delta Z$  = Discrepância altimétrica relacionado às altitudes do terreno.

Ao se observar a Tabela 15, pode-se notar que as médias, de modo geral, convergiram para menores valores de discrepâncias, tanto planimétricas quanto altimétricas para as alturas de voo de 80 m e 110 m, na área de estudo Propriedade A. Já na Propriedade B, apesar de as médias de 50 m indicarem uma pequena diferença em relação às demais, se, ao avaliar o conjunto dos resultados planialtimétricos, novamente, pode-se inferir que as alturas maiores resultaram em menores erros. Entretanto, ao analisar os desvios padrão, que medem a dispersão dos valores em torno da média, verifica-se que, para a altimetria, as menores dispersões ocorreram na altura de voo de 80 m em ambas as áreas estudadas. Por sua vez, em relação às coordenadas planimétricas, observou-se que, na primeira área de estudo, os valores de desvio padrão se alternaram em relação às coordenadas X e Y, sendo menores para as longitudes na altura de voo de 50 m e, menores, em

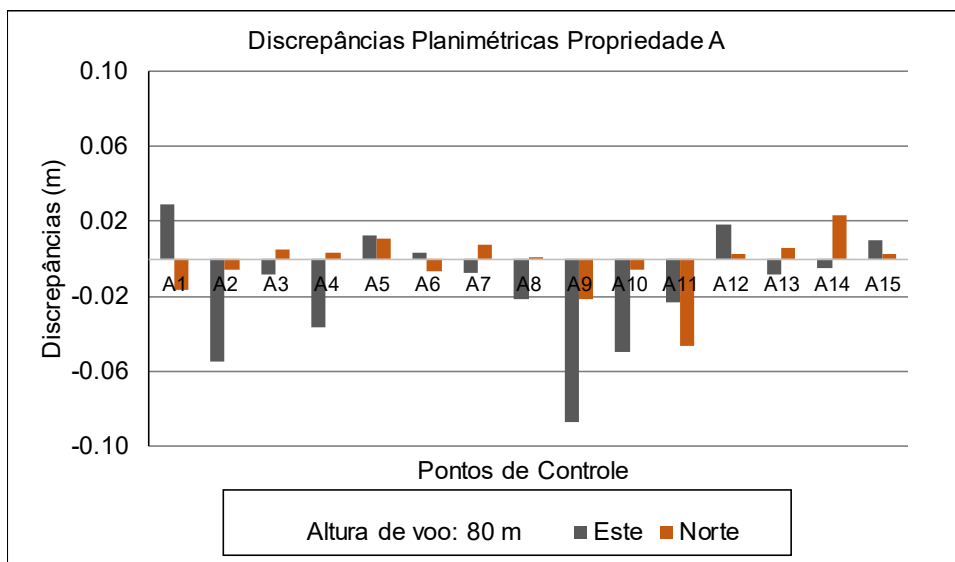
relação às latitudes, para o voo de 80 m. Contudo, caso seja avaliada a homogeneidade das dispersões, os resultados convergem para a altura de 110 m. Essa constatação também pode ser observada na segunda área de estudo, onde as menores dispersões foram identificadas na altura de voo de 110 m de altura.

Figura 42 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 50 m.



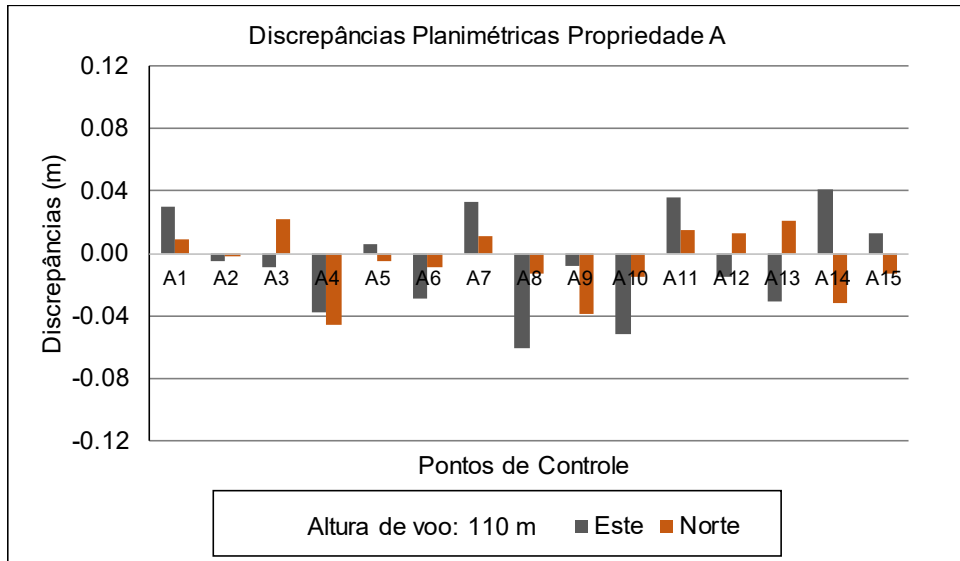
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 80 m.



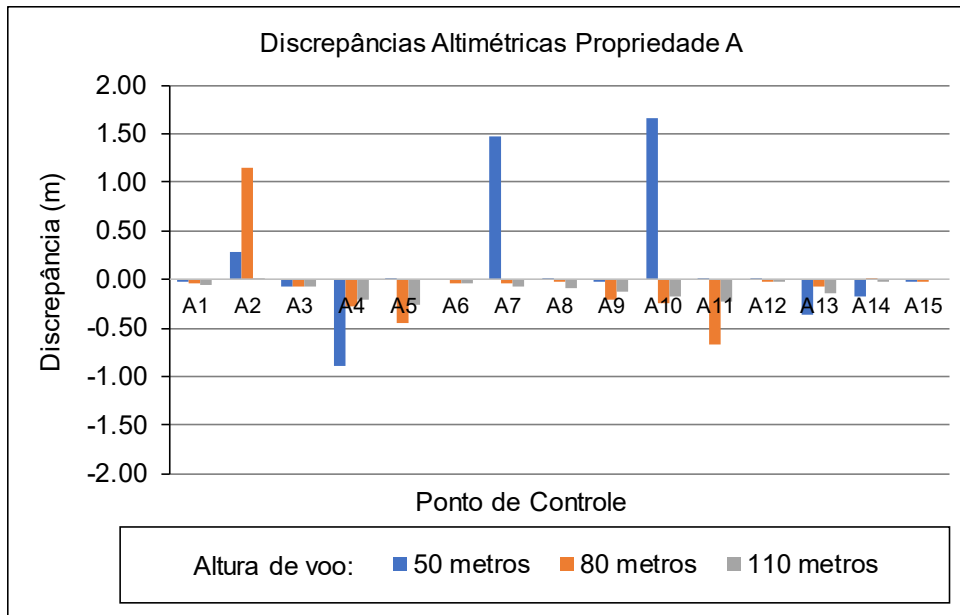
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 - Discrepâncias planimétricas Propriedade A, para voo a 110 m.



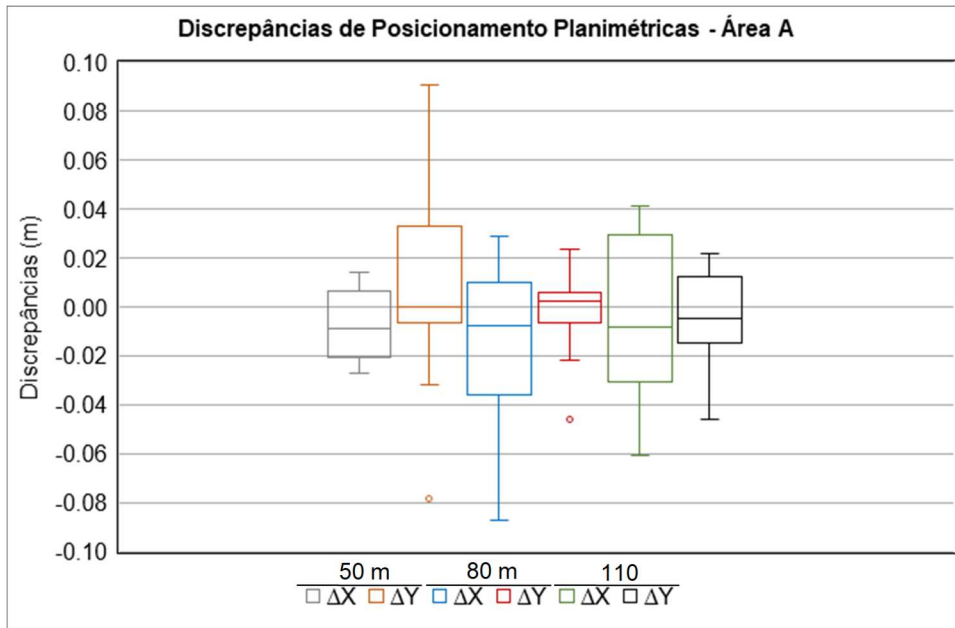
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 - Discrepâncias altimétricas Propriedade A, para voo a 110 m.



Fonte: Elaborado pela autora.

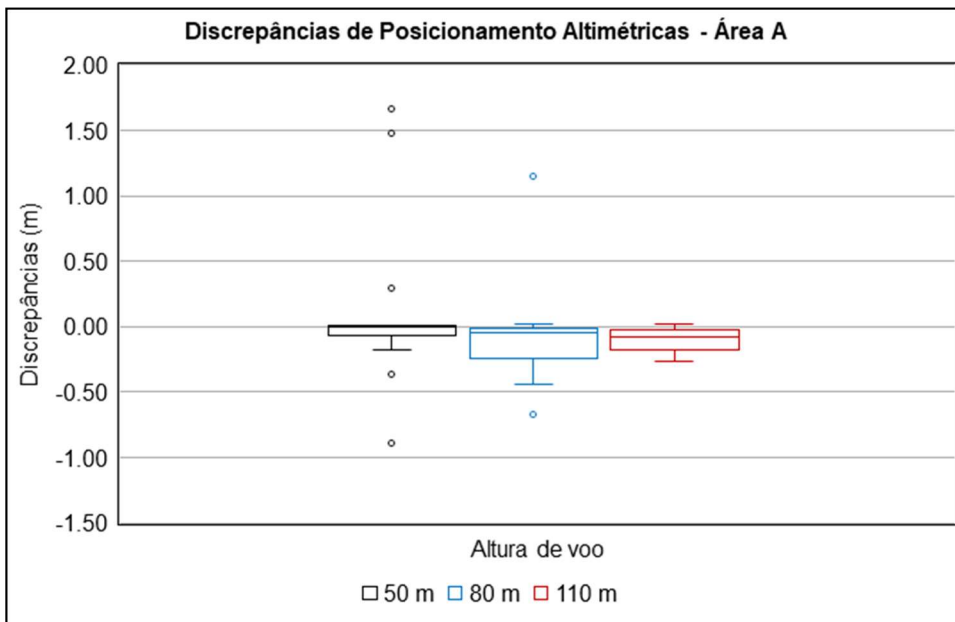
Figura 46- *Box-plot* das discrepâncias planimétricas para as três alturas de voo, Propriedade A.



Fonte: Elaborado pela autora.

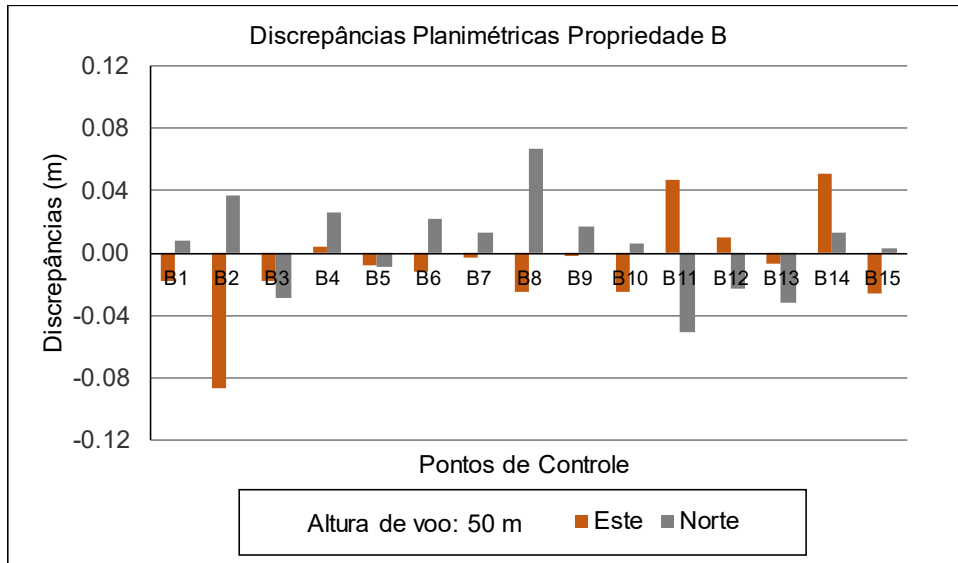
Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  
 $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude.

Figura 47- *Box-plot* das discrepâncias altimétricas para as três alturas de voo, Propriedade A.



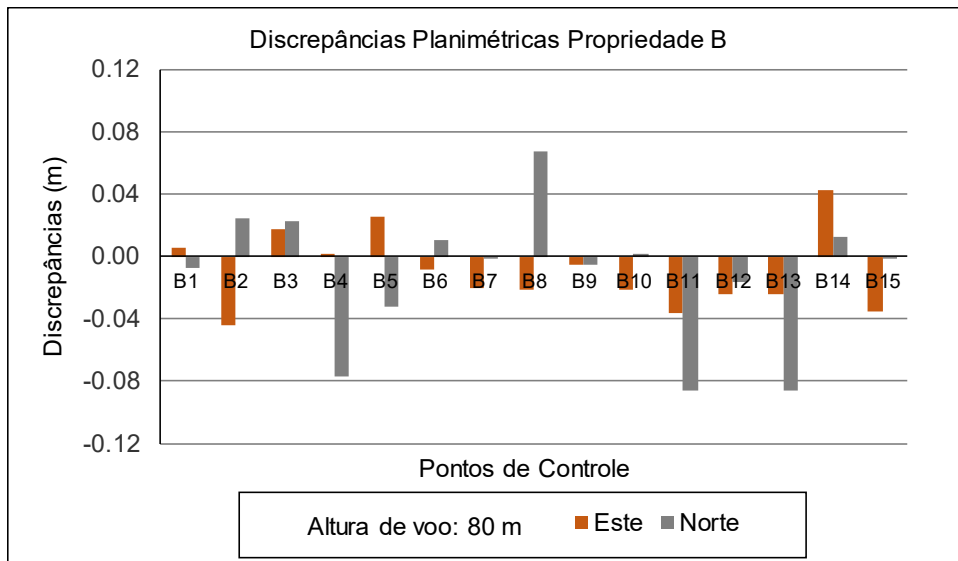
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 48 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 50 m.



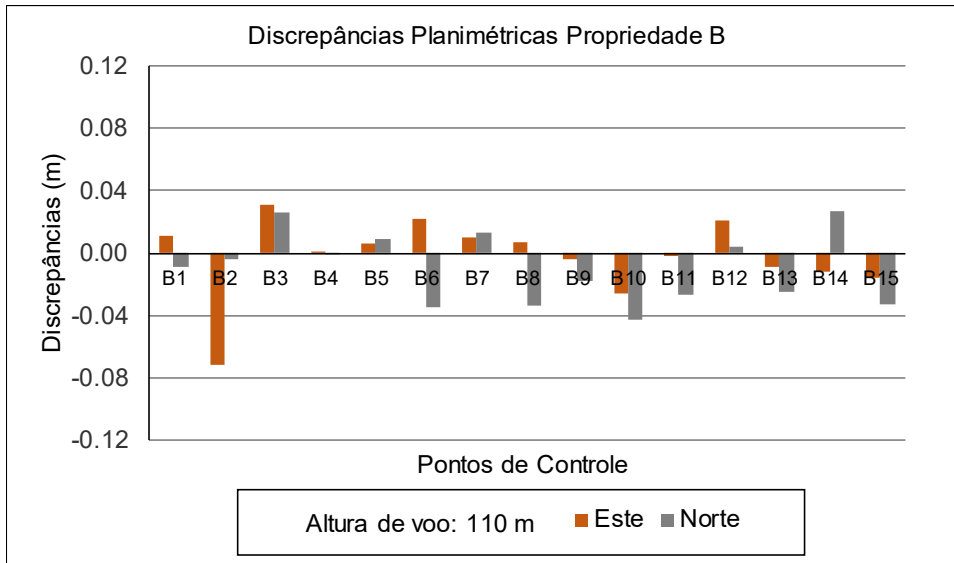
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 49 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 80 m.



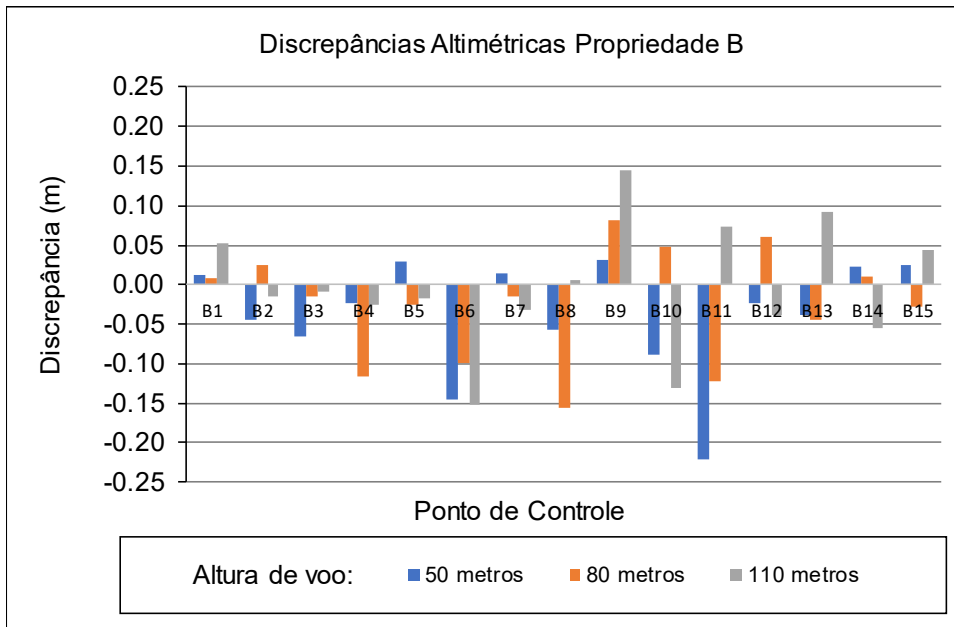
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50 - Discrepâncias planimétricas Propriedade B, para voo a 110 m.



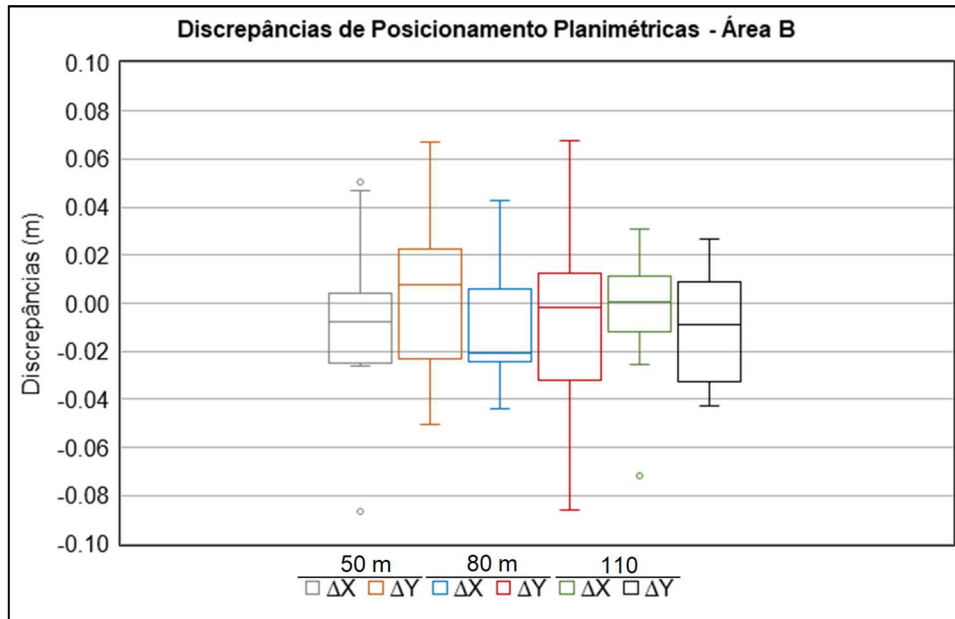
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 51 - Discrepâncias altimétricas Propriedade B, para voo a 110 m.



Fonte: Elaborado pela autora.

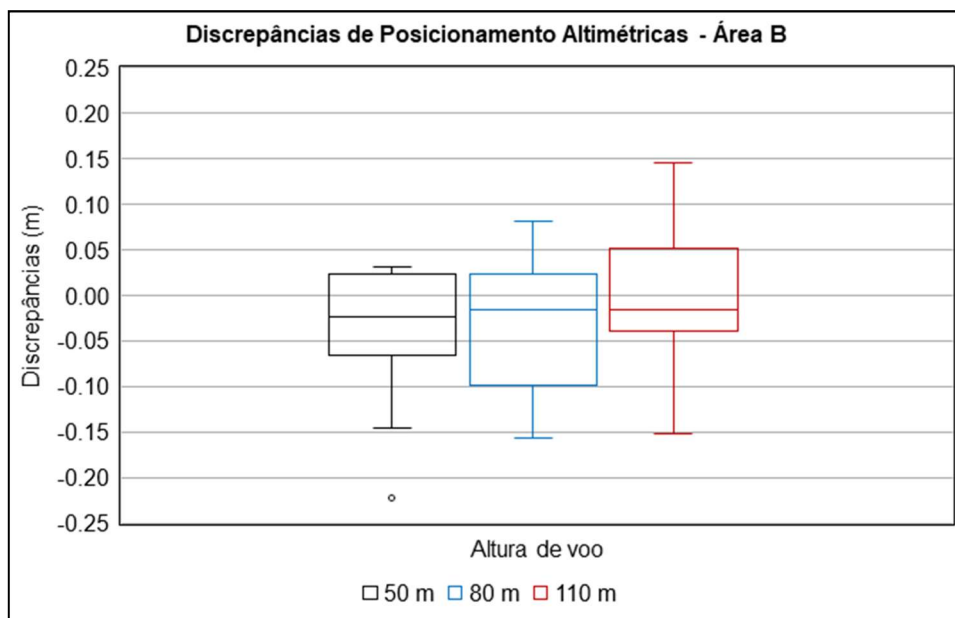
Figura 52 – *Box-plot* das discrepâncias planimétricas Propriedade B para as três alturas de voo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda:  $\Delta X$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de longitude;  $\Delta Y$  = Discrepância planimétrica em relação à direção do eixo das coordenadas de latitude.

Figura 53 – *Box-plot* das discrepâncias altimétricas Propriedade B para as três alturas de voo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à avaliação dos resultados por meio dos *Box-plots*, a inferência sobre a convergência de menores discrepâncias planimétricas apontarem para o voo realizado à altura de 110 m é reforçada considerando as duas coordenadas, longitude (eixo X) e a latitude (eixo Y), em ambas as áreas de estudo. Esse comportamento dos dados é evidenciado pela maior homogeneidade nas amplitudes e pela menor assimetria dos dados resultantes. Já ao analisar as posições altimétricas por essa ótica, embora na Propriedade A o voo de 50 m tenha apresentado menores amplitudes altimétricas, a maior homogeneidade e menor assimetria dos dados ocorreram para o voo de 110 m.

Já na Propriedade B, verificou-se um comportamento semelhante dos dados altimétricos, entretanto, menor assimetria dos dados foi observada no voo a 80 m de altura. Dessa forma, a convergência dos dados de discrepâncias mais homogêneas para altura de voo de 80 m e 110 m sugere que estas alturas de voos resultaram em menores discrepâncias gerais planialtimétricas, sendo, portanto, mais indicadas neste trabalho.

#### *5.2.1.2 Avaliação dos resultados obtidos com o uso de pontos de controle em relação ao PEC - Padrões de Exatidão Cartográfica estabelecidos pelo Decreto nº 89.817/84 ET-CQDG.*

A seguir, nas Tabelas 16 a 19, são apresentados os resultados obtidos por meio da avaliação da acurácia dos voos nas 3 alturas de voo com o uso de pontos de controle com o objetivo de classificar os produtos segundo o Padrão de Exatidão Cartográfico vigente no Brasil, especificamente, seguindo os critérios descritos no Decreto nº 89.817/ET-CQDG, de 1984.



Tabela 16 - Resumo estatístico da avaliação de acurácia realizada com o *GeoPEC* nos dados da Propriedade A.

Estatística descritiva PEC - Escala 1/1000						
Altura de voo (m)	50 m		80 m		110 m	
Coordenadas Planimétricas	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
Nº Pontos	15	15	15	15	15	15
Média	-0.008	0.0106	-0.0152	-0.0028	-0.006	-0.0055
Desvio Padrão	0.0139	0.0422	0.0311	0.0163	0.0322	0.0214
RMS	0.0151	0.0421	0.0337	0.0157	0.0316	0.0213

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: RMS = *Root Mean Square* (erro médio quadrático).

Tabela 17 - Classificação dos produtos resultantes da avaliação de acurácia realizada com o *GeoPEC* para os dados da Propriedade A.

Classificação conforme o Decreto 89.817/ET-CQDG					
Alt. Voo	Nº Pontos	EP (mm)	RMS	RMS<EP	Classe PEC-PCD
Planimetria - Ortomosaico					
50	15	0,170	0,0447	Sim	A
80	15	0,170	0.0373	Sim	A
110	15	0,170	0.0381	Sim	A
Altimetria - DEM					
50	15	0.50	0.6556	Não	S/Classificação
80	15	0.50	0.3809	Sim	D
110	15	0.1667	0.1321	Sim	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: RMS = *Root Mean Square* (erro médio quadrático); EP = Erro Padrão; PEC = Padrão de Exatidão Cartográfica e PCD = Produtos Cartográficos Digitais.

Tabela 18 - Resumo estatístico da avaliação de acurácia realizada com o *GeoPEC* nos dados da Propriedade B.

Estatística descritiva PEC - Escala 1/1000						
Altura de voo (m)	50 m		80 m		110 m	
Coordenadas Planimétricas	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
N° Pontos	15	15	15	15	15	15
Média	-0.0079	0.0047	-0.0099	-0.0115	-0.002	-0.0098
Desvio Padrão	0.0317	0.0301	0.0243	0.0429	0.0248	0.0227
RMS	0.0318	0.0293	0.0256	0.0431	0.0238	0.0239

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 19 - Classificação dos produtos resultante da avaliação de acurácia realizada com o *GeoPEC* para os dados da Propriedade B.

Classificação conforme o Decreto 89.817/ET-CQDG					
Alt. Voo	N° Pontos	EP (mm)	RMS	RMS<EP	Classe PEC-PCD
Planimetria - Ortomosaico					
50	15	0,170	0,0432	Sim	A
80	15	0,170	0.0503	Sim	A
110	15	0,170	0.0338	Sim	A
Altimetria - DEM					
50	15	0.1667	0.079	Sim	A
80	15	0.1667	0.073	Sim	A
110	15	0.1667	0.0758	Sim	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: RMS = *Root Mean Square* (erro médio quadrático); EP = Erro Padrão; PEC = Padrão de Exatidão Cartográfica e PCD = Produtos Cartográficos Digitais.

Pode-se observar que, conforme os dados obtidos na Propriedade A, em relação à planimetria, em todas as alturas de voos testados para a escala de referência 1:1000, os ortofotomosaicos se enquadraram na Classe "A" (Tabela 17). O mesmo não foi verificado em relação aos MDEs dessa área de estudo, já que, para o voo a 50 m de altura, o MDE não foi enquadrado em nenhuma das classes.

Na altura de voo de 80 m o MDE se enquadrou na Classe "D" e para a altura de voo de 110 m, Classe "A". Isso permite inferir que, de acordo com a classificação obtida nos produtos cartográficos nesta área de estudo, a altura mais indicada para a obtenção de produtos com maior exatidão cartográfica é a de 80 m e 110 m de altura.

Em análise semelhante realizada nos dados obtidos com os voos na Propriedade B, para os produtos ortofotomosaico e o MDE gerados nas 3 alturas de

voos avaliadas, a classe de enquadramento resultante foi a 'A'. Dessa forma, fazendo uma comparação entre as áreas de estudo, na primeira (Propriedade A), conforme se observa nas Tabelas 16 e 17, os produtos derivados da altimetria - DEM - não podem ser enquadrados na Classe "A" do PEC-PCD. Já na segunda área de estudo (Propriedade B), tanto os produtos de planimetria e altimetria, ortofotomosaico e DEM, respectivamente, obtiveram classificação enquadrada na Classe "A". Sendo assim, tendo em vista que o limite de erro máximo das discrepâncias admitidos para que um produto cartográfico possa ser classificado na Classe "A" é o mais restritivo, isso indica que se os produtos puderam ser classificados nesta classe. Isso é um indicativo de que os erros foram mínimos e as discrepâncias resultantes também o foram e por conseguinte, é a classe mais desejável de se alcançar nos produtos cartográficos.

Esses resultados são condizentes aos que Dalmolin (2018) obteve no trabalho em que avaliou duas alturas de voos, 80 m e 120 m, em uma área de 230 hectares e 30 pontos de controle. Este pesquisador obteve produtos que puderam ser classificados como Classe "A", segundo o PEC Brasileiro, já que precisão auferida foi centimétrica nos três eixos, X, Y e Z, confirmando a adaptabilidade do uso do RPA *DJI Phantom 4* para a obtenção de dados que resultam na produção de mapas de qualidade.

Outro caso que ilustra o êxito na obtenção de dados de alta qualidade utilizando RPAs, foi o trabalho realizado por Farias et al (2018). Neste, os autores realizaram a cobertura aerofotogramétrica de uma área de cerca de 74 ha, abrangendo uma zona urbana de onde coletaram, também, os 15 pontos de controle. Utilizaram-se do *software* GeoPEC como ferramenta de avaliação de "Acurácia Posicional (Decreto nº 89.817/84 ET-CQDG) - Planimetria", por meio do qual o ortofotomosaico obtido para a área de estudo foi classificado como acurado para a escala de 1:1000 e, dessa forma, se enquadrou na "Classe A" do PEC-PCD, conforme o Decreto nº. 89.817, de 20 de junho de 1984. Logo, implica dizer que os produtos cartográficos obtidos utilizando pontos de controle convergem para afirmar que são condizentes aos resultados de outros estudos apontados, tais como os de Dalmolin (2018) e Farias et al (2018).

### 5.3 ANÁLISE DAS DIFERENTES ALTURAS DE VOO

Na Tabela 20, podem ser verificadas as características gerais do levantamento de dados a campo. Foram realizados voos com alturas de 50 m, 80 m e 110 m em relação ao solo e conforme o ponto de partida da aeronave na referida área que fora sobrevoada e imageada.

Tabela 20 - Resumo das características relacionadas aos voos com diferentes alturas.

Área de estudo	Altura (m) do voo	n° Fotos	Tempo de voo (min)	Área (ha) de cobertura	GSD (cm/pixel)	
					Ortomosaico	MDE
A	50	1663	58	51,4	1,27	10,02
	80	669	34	54,0	1,97	15,7
	110	356	18	58,6	2,79	22,3
B	50	999	37	37,0	1,66	13,3
	80	419	17	40,7	2,45	19,6
	110	264	13	50,1	3,29	26,3

Fonte: Elaborado pela autora.

A escolha do nível de detalhamento (maior ou menor grau) vai depender do objetivo e das características específicas do estudo. Este nível está interligado com a resolução espacial.

Em relação à resolução espacial relacionada ao imageamento com RPAs, tem-se o conceito associado de GSD (*Ground Sampling Distance*), cuja definição remete à medida da distância, no solo, entre os centros de dois *pixels* próximos, conforme Santos et al (2017).

Sendo assim, quanto menor o GSD, maior o detalhamento e maior será a resolução espacial e, conseqüentemente, possibilitará uma maior definição do objeto ou alvo no solo. Portanto, observa-se que, em se tratando de levantamento aéreo com RPAs, a altura do voo está intimamente ligada com o GSD resultante. Ressalta-se que a altura de voo está relacionada ao ponto de decolagem/lançamento e a altura definida em um plano de voo pré-programado, quando da utilização de voos autônomos para realizar a aerofotogrametria de uma determinada área.

Por sua vez, a altitude do voo está correlacionada com a altura programada do voo e o nível médio dos mares da região, ou seja, o GPS embarcado na aeronave

utiliza o sistema global de navegação, o que resultará em um voo, aproximadamente, em um mesmo nível de altitude. Contudo, a altura pode ser diferente em determinados pontos devido às variações do terreno da área a ser imageada. Mesmo com altitudes constantes, o voo apresenta diferentes GDS. Isso devido ao relevo do terreno mapeado e pequenas variações no ângulo de captura de imagem da câmera. Os *softwares* de processamento de dados compensam essas variações e aplicam um GSD médio (resolução espacial) de todo o mapeamento, como pode ser observado nos resultados dos processamentos dos voos realizados nesta pesquisa (Tabela 21).

Tabela 21 - Alturas de voos e as respectivas escalas médias das imagens- Fotografias relacionadas a cada altura de voo.

Área de estudo	Altura (m) do voo	Distância focal (mm)	Escala média da foto	n° Fotos	Área (ha) de cobertura
A	50	8,8	5682	1663	51,4
	80	8,8	9091	669	54,0
	110	8,8	12500	356	58,6
B	50	8,8	5682	999	37,0
	80	8,8	9091	419	40,7
	110	8,8	12500	264	50,1

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos valores apresentados pelas diferentes alturas de voo quanto à acurácia na classificação das imagens, a Tabela 22 demonstra a posição de cada altura de voo no *ranking*, de acordo com a sua acurácia para a Propriedade A. Destaca-se que, na maioria das observações, a altura de 110 m foi a que apresentou maior acurácia na identificação dos alvos/feições naturais (vegetação, área úmida, campo, solo exposto e corpos d'água), tendo como escore uma média de 1,53. Na sequência, as alturas de 80 m e 50 m, respectivamente.

Tabela 22 - *Ranking* dos escores de acordo com as repetições para as diferentes alturas de voo obtido pela validação cruzada para a Propriedade A.

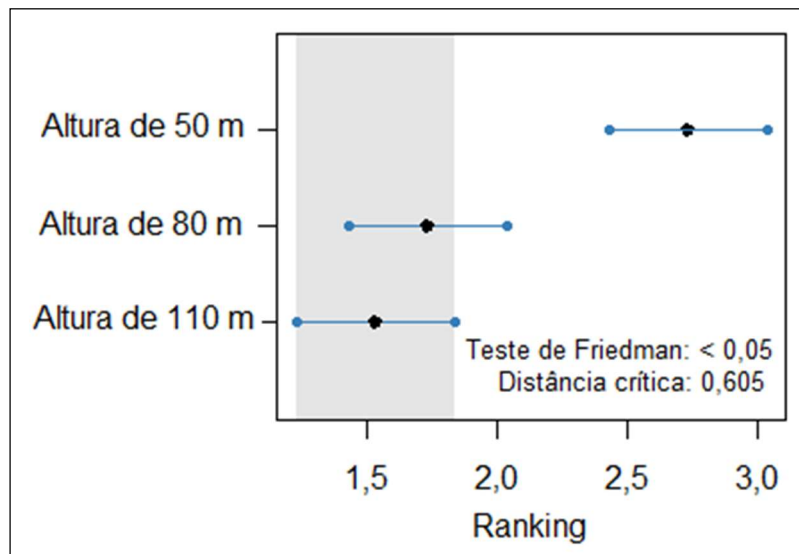
Repetições	Altura do voo (m)			Escores		
	50	80	110	50 m	80 m	110 m
1	0,9570	0,9582	0,9582	3	1	2
2	0,9570	0,9583	0,9566	2	1	3
3	0,9561	0,9575	0,9590	3	2	1
4	0,9563	0,9582	0,9584	3	2	1
5	0,9567	0,9578	0,9595	3	2	1
6	0,9569	0,9575	0,9586	3	2	1
7	0,9567	0,9581	0,9578	3	1	2
8	0,9577	0,9580	0,9593	3	2	1
9	0,9567	0,9579	0,9589	3	2	1
10	0,9568	0,9572	0,9579	3	2	1
11	0,9557	0,9578	0,9594	3	2	1
12	0,9572	0,9587	0,9594	3	2	1
13	0,9577	0,9576	0,9590	2	3	1
14	0,9568	0,9584	0,9572	3	1	2
15	0,9564	0,9579	0,9563	2	1	3
16	0,9569	0,9570	0,9589	3	2	1
17	0,9569	0,9577	0,9597	3	2	1
18	0,9575	0,9583	0,9583	3	2	1
19	0,9562	0,9587	0,9573	3	1	2
20	0,9573	0,9576	0,9606	3	2	1
21	0,9579	0,9582	0,9560	2	1	3
22	0,9575	0,9585	0,9584	3	1	2
23	0,9571	0,9577	0,9571	2	1	3
24	0,9569	0,9580	0,9569	3	1	2
25	0,9577	0,9577	0,9604	3	2	1
26	0,9578	0,9572	0,9581	2	3	1
27	0,9581	0,9579	0,9601	2	3	1
28	0,9564	0,9584	0,9529	2	1	3
29	0,9558	0,9580	0,9590	3	2	1
30	0,9574	0,9584	0,9613	3	2	1
Média	-	-	-	2,73	1,73	1,53

Fonte: Elaborado pela autora.

Embora a altura de 110 m tenha demonstrado maior acurácia na identificação de alvos/feições naturais situadas na superfície, as diferentes alturas de voo estudadas apresentaram valores próximos entre si, desse modo, fez-se necessário verificar se existe diferença significativa entre as alturas.

O teste de Friedman resultou em um valor significativo ao nível de significância de 5%, demonstrando que há diferença nos dados. Assim, efetuou-se o teste de Nemenyi, para verificar a existência de diferença estatística entre as alturas de voo (Figura 54).

Figura 54 - Teste estatístico de Friedman e Nemenyi para as diferentes alturas de voo ao nível de significância de 5% para a Propriedade A.



Fonte: Elaborado pela autora.

A distância crítica obtida pelo teste de Friedman e Nemenyi foi de 0,605, com base nos escores demonstrados na validação cruzada (Tabela 22). Assim, as alturas de voo de 110 m e de 80 m apresentaram uma distância de 0,20 (1,73 - 1,53), o que indica que não existe diferença significativa entre eles, pois o valor da distância entre as alturas é menor que a distância crítica, permitindo afirmar que não existe diferença estatisticamente na altura de voo de 110 m e de 80 m, quanto a sua acurácia na identificação de feições naturais. Entretanto, a altura de voo de 50 m demonstrou diferença significativa com as demais alturas testadas, apresentando menor acurácia.

Esse comportamento pode estar relacionado ao fato dessa altitude englobar maior nível de detalhamento, que, por vezes, dificulta o processo de classificação da imagem devido à maior variação da resposta espectral para uma mesma fisionomia.

A análise da eficácia na identificação alvo/feições naturais para a Propriedade B encontra-se exposta na Tabela 23, a qual demonstra a acurácia das diferentes alturas de voo e seus respectivos escores nas repetições. Assim, observou-se que a

altura de 80 m foi a que obteve maior precisão na identificação de feições na superfície terrestre.

Tabela 23 - *Ranking* dos escores de acordo com as repetições para as diferentes alturas de voo, obtido pela validação cruzada para a Propriedade B.

Repetições	Altura do voo (m)			Escores		
	50	80	110	50 m	80 m	110 m
1	0,9681	0,9750	0,9747	3	1	2
2	0,9668	0,9743	0,9727	3	1	2
3	0,9687	0,9739	0,9727	3	1	2
4	0,9681	0,9736	0,9761	3	2	1
5	0,9689	0,9736	0,9713	3	1	2
6	0,9685	0,9741	0,9736	3	1	2
7	0,9689	0,9741	0,9736	3	1	2
8	0,9694	0,9738	0,9683	2	1	3
9	0,9681	0,9735	0,9715	3	1	2
10	0,9679	0,9732	0,9731	3	1	2
11	0,9707	0,9732	0,9713	3	1	2
12	0,9698	0,9739	0,9726	3	1	2
13	0,9679	0,9739	0,9755	3	2	1
14	0,9685	0,9740	0,9719	3	1	2
15	0,9690	0,9739	0,9695	3	1	2
16	0,9693	0,9747	0,9736	3	1	2
17	0,9692	0,9740	0,9736	3	1	2
18	0,9687	0,9734	0,9743	3	2	1
19	0,9688	0,9731	0,9702	3	1	2
20	0,9667	0,9737	0,9740	3	2	1
21	0,9673	0,9742	0,9724	3	1	2
22	0,9679	0,9734	0,9735	3	2	1
23	0,9681	0,9745	0,9700	3	1	2
24	0,9692	0,9752	0,9733	3	1	2
25	0,9692	0,9741	0,9729	3	1	2
26	0,9677	0,9740	0,9744	3	2	1
27	0,9684	0,9741	0,9750	3	2	1
28	0,9684	0,9741	0,9737	3	1	2
29	0,9683	0,9741	0,9733	3	1	2
30	0,9664	0,9743	0,9745	3	2	1
Média	-	-	-	2,97	1,27	1,77

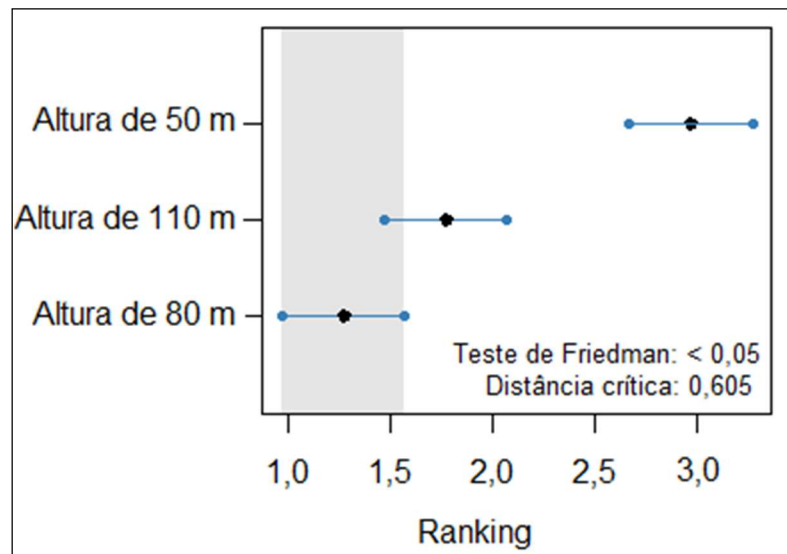
Fonte: Elaborado pela autora.

O teste de Friedman e Nemenyi (Figura 55) identificou que a acurácia apresentada pela altura de 80 m e de 110 m não difere significativamente, sendo assim, não há diferença, em termos de eficiência na classificação, no sobrevoo a 80



m quando comparado com a altura de 110 m, sendo que ambas alturas demonstram ser equivalentes para a observação da fisionomia, especialmente quando se refere à classificação de imagem, corroborando com os resultados encontrados no sobrevoo da Propriedade A.

Figura 55 - Teste estatístico de Friedman e Nemenyi para as diferentes alturas de voo ao nível de significância de 5% para a Propriedade B.



Fonte: Elaborado pela autora.

A altura de 50 m, do mesmo modo que na Propriedade A, apresentou menor acurácia que as demais alturas, diferindo significativamente. Em estudos de identificação de feições naturais presentes no terreno, a altura de 50 m apresenta menor eficiência relativa. Esses resultados demonstraram que o aumento do nível de detalhamento pode dificultar o processo de classificação devido à mistura espectral do *pixel* e maior variação da resposta espectral para um mesmo alvo.

Sendo assim, tendo em vista as análises feitas em relação às alturas de voos, pode-se indicar que os voos de 110 m de altura foram os que apresentaram os resultados mais promissores. Estatisticamente, ficou evidenciado que os resultados para os voos de 80 m e 110 m de altura não deferiram. Porém, levando-se em conta outros aspectos técnicos, como, por exemplo, a maior área de cobertura em um único voo, autonomia de voo, número de fotos capturadas, tempo de processamento dos dados no *software*, é possível recomendar que os usuários realizem voos a altura de

110 m, evidentemente, observando todas as questões pontuais e locais de realização dos mesmos, além é claro, dos objetivos que devem ser alcançados.

#### 5.4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE IMAGENS DE DIFERENTES FONTES

Em função de que existem muitos estudos sobre o uso de imagens por satélite e visando a subsidiar processos que envolvam o diagnóstico ambiental, foi realizada comparação de feições entre imagens originadas de diferentes fontes, sendo elas RPA, com diferentes alturas de voos e a imagem de satélite do Google Earth. O resultado da identificação das feições apresenta-se na Tabela 24. A espacialização das feições identificadas pode ser localizada nas Figuras 56 e 57.

A partir das análises das feições, obteve-se uma matriz resultante do cruzamento dos critérios previamente definidos com as observações em cada uma das imagens. Pode-se verificar a sua correspondência observada ou não nas matrizes e os parâmetros de análise das feições (Tabela 24).

Tabela 24 - Matriz comparativa de identificação das feições nas áreas de estudo.

Legenda da Imagem	Fonte da Imagem	Altura de voo (m)	Pixel (cm)	Feições/fisionomias Propriedade A										
				F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	
A	RPA	50	1,27	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
B	RPA	80	1,97	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
C	RPA	110	2,79	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
D	<i>Google Earth</i>	-	3000	P	P	A	P	P	A	A	P	A	P	

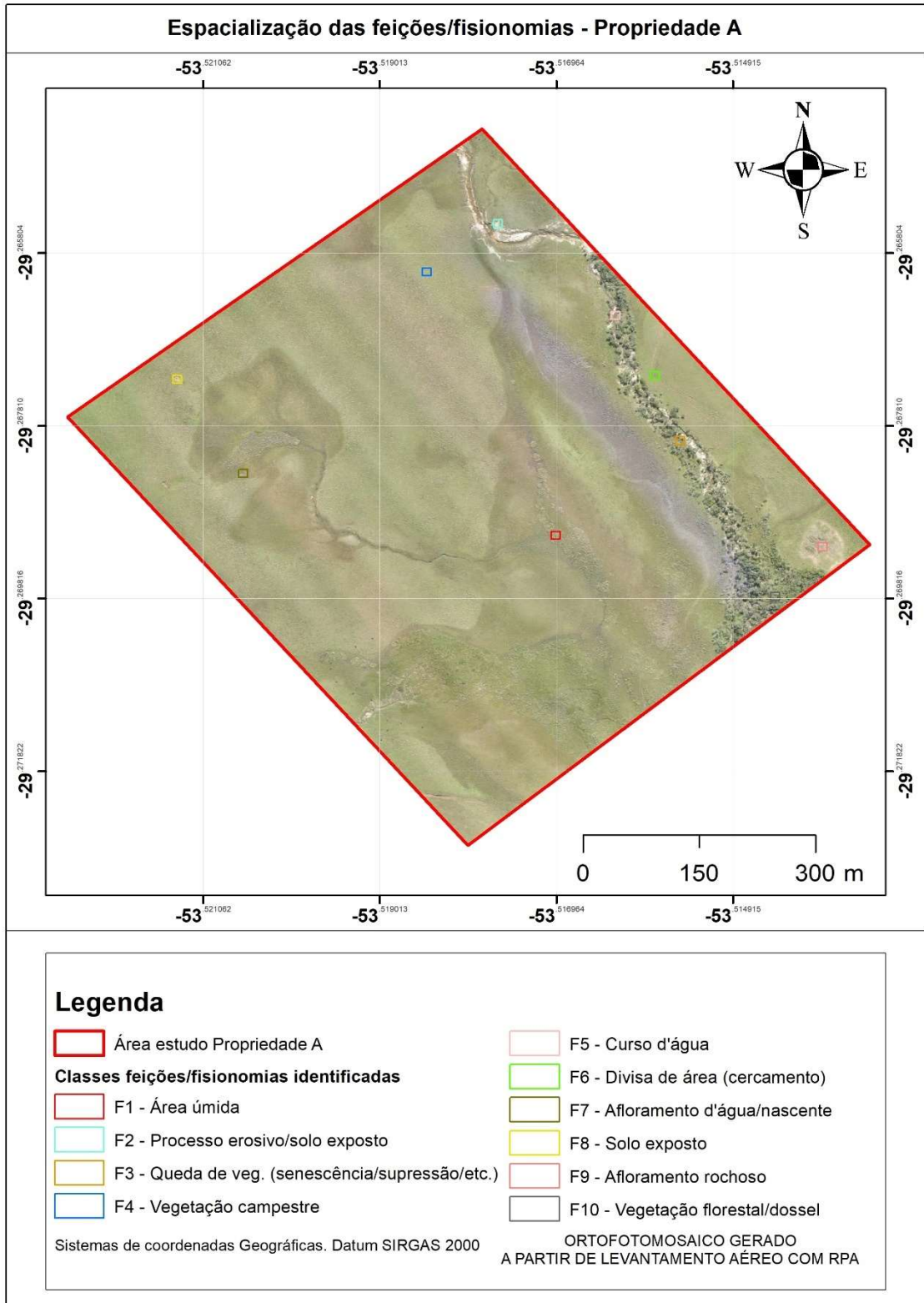
  

Legenda da Imagem	Fonte da Imagem	Altura de voo (m)	Pixel (cm)	Feições/fisionomias Propriedade B										
				F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	
A	RPA	50	1,66	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
B	RPA	80	2,45	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
C	RPA	110	3,29	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
D	<i>Google Earth</i>	-	3000	A	A	A	P	A	P	A	A	A	P	

Fonte: Elaborado pela autora.

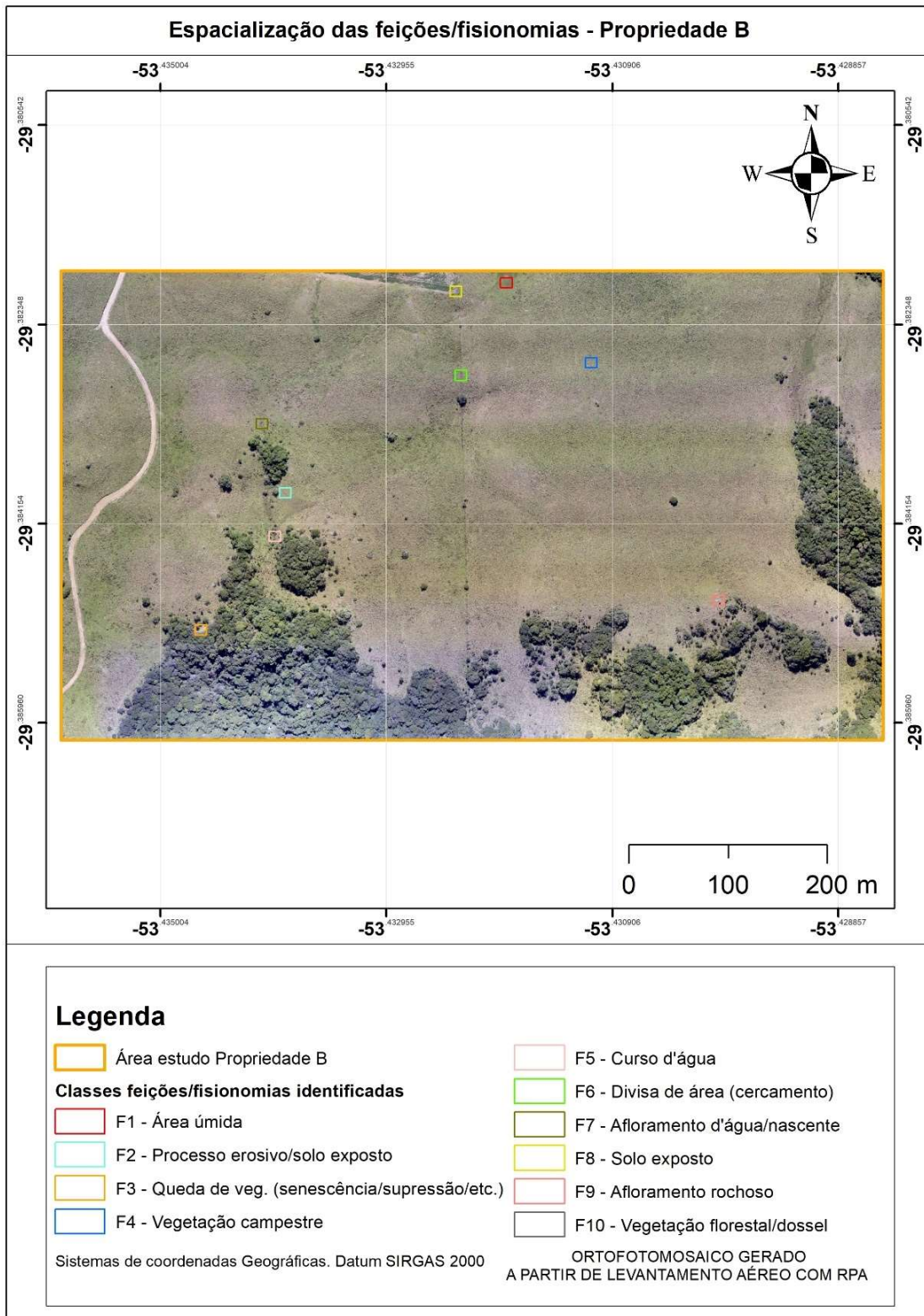
Legenda: P: presente (possível identificação), A: ausente (identificação dificultada), F1: área úmida, F2: processo erosivo/solo exposto, F3: queda de vegetação (senescência/fenômenos naturais/supressão), F4: vegetação campestre, F5: curso d'água, F6: divisa de área (cercamento), F7: afloramento d'água/nascente, F8: solo exposto, F9: afloramento rochoso e F10: Dossel florestal.

Figura 56 - Espacialização das feições identificadas na Propriedade A.



Fonte: Elaborado pela autora.

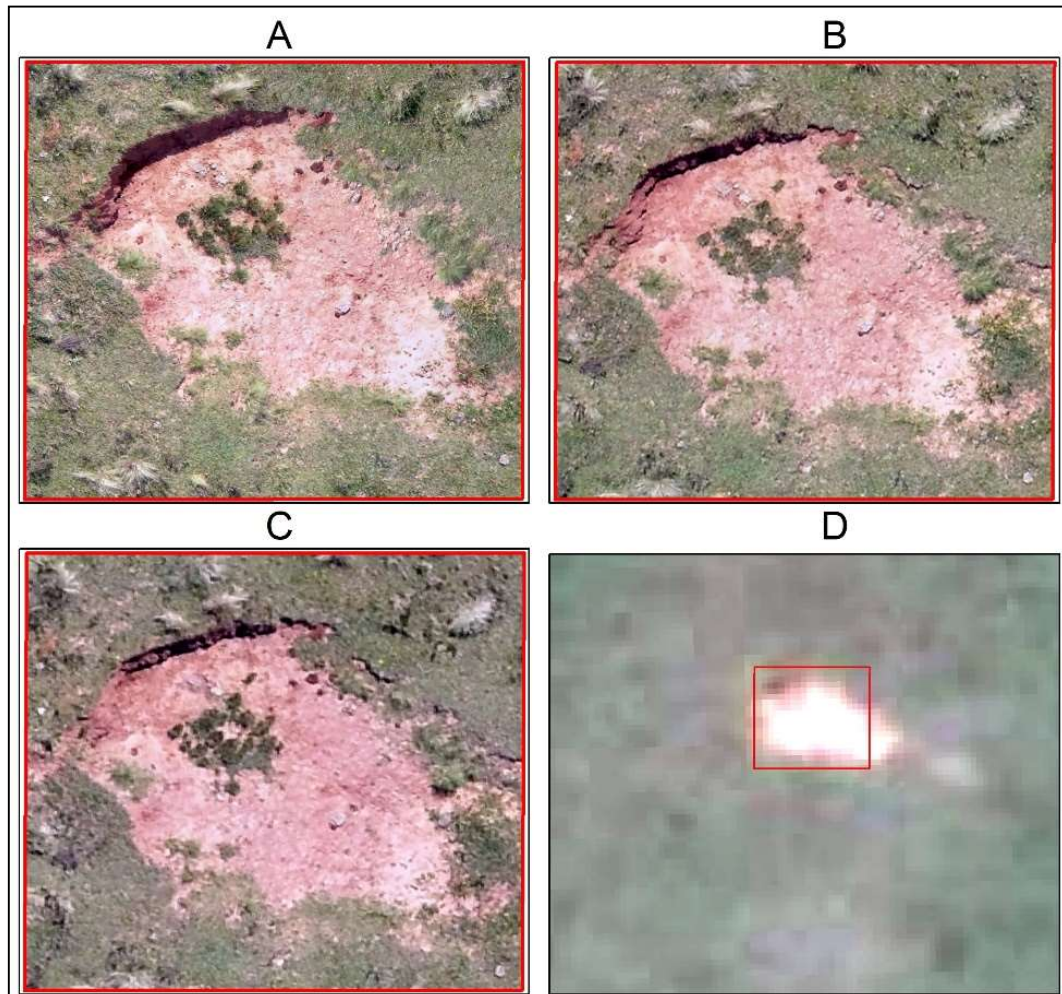
Figura 57- Espacialização das feições identificadas na Propriedade B.



Fonte: Elaborado pela autora.

Observando os resultados, pode-se elencar alguns aspectos relevantes que podem ser de grande utilidade e subsidiar os estudos que envolvam análise ambiental, por exemplo, da Figura 58, que apresenta região com solo exposto. Demais imagens comparativas das feições observadas encontram-se no Apêndice III.

Figura 58 - Amostra F8 (solo exposto) presente na área de estudo (Propriedade A).



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

Verificou-se que, para a maioria das feições, sua identificação foi possível nas imagens provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado por meio de RPA. Como contraponto, tem-se que, para a maioria desses mesmos atributos, a identificação foi impossibilitada na imagem de satélite.

Preliminarmente, esses resultados já eram esperados, tendo em vista o alto nível de detalhamento que se obtém por meio das imagens de RPA. De fato, como foi

apresentado anteriormente, a resolução espacial resultante dos levantamentos com RPA dependem diretamente da altura dos voos.

Devido às limitações técnicas relacionadas às alturas de voos, se o sensor embarcado da aeronave proporcionar imagens de alta qualidade há uma redução da possibilidade de obter imagens pouco detalhadas. Ou seja, ter-se-á imagens de qualidade de definição superior às imagens obtidas por satélite. Dessa forma, nesse estudo, obtiveram-se *pixels* que variaram entre 1,27 cm a 3,29 cm, o que indica a possibilidade de obtenção de alto detalhamento da área como um todo.

Além disso, para a obtenção de detalhes como a observação de diferentes tipologias vegetais, assim como das correspondentes APPs, a presença de nascentes, afloramentos d'água e áreas úmidas, os resultados encontrados no presente estudo indicam que as imagens oriundas de RPA são mais indicadas, quando comparadas às imagens de satélite englobadas no estudo. O que não ocorre nas de satélite, com algumas exceções apenas.

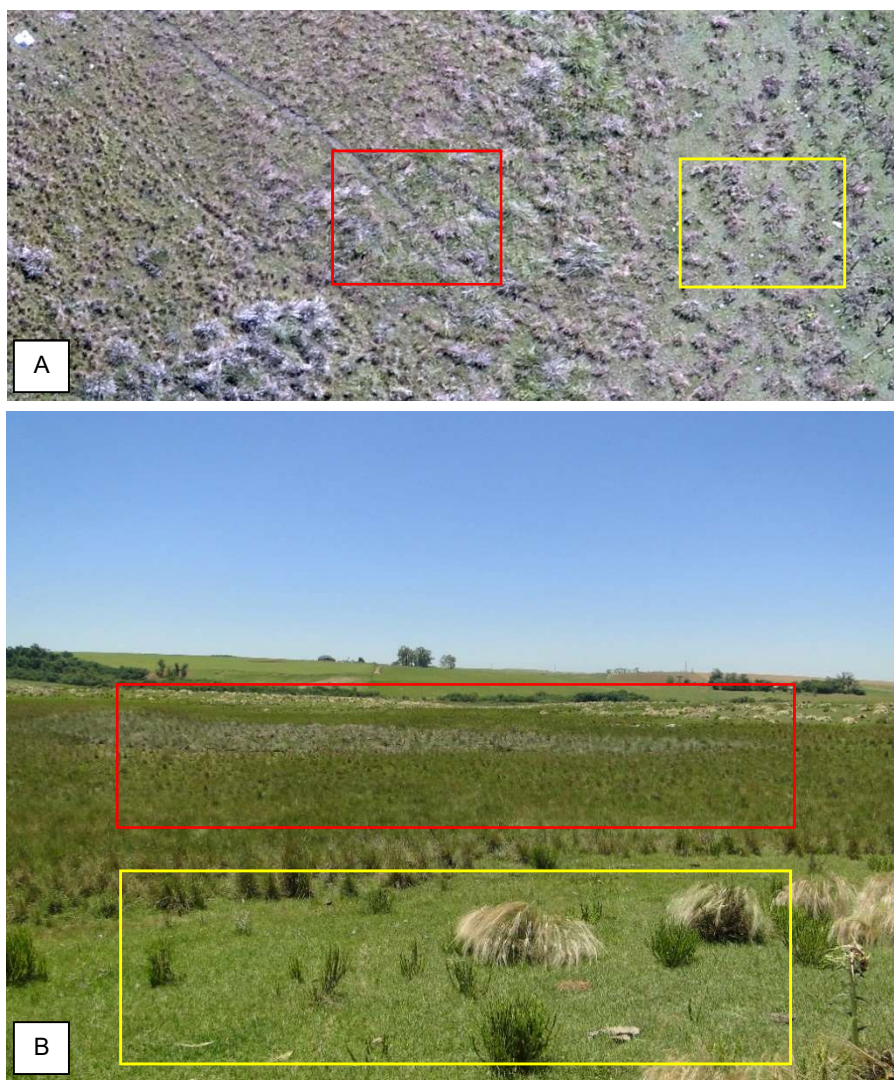
Diante disso, pode-se inferir que, embora se tenha vários aspectos técnicos relacionados ao uso de RPAs para levantamento aerofotogramétrico, os resultados que podem ser obtidos por meio desses são cada vez mais requeridos para subsidiar estudos e análises ambientais em diversas áreas ambientais.

## 5.5 ASPECTOS RELACIONADOS À VEGETAÇÃO NAS AMOSTRAS

A análise a seguir corresponde à descrição de exemplos de amostras referentes aos aspectos da vegetação. Nestes, podem ser observadas as imagens obtidas pelo RPA, assim como fotografias capturadas com câmera fotográfica convencional.

Na amostra da Figura 59, a flora apresentada nas imagens é tipicamente campestre com espécies rasteiras e cespitosas (espécies campestres que formam touceiras). Também apresenta espécies cespitosas adaptadas a solos hidromórficos (indicação em vermelho).

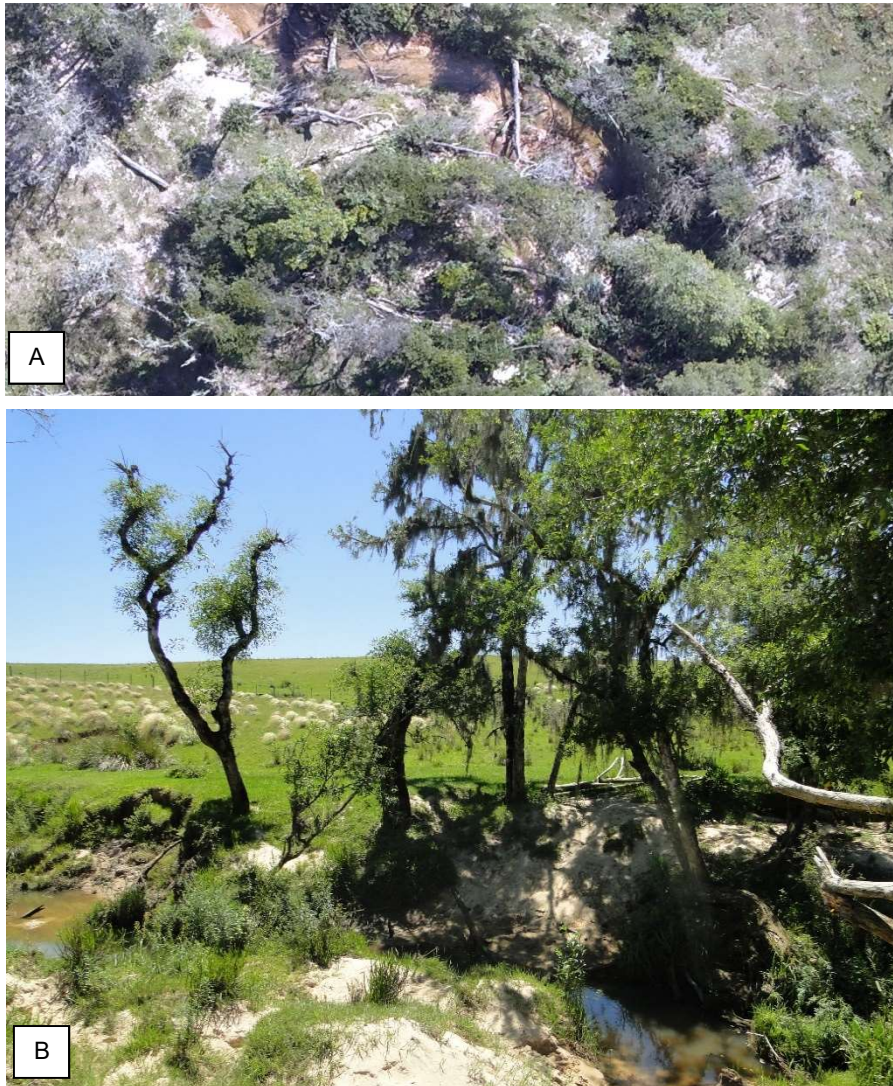
Figura 59 - A) Amostra (Área A2), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Na imagem da Figura 60, é possível observar a presença de vegetação ciliar composta por espécies arbóreas e arbustivas. A maioria dos indivíduos arbóreos, muito provavelmente, pertence a espécies pioneiras.

Figura 60 - A) Amostra (Área A7), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.

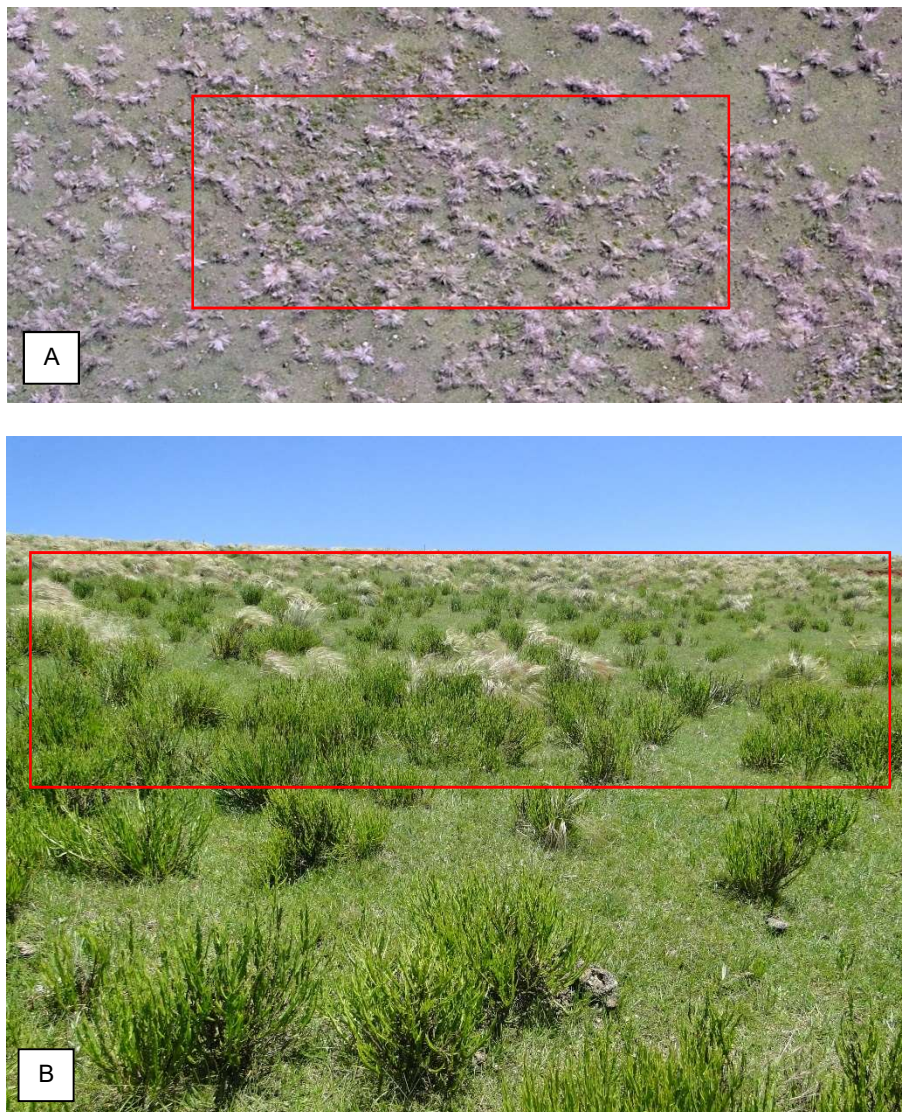


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Nas Figuras 61 e 62, observa-se a predominância de espécies rasteiras com indivíduos isolados de espécies cespitosas na Propriedade A e B.

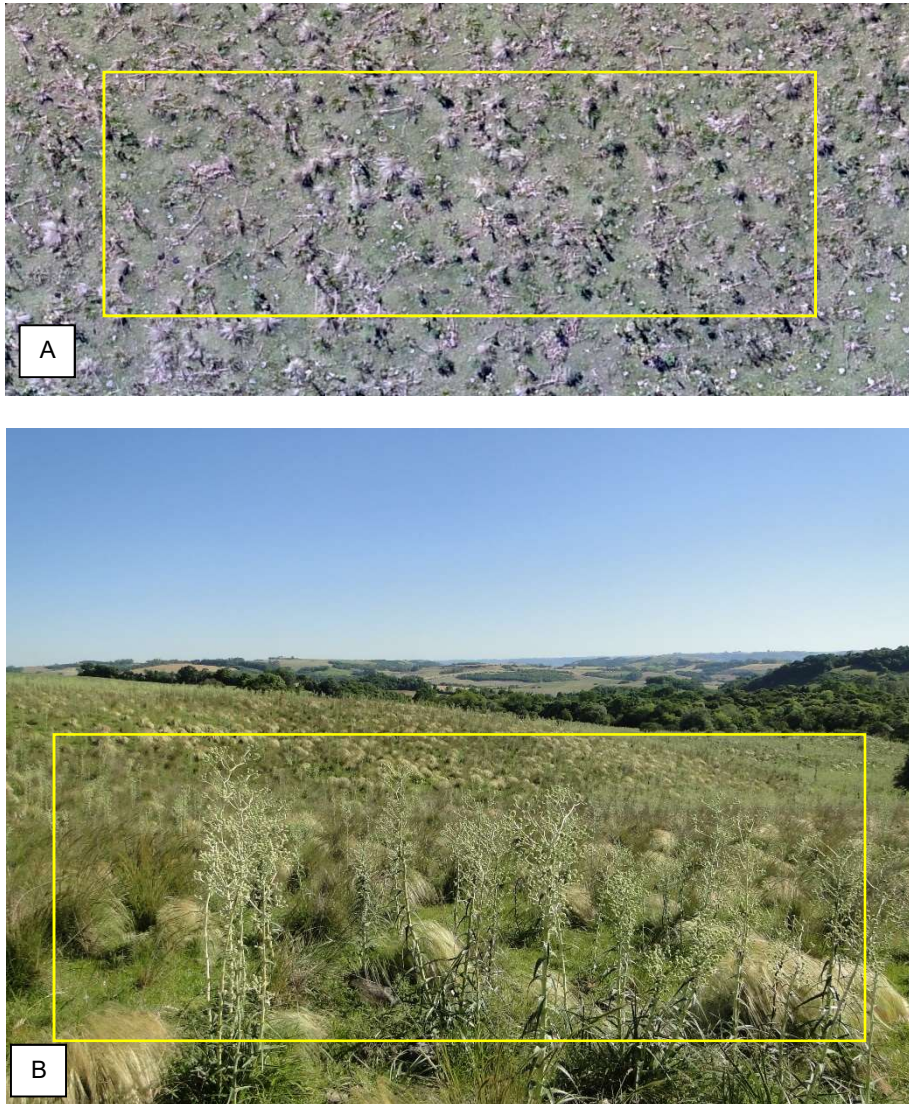


Figura 61 - A) Amostra (Área A3), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 62 - A) amostra (Área B1), RPA altura de voo de 110 m. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

A forma de obtenção de produtos por meio da aerofotogrametria com os RPAs depende dos objetivos, ou, até mesmo, do nível de exigência e detalhamento que o trabalho ou pesquisa requer.

Nesse contexto, pode-se fazer o uso das imagens gerais da área, por meio do ortofotomosaico, ou da utilização de fotografias selecionadas de pontos específicos da área sobrevoada e imageada pela aeronave (Figuras 63 a 65). Ou seja, além das informações que podem ser espacializadas em uma área como um todo, a análise de variáveis ambientais, muitas vezes, depende de um detalhamento específico de determinados pontos que são cruciais para uma tomada de decisão em um processo de estudo que envolvam, por exemplo, diagnóstico ambiental.

As Figuras 63 a 65 apresentam a comparação de observações em fotografias aéreas do RPA e de fotografias ao nível do solo nas áreas de estudo.

É possível notar o processo de conexão entre um pequeno fragmento florestal com um fragmento maior, fator de suma importância para a conservação da biodiversidade local. A vegetação campestre apresenta muitos indivíduos de espécies cespitosas e alguns indivíduos arbóreos solitários, o que é característico do processo de avanço da vegetação florestal sobre o campo (Figura 63).

Na Figura 64, observa-se solo exposto de coloração clara e, provavelmente, de textura arenosa margeando um curso hídrico. A vegetação circundante é composta por espécies campestres rasteiras e algumas cespitosas.

Nota-se a presença da mata ciliar com espécies arbóreas e arvoretas margeando o curso hídrico. Também se observa a transição da mata ciliar para vegetação campestre, composta, predominantemente, por espécies rasteiras e processos erosivos (Figura 65).

Figura 63 - A) Fotografia aérea n° 83, RPA (110 m) com detalhe dos fragmentos florestais. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade B.



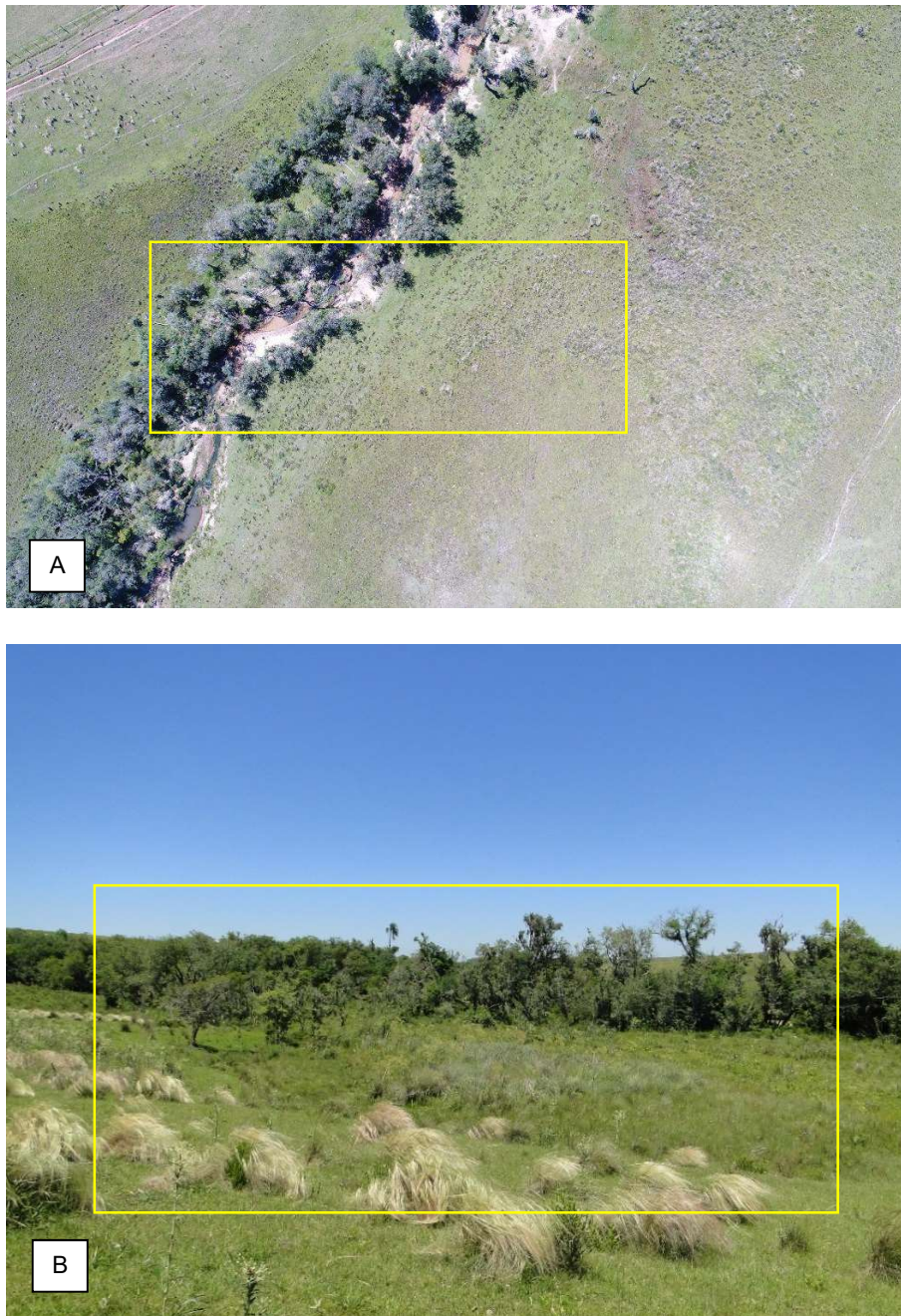
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 64 - A) Fotografia aérea n° 193, RPA (110 m) com detalhe do curso hídrico. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 65 - Fotografia aérea nº 185, RPA (110 m) com detalhe do curso hídrico e mata ciliar. B) Fotografia ao nível do solo, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Observa-se que a utilização de fotografias aéreas de pontos específicos pode auxiliar na visualização de uma área considerável, e com uma riqueza de detalhes que, possivelmente, as fotografias coletadas de modo tradicional, ou seja, ao nível do solo pelo observador, não apresentaria. Embora, evidentemente, na maioria das vezes, as fotografias ao nível do solo possibilitem ainda maiores detalhes, mas basicamente, mais pontuais.

Dessa forma, para uma avaliação onde se requer a visualização de maiores áreas ou até mesmo de uma região, as fotografias aéreas acrescentam valor às análises. Possibilitam, ainda, estimar a área (m<sup>2</sup>) na qual se insere a fisionomia a ser estudada, distinguir focos com solo exposto, locais onde estejam ocorrendo erosão e áreas úmidas. Também é possível inferir sobre a vegetação na área, possibilitando a distinção entre diferentes fisionomias vegetais, bem como sobre o estágio de regeneração natural no qual se encontra a vegetação de interesse.

No que se refere a locais de interesse ecológico para recuperação, pode-se identificar a ausência de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP e sensíveis a processos de degradação. Desta forma, é possível direcionar esforços para os mesmos, como em casos onde haja a necessidade de recuperação dessas áreas.





## 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados das análises realizadas referentes aos objetivos desta pesquisa, pode-se obter as conclusões que seguem.

Em relação às questões técnicas de voo, tais como aquelas relacionadas à autonomia e área de cobertura do voo, pode-se verificar que estas necessitam de uma atenção especial durante a fase de planejamento dos voos. Isso porque o tamanho da área a ser imageada, assim como as condições de acessibilidade à área, devem ser considerados para a escolha da melhor estratégia de execução para levantamento aéreo com utilização de RPA. Foi possível concluir que voos de menor altura relativa ao nível do solo possibilitam gerar informações e produtos com alto grau de detalhamento. Entretanto, ao realizar uma análise técnico-econômica, no que tange a autonomia de voo, tempo de processamento no *software* e demais questões inerentes, é possível indicar que as alturas de voo de 80 m e 110 m apresentaram melhores aspectos técnicos, em um contexto geral.

Da análise dos resultados com ou sem pontos de controle, pode-se afirmar que a utilização destes pontos no levantamento e, posteriormente, no processamento das imagens, possibilita a obtenção de produtos (ortofotomosaico e MDE) com maior grau de acurácia. Sendo assim, para estudos que requerem um maior refinamento desses produtos, torna-se imperativo o uso de pontos de controle no processo caso necessário.

Considerando a avaliação estatística, pode-se concluir que as alturas de voo de 80 m e 110 m são mais acuradas para a identificação de feições naturais, demonstrando, ainda, que ambas não diferem significativamente entre si.

Para a identificação de feições naturais presentes no terreno, a altura de 50 m apresenta menor eficiência relativa. Ou seja, os resultados obtidos no contexto relacionado à classificação de imagens de RPAs indicaram que o aumento do nível de detalhamento pode dificultar o processo de classificação devido à mistura espectral do *pixel* e maior variação da resposta espectral para um mesmo alvo.

Sendo assim, tendo em vista os resultados obtidos em relação às alturas de voos, pode-se concluir que os voos de 110 m de altura foram os que apresentaram os melhores aspectos técnico-econômicos com objetivo de apoio à gestão ambiental.



## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial - RBAC-E nº 94, de 02 de maio de 2017**. Dispõe sobre os requisitos gerais de competência da ANAC para aeronaves não tripuladas. Requisitos Gerais Para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. Brasília, DF: ANAC, 2017. Disponível em: <[https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf)> Acesso em: 28 Jan. 2018.
- ANDERSON, K., GASTON, K.J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Front. Ecol. Environ.** 11, p. 138 -146. 2013.
- ARIZA-LÓPEZ, F. J.; ATKINSON, A. Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. **Journal of surveying Engineering**, 134, p. 45–54. 2008.
- BERRA, E.F.; GAULTON, R.; BARR, S. Use of a digital camera onboard a UAV to monitor spring phenology at individual tree level. In: **2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**. IEEE. p. 3496–3499. 2016.
- BICHO, C. P.; DA SILVA, L. S.; et al. Projeto  $\mu$ RPA-uma parceria DNPM/UNB para desenvolvimento e uso de  $\mu$ RPAs na fiscalização de atividades minerais não tituladas. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais...** 2013.
- BORGES, B. D. **Uma nova perspectiva para entender a conectividade funcional integrando paisagem e fenologia**. 2016. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/143954/borges\\_bd\\_me\\_rcla.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/143954/borges_bd_me_rcla.pdf?sequence=3&isAllowed=y)> Acesso em: 30 maio 2018.
- BOSAK, K. **Secrets of UAV photomapping**. Technical report, Pteryx UAV by Trigger Composites, 2012.
- BRASIL. Exército. Diretoria de Serviço Geográfico. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET- -CQDG)**. 1. ed. Brasília, DF, 2016. 94 p. Disponível em: <[http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET\\_CQDG\\_1a\\_edicao\\_2016.pdf](http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf)>. Acesso em: 05 Jun. 2019.
- BRASIL. Exército. Diretoria de Serviço Geográfico. Separata ao Boletim do Exército n/ 44, de 1º de novembro de 2018-3. Brasília, DF, 2018. 58 p. Disponível em: <<http://www.sgex.eb.mil.br/sistemas/be/separatas.php>> Acesso em: 12 Fev. 2019.
- BRASIL, G. G. **Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (RPAs)**. 2012. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL. **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 de jun. 1984.

BROWN, T.B.; HULTINE, K.R.; et al. Using phenocams to monitor our changing earth: toward a global phenocam network. **Front. Ecol. Environ.** 14, 84 - 93. 2016.

BURKART, A.; HECHT, V.L.; KRASKA, T; RASCHER, U. Phenological analysis of unmanned aerial vehicle based time series of barley imagery with high temporal resolution. **Precision Agriculture**, 19(1), p.134-146. 2018.

CONYERS, Diana; HILLS, Peter. **An introduction to development planning in the third world**. New York: John Wiley & Sons (Public Administration in Developing Countries). 1984.

CRUZ, Jussara Cabral; NUMMER, Andrea Valli; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; SILVA, José Luiz Silvério da; ARAUJO, Talles Augusto  
Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, p. 223 – 233. 2013.

CRUZ, Jussara Cabral; NUMMER, Andrea Valli; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; SILVA, José Luiz Silvério da; ARAUJO, Talles Augusto; PADILHA, Damáris Gonçalves; SILVEIRA, Geraldo Lopes da. Avaliação Ambiental Integrada do Meio Físico nas Bacias do Alto e Médio Rio Uruguai: Análise Desagregada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.19, p. 237 – 249, 2014.

CUNHA, Alexandre Aquino da et al. Controle de Qualidade Posicional de Ortofoto Gerada Pelo RPA (Remotely Piloted Aircraft) Phantom 3 com Receptor GNSS Embarcado. **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multitarifário - COBRAC**. 2016.

D'OLEIRE-OLTMANN, S.; MARZOLFF, I.; PETER, K.D.; RIES, J.B. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. **Remote Sensing**, 4(11), p.3390-3416. 2012.

DALBELO, I. Apresentação na Conferência MundoGeo Connect Latin america 2013. **Conference and Trade Fair for Geomatics and Geospatial Solutions**. São Pulo, Brasil, 2013.

DALMOLIN, Jorge Augusto. **Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos**. 2018. 92p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, SC, 2018.

DANDOIS, J. P.; ELLIS, E.C. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. **Remote Sens. Environ.** 136, 259 - 276. 2013.

DEMSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine Learning Research**. 7, 1 - 30, 2006.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Versão 2.1.3. Brasília, 253 p. 2011.

ESCOBAR, Marco Lunardi. WERLE, Hugo José Sheuer. **A gestão ambiental municipalizada: análise da organização para licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul e em Mato Grosso**. Universidade Federal do Mato Grosso. 2010.

FACELI, K. et al. **Inteligência Artificial: Uma abordagem de Aprendizado de Máquina**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FALORCA, Jorge G. F. LANZINHA, João C. G.; A utilização de drones como ferramenta tecnológica emergente para a inspeção técnica da envolvente de edifícios – Revisão e ensaio de campo, in proceedings of **Congresso Construção 2018** – Reabilitar e construir de forma sustentável, Livro de Atas p 1016-1026, Livro de Resumos pág. 162, FEUP, Porto 21, 22 ,23. Nov. 2018.

FAN, X.; KAWAMURA, K.; XUAN, T. D.; YUBA, N.; LIM, J.; YOSHITOSHI, R.; MINH, T. N; KUROKAWA, Y.; OBITSU, T. Low-cost visible and near-infrared camera on an unmanned aerial vehicle for assessing the herbage biomass and leaf area index in an Italian ryegrass field. **Grassland Science**, v. 64, n. 2, p. 145-150, 2018.

FETTER, D., PUTZKE, J., MORAES, J. A. R., & FORSTER, J. Avaliação por meio de monitoramento aéreo de espécie de árvore biologicamente invasora–Caso da proliferação da *Hovenia dulcis* Thunb junto ao Cinturão Verde da cidade de Santa Cruz do Sul/RS. **Revista Espacios** Vol. 36 (Nº 22), 2015.

FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. **Crítérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais**. 2003. 258 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FRIEDRICH, M. **Influência da precipitação no uso do Método Silveira para bacias hidrográficas entre 800 a 1000 km<sup>2</sup>**. 2017. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

FRIGERI, J. V. **Avaliação de metodologia para inventário de uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.) utilizando imagens de veículos aéreos não tripulados (VANT) na UTFPR - campus Dois Vizinhos**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

GAGO, J. et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 153, p. 9–19, 2015.

GALO, M.; CAMARGO, P. de O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 1994. p. 41-48.

GALVÃO, Gustavo Mátar. **Acurácia da mosaicação gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. 2014. 39p. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Agronomia). Universidade Estadual Paulista - UNESP – Campus Jaboticabal, SP, 2014.

GATZIOLIS, D.; LIENARD, J.F.; VOGS, A.; STRIGUL, N.S. 3D tree dimensionality assessment using photogrammetry and small unmanned aerial vehicles. **PLoS One** **10**, e0137765. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0137765>> Acesso em: 16 Maio. 2018

GOLDSCHMIDT, R. R. **Inteligência Computacional**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Superior de Tecnologia - Rio. 143 p. 2010

GONÇALVES, J. M. S.; DOS SANTOS, N. M. Análise das classificações do relevo para o Rio Grande do Sul. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 13, n. 1. 1985.

GRAÇA, N. L. S. D. S., MITISHITA, E. A; GONÇALVES, J. E. **Use of UAV platform as an autonomous tool for estimating expansion on invaded agricultural land**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, n. 3, p. 509-519, 2017.

GRANATYR, J. **Modelo afetivo de reputação utilizando personalidade e emoção**. 2017. 157 p. Tese (Doutorado em Inteligência artificial) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, 2017.

GRANSHAW, S. I. Photogrammetric terminology: third edition. **The Photogrammetric Record**, v. 31, n. 154, p. 210–252, June 2016. DOI: 10.1111/phor.12146.

HOERLLE, G. S.; SANTINI, J.; PORTELA, N. B.; BONATTO, S. W.; JUNIOR, H. Monitoramento de áreas de proteção permanente através de imagens e ortofotos geradas por RPAs e fotogrametria. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre/RS. **ANAIS...** 2015.

HORUS Aeronaves. **Cases, ebooks e infográficos**: Conheça mais sobre o uso de Drones de Mapeamento na prática. Disponível em: <<https://horusaeronaves.com/aplicacoes/#>> Acesso: 17 Fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000**. IBGE/SAA-RS, Florianópolis, 2003. (Convênio entre IBGE e Secretaria da Agricultura e Abastecimento do RS). CD-ROM.

KANEKO, K.; NOHARA, S. Review of effective vegetation mapping using the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) method. **Journal of Geographic Information System**, 6(06), p.733. 2014. Disponível em: <[https://file.scirp.org/pdf/JGIS\\_2014122913314875.pdf](https://file.scirp.org/pdf/JGIS_2014122913314875.pdf)>. Acesso em: 19 Março 2018.

KEENAN, T.F.; DARBY, B.; FELTS, E.; SONNENTAG, O.; FRIEDL, M.A.; HUFKENS, K.; O'KEEFE, J.; KLOSTERMAN, S.; MUNGER, J.W.; TOOMEY, M.; RICHARDSON, A.D., 2014. Tracking forest phenology and seasonal physiology using digital repeat photography: a critical assessment. **Ecol. Appl.** **24**, 1478–1489. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1890/13-0652.1>> Acesso em: 11 Maio 2018.

KLOSTERMAN, S.; MELAAS, E.; WANG, J.; MARTINEZ, A.; FREDERICK, S.; O'KEEFE, J.; ORWIG, D.A.; WANG, Z.; SUN, Q.; SCHAAF, C.; FRIEDL, M., Fine-scale perspectives on landscape phenology from unmanned aerial vehicle (UAV) photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, 248, p.397-407. 2018.

KNEIPP, Rafaela Barros, 2018. **O estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore** [online]. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023699.pdf>>. Acesso em: 07 Abr. 2019.

LARY, D.J. et al. Machine learning in geosciences and remote sensing. **Geoscience Frontiers**, v. 7, n. 1, p. 3-10, 2016.

LISEIN, J.; MICHEZ, A.; CLAESSENS, H.; LEJEUNE, P. Discrimination of deciduous tree species from time series of unmanned aerial system imagery. **PLoS One** **10**, e0141006. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0141006>>. Acesso em: 11 maio 2017.

LOCH, Carlos; ERBA, Diego Alfonso. **Cadastro Técnico Multifinalitário: Rural e Urbano**. 1ª ed. Cambridge, USA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 142p. Disponível em: <<https://www.lincolninst.edu/publications/books/cadastro-tecnico-multifinalitario-rural-e-urbano>> Acesso em: 17 Dez. 2018.

LOCH, Carlos; LAPOLLI, Édis. **Elementos Básicos da Fotogrametria e sua utilização prática**. Florianópolis: Ed. da UFSC. 104p. 3ªed. 1994.

LONGHITANO, George. Alfredo. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

FARIAS, Jean Lucas Paes de; MARÊNCIO, Ivan; VIEIRA, Carlos Antônio Oliveira. Avaliação da acurácia cartográfica planimétrica do produto gerado a partir de aeronave remotamente pilotada (RPA). **Anais do COBRAC 2018**. Florianópolis/SC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

LUCIEER, A.; TURNER, D.; KING, D.H.; ROBINSON, S.A. Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.** **27**, 53 - 62. 2014.

MACIEL, D. A.; INACIO, F. D.; GOMES, A.; ARAÚJO, G.; FERRAZ, S.; REYNALDO, É. F. **Índice de vegetação da diferença normalizada gerado através de imagens obtidas por aeronaves remotamente pilotadas**. 2017. Disponível em: <<http://plutao.sid.inpe.br/col/urllib.net/www/2017/12.05.13.48.10/doc/%C3%8DNDICE>>

%20DE%20VEGETA%C3%87%C3%83O%20DA%20DIFEREN%C3%87A%20NOR  
MALIZADA%20GERADO%20ATRAV%C3%89S%20DE%20IMAGENS%20OBTIDA  
S%20POR%20AERONAVES%20REMOTAMENTE%20PILOTADAS.pdf> Acesso  
em: 30 Maio 2018.

MARQUES, Grazziani Resende Rodrigues da Costa; SOUZA, Pablo Gregório de. Georreferenciamento de imóvel rural utilizando drone (ARP). **Brazilian Journal of Technology**. Curitiba. V. 2 n.1. p. 424-438. Jan/mar. 2019.

MARTÍNEZ-CARRICONDO, Patrício; AGÜERA-VEGA, Francisco; CARVAJAL-RAMÍREZ, Fernando; MESAS-CARRASCOSA, Francisco Javier; GARCÍA-FERRER, Alonso; PÉREZ-PORRAS, Fernando Juan. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 72, p. 1-10, 2018.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T. de. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília – UNB. Brasília. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> Acesso em: 20 Dez. 2018.

MICHEZ, A., PIÉGAY, H., JONATHAN, L., CLAESSENS, H., & LEJEUNE, P. Mapping of riparian invasive species with supervised classification of Unmanned Aerial System (UAS) imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 44, p. 88-94, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.06.014>> Acesso em: 05 Jun. 2018.

MIKHAIL, Edward M.; ACKERMANN, Friedrich E. **Observations and least squares**. Springdale: IEP, 1976.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Desenvolvimento Metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise da Viabilidade de Hidrelétricas** - Projeto FRAG - RIO. Relatório Técnico da Etapa I. UNIPAMPA. UFSM. 2009. Santa Maria: FATEC/UNIPAMPA/UFSM. 307 p. 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Zoneamento Ecológico-Econômico nos Estados**. Brasília. [2017]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/zee-nos-estados> Acesso em: 14 Jun. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO RIO GRANDE DO SUL. Divisão de Assessoramento Técnico. Parecer. **Documento Dat-Ma Nº 2798/2008**. Unidade de Assessoramento Ambiental. Geoprocessamento – Bacias Hidrográficas.



MIRANDA NETO, A. B.; ALMEIDA, I. E. S. **A análise do emprego veículo não tripulado (RPA) nas ações e operações PM**. 2009. 87 p. Monografica (Especialização em Segurança Pública) - Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Salvador, 2009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Unesp, 476 p., 2008.

MONTAÑO, R. A. N. R. **Aplicação de técnicas de aprendizado de máquina na mensuração florestal**. 2016. 102f. Tese (Doutorado em Informática) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Agricultura, Porto Alegre, 42 p. 1961.

MOUTINHO, O. **Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source**. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) - Universidade Do Porto, Porto, 2015.

MUNARETTO, L. **VANT e drones**: a aeronáutica ao alcance de todos. São José dos Campos: Edição independente, 2015.

NOGUEIRA JÚNIOR, J.B. **Controle de Qualidade de Produtos Cartográficos**: Uma Proposta Metodológica. Presidente Prudente, Brasil: Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP, Brasil, 2003.

OTERO, V.; VAN DE KERCHOVE, et al. Managing mangrove forests from the sky: Forest inventory using field data and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in the Matang Mangrove Forest Reserve, peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management**, 411, p.35-45. 2018.

PADILHA, D. G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, RS**. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PEDRALI, L. D. **Aplicação de sensor multiespectral a bordo de vant na determinação de graus de severidade de *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis***. 92 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.

PEGORARO, A. J.; PHILLIPS, J. W.; MORCELLI, A. T.G. Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrirotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. **Anais...** 2015.

PEGORARO, A.J.; GUBIANI, J.S.; PHILIPS, J. W. Veículo aéreo não tripulado: uma ferramenta de auxílio na gestão pública. In: **Proc. Symp. Argentine of Informatics and Law, Córdoba**. p. 177-187. 2013.

PETRI, C. A.; BOURSCHEIDT, V. Impactos da resolução espacial de modelos digitais de superfície no cálculo da perda de solo através da EUPS em ambiente urbano. **Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Santos, SP. 2017.

PIROLI, E.L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos. p. 46, 2010.

PLURAL Consultoria em Planejamento Territorial. **Zoneamento Ambiental: Formigueiro/RS**. Formigueiro, 2009.

PONZONI, Flavio Jorge; PACHECO, Ludmila Roque Ferraz; SANTOS, Sandra Benfica dos; ANDRADE FILHO, Clódís de Oliveira Andrade. Caracterização espectral-temporal de dosséis de eucalyptus spp. Mediante dados radiométricos TM/Landsat5. **CERNE**. V. 21 n. 2. 2015. p. 267 – 275.

POTSIOU, Chryssy A. et al. Low Cost Technologies and Techniques in Implementing Cadastral and Spatial Information Management Infrastructure. In: **2nd FIG Regional Conference**. 2003.

QUIRÓS, J.; TAVARES, T. R.; MARTELLO, M. **Contagem de plantas de dendê (Elaeisguineensis) a partir de imagens multiespectrais obtidas utilizando RPA**. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Mauricio\\_Martello/publication/301626222\\_Palm\\_trees\\_Elaeis\\_guineensis\\_counting\\_from\\_multispectral\\_images\\_using\\_UAV/links/571e4eda08aeaced7889e002.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Martello/publication/301626222_Palm_trees_Elaeis_guineensis_counting_from_multispectral_images_using_UAV/links/571e4eda08aeaced7889e002.pdf)> Acesso em: 09 Maio 2018.

RANGEL, R. K.; KIENITZ, K. H.; BRANDÃO, M. P. **Sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando veículos aéreos não-tripulados**. 2009.

REDWEIK, P. **Fotogrametria aérea**. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007.

REIS, B. P. **Monitoramento de áreas de restauração florestal e geração de recomendações de manejo adaptativo através de imagens obtidas por RPA e LIDAR**. 2017. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/15300/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 02 Maio 2018.

RESHETYUK, Y.; MÅRTENSSON, S-G. Generation of highly accurate digital elevation models with unmanned aerial vehicles. **The Photogrammetric Record**, v. 31, n. 154, p. 143 - 165, 2016.

RODRIGUES, Danilo Aparecido; GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. **Anais do VII SINGEP**, São Paulo/SP, Brasil, 22 e 23/10/2018.

RODRIGUES, M. A. **Instituição de Direito Ambiental**, v.1, São Paulo: MaxLimonad, 2002.

ROKHMANA, C.A. The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, pp.245-253. 2015.

ROOSJEN, P. P.; BREDE, B.; SUOMALAINEN, J. M.; BARTHOLOMEUS, H. M.; KOOISTRA, L.; CLEVERS, J. G. Improved estimation of leaf area index and leaf chlorophyll content of a potato crop using multi-angle spectral data—potential of unmanned aerial vehicle imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 66, p.14-26. 2018.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J.L.S.; DEL PRETTE, M.E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, 12, p.89 - 121. 1998.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Tradução Regina Célia Simille, 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Título original: Artificial Intelligence.

SANTOS, Afonso de Paula dos; MEDEIROS, Nicilene das Graças; SANTOS, Gérson Rodrigues dos; RODRIGUES, Dalto Domingos. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o uso de Feições Lineares. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, n. 1, p. 157-174, 2016.

SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o uso de Estatística Espacial**. 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2010.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SANTOS, Suzana Daniela Rocha, et al. Análise das limitações do uso de tecnologias de mapeamento de baixo custo para fins cadastrais em municípios de pequeno porte." In: **Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. GEONORDESTE 2017**. Salvador/BA – Brasil, 03-06 Outubro 2017.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO - SEPLAN - Governo do Estado da Bahia e SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SEMA - Governo do Estado da Bahia. **Indicação das Unidades Geoambientais (UGs) e Unidades de Paisagem (UPs)**. 2013. Disponível em: <<http://www.zee.ba.gov.br/zee/wp-content/uploads/2013/10/links/UnidadedePaisagens.pdf>> Acesso em: 05 Jul. 2018.

SHEN, K.; LI, W.; PEI, Z.; FEI, W.; SUN, G.; ZHANG, X.; CHEN, X.; MA, S. Crop area estimation from UAV transect and MSR image data using spatial sampling method. *Procedia Environmental Sciences*, 26, p. 95 -100. 2015.

SILVA, C. A; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2015a, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, p. 1137-1144. 2015a.

SILVA, Daniel Carneiro, et al. Qualidade de ortomosaicos de imagens de RPA processados com os softwares APS, PIX4D e PHOTOSCAN. **V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife-PE, 2014.

SILVA, W. F.; SILVA, L. S.; MALTA, É. A.; DE OLIVEIRA GONDIM, R.; WARREN, M. S. Avaliação de uso de Veículo Aéreo Não Tripulado - RPA em atividades de fiscalização da Agência Nacional de Águas. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. **Anais..** 2015b.

OLIVEIRA SOBRINHO, M. F.; CORTE, A. P. D.; VASCONCELLOS, B. N.; SANQUETTA, C. R.; REX, F. E. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) para mensuração de processos florestais. Centro BIOFIX de Pesquisa em Biomassa e Sequestro de Carbono Universidade Federal do Paraná – UFPR. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n. 27; p.117 - 126, jun. 2018.

DE SOUSA, Henrique Lima. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 3, p. 326-342, 2017.

POHLERT, T. **The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package** (PMCMR). Rpackage, 2014. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>> Acesso em: 24 Jun. 2018.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. **Foundations of Photogrammetry**. In: Manual of Photogrammetry. 4 ed. Falls Church: ASP. p. 1 - 36. 1980.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

TOMMASELLI, A.M.G. **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente: Edição do Autor, 2012.

TOOMEY, M.; FRIEDL, et al. Greenness indices from digital cameras predict the timing and seasonal dynamics of canopy-scale photosynthesis. **Ecol. Appl.** **25**. 2015.

TREVISAN, M. L. **Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com o uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital**. 2008. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. IB. Centro de Ecologia. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa: Ano-base 2009**. Porto Alegre: UFRGS - IB - Centro de Ecologia. 2016.

VENTURINI, A.B. **Imagens de veículos aéreos não tripulados aplicados para dimensionamento de redes de microdrenagem pluvial**. Trabalho de Conclusão de

Curso - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS. 80 f. 2015.

VIDAL, A. M. F. **Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados**. 2013. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal. 2013.

WHITEHEAD K, Hugenholtz CH. **Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs)**, part 1: a review of progress and challenges, 2014.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric sciences**, 2nd Ed., Academic Press. 627 p. 2006.

WINGATE, L.; OGÉE, J.; et al. Interpreting canopy development and physiology using the European phenology camera network at flux sites **Biogeosciences** 12, 5995–6015. 2015.

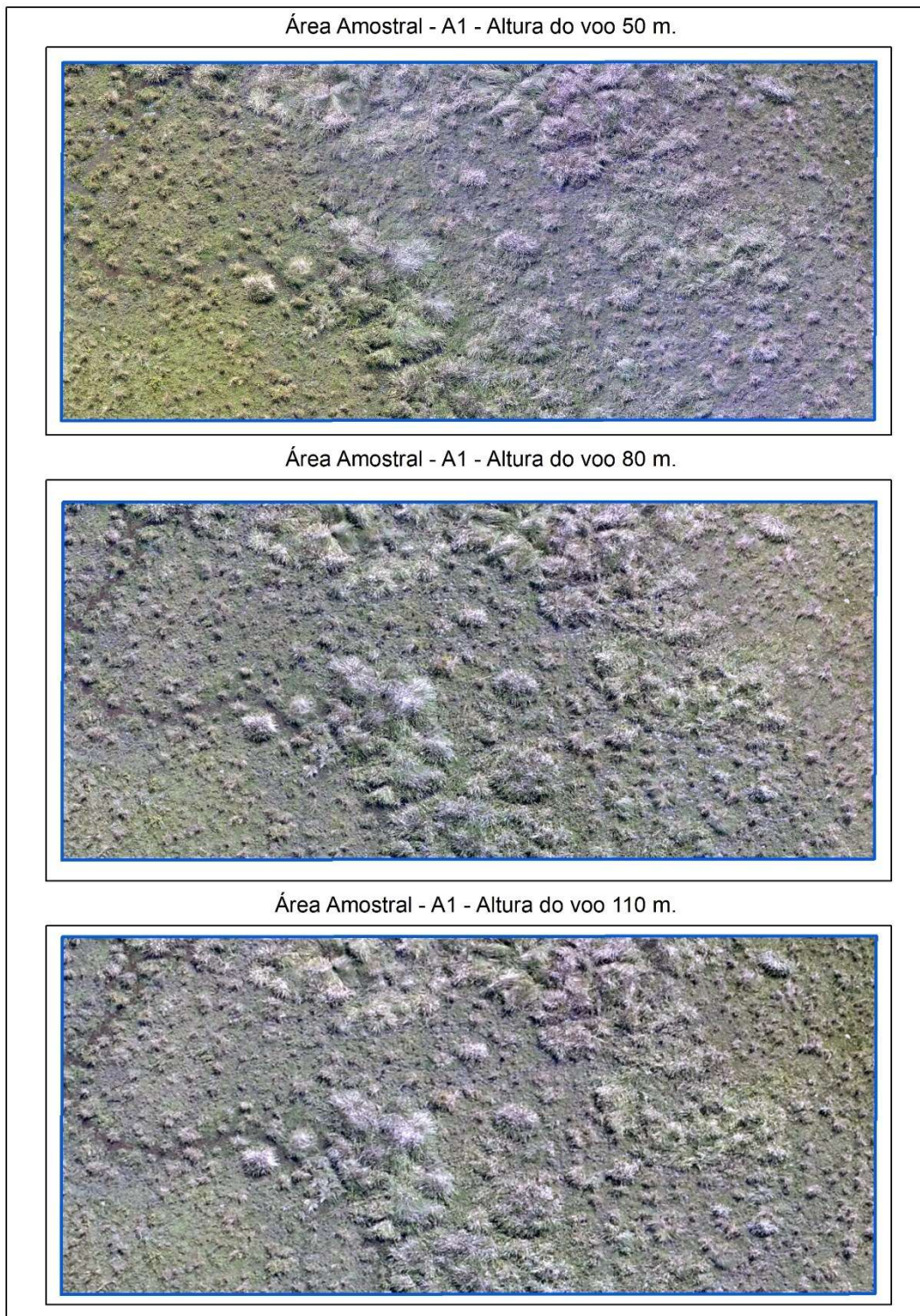
YANG, X.; TANG, J.; MUSTARD, J. Beyond leaf color: comparing camera-based phenological metrics with leaf biochemical, biophysical and spectral properties throughout the growing season of a temperate deciduous forest. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 119, 14, p. 181 - 191. 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/2013JG002460> > Acesso em: 11 Maio 2018.



## APÊNDICES

### APÊNDICE I – AMOSTRAS DA PROPRIEDADE A, JÚLIO DE CASTILHOS.

Figura 66 - Amostra A1 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.

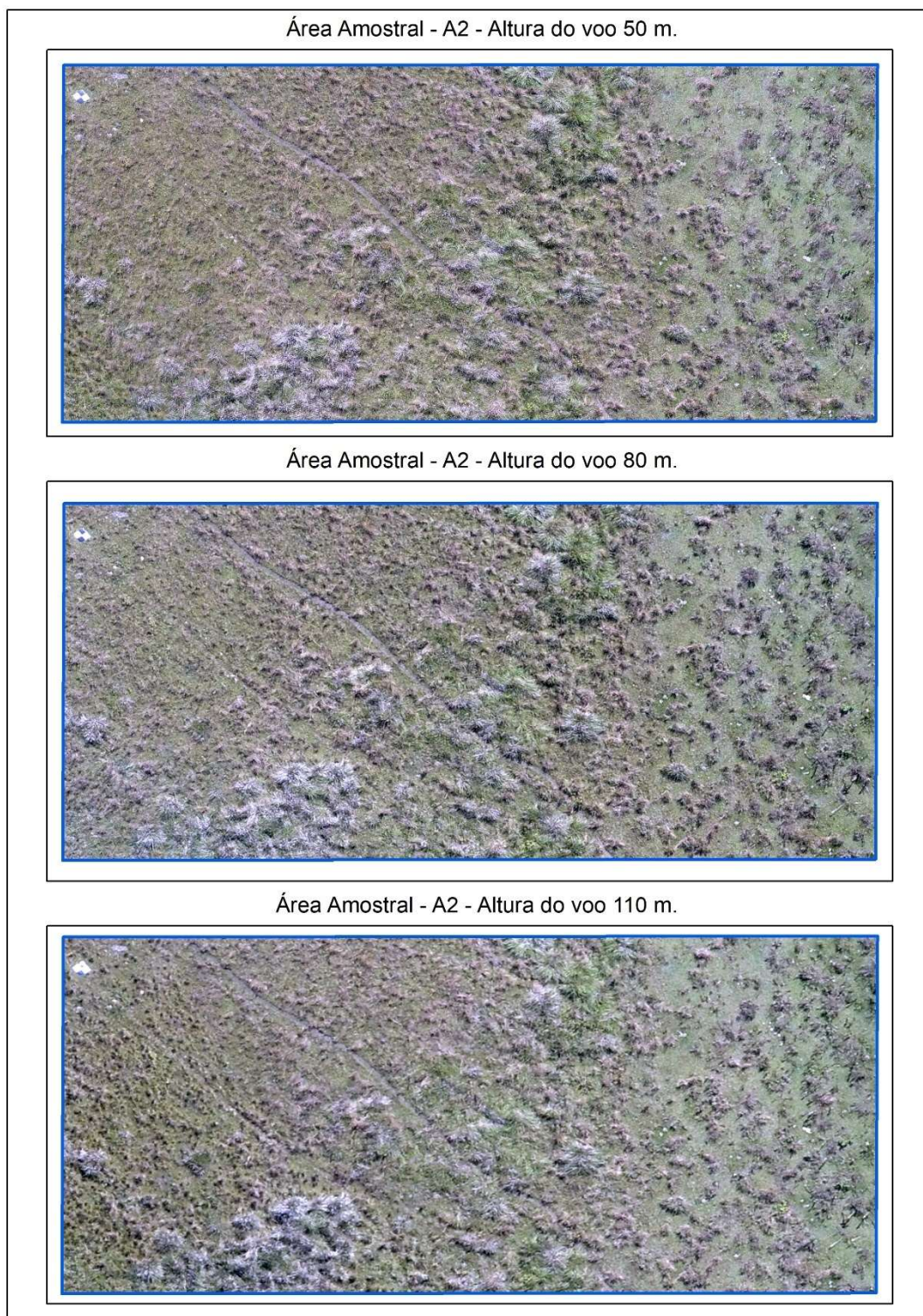


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.



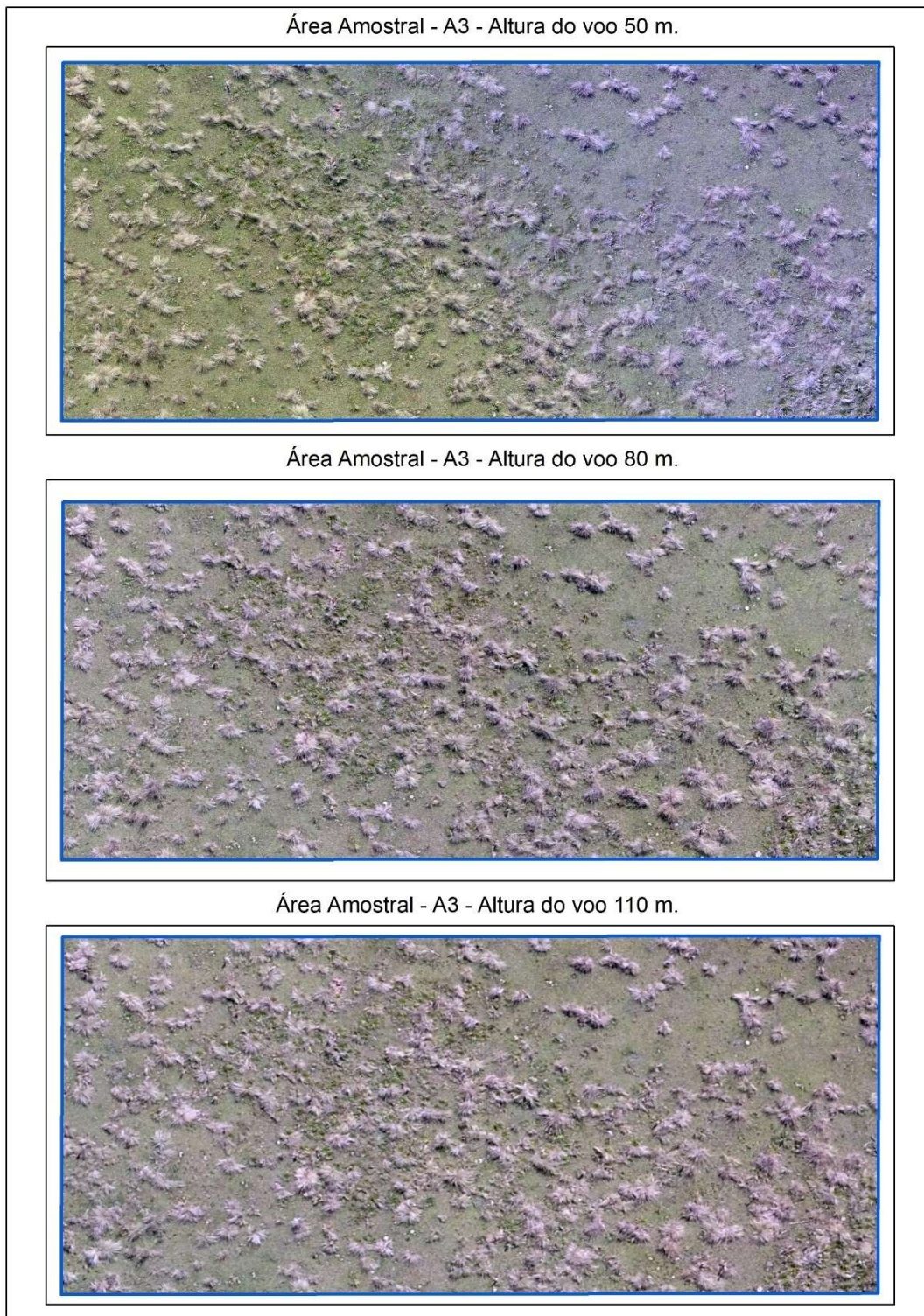
Figura 67 - Amostra A2 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

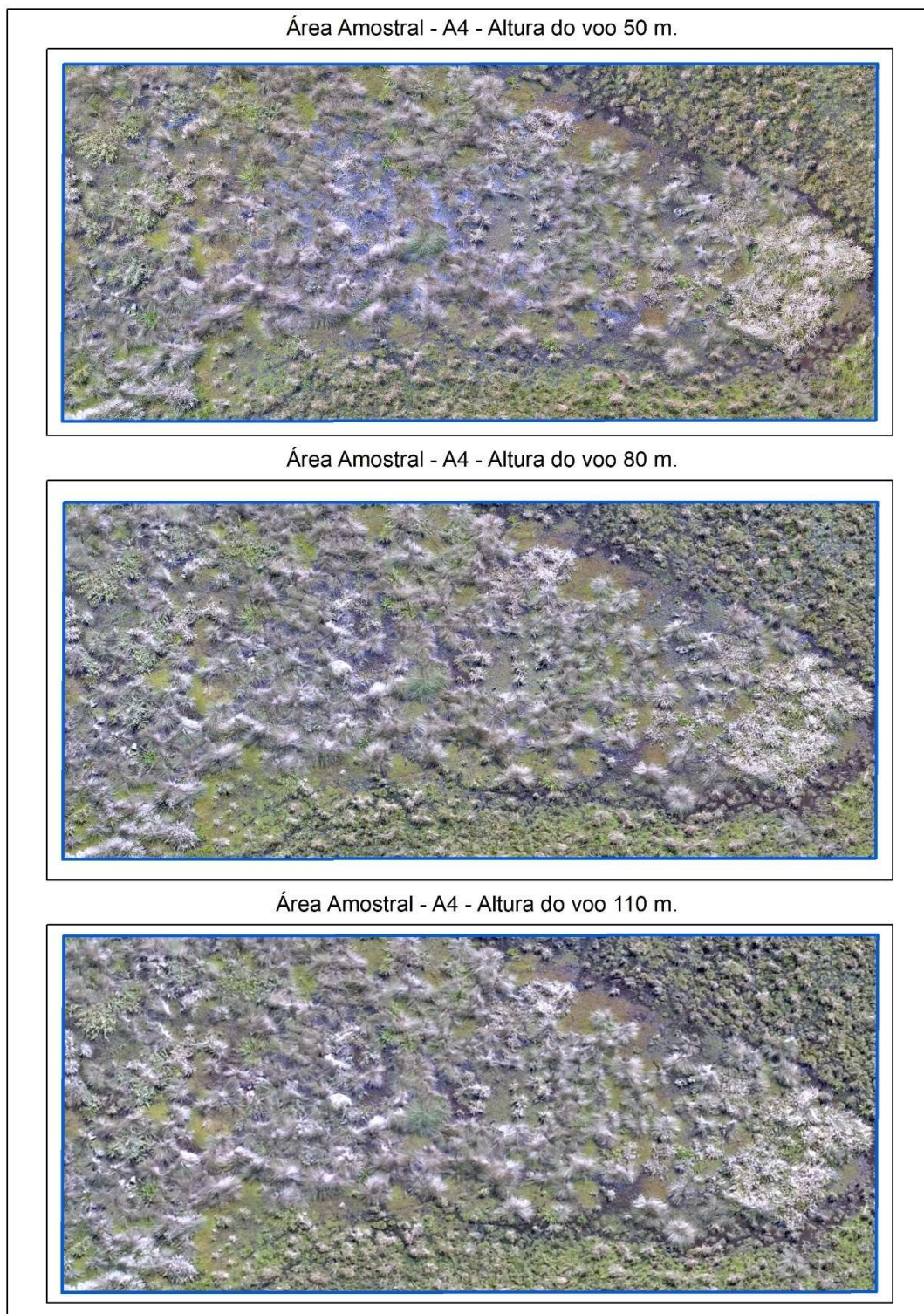
Figura 68 - Amostra A3 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

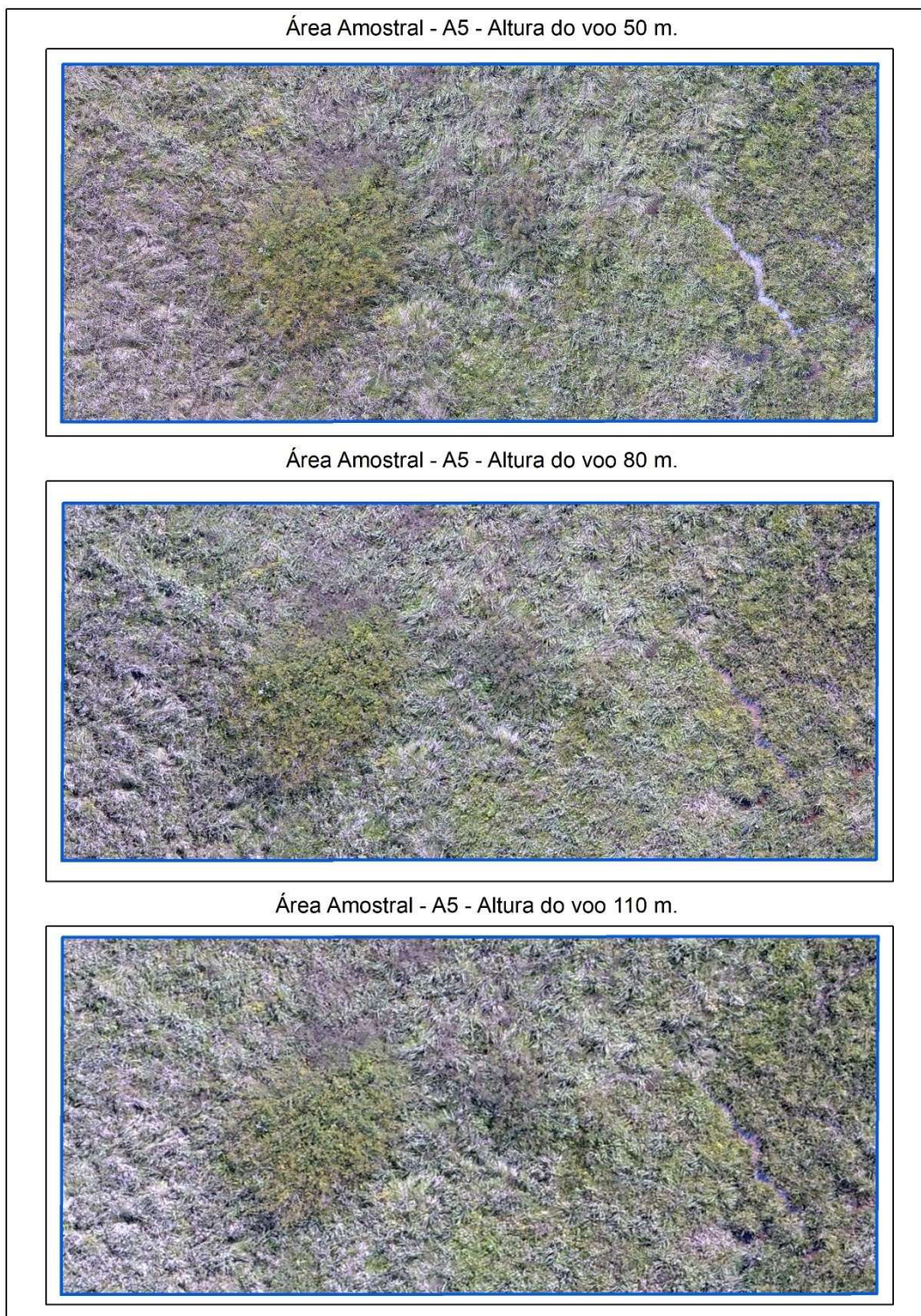
Figura 69 - Amostra A4 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

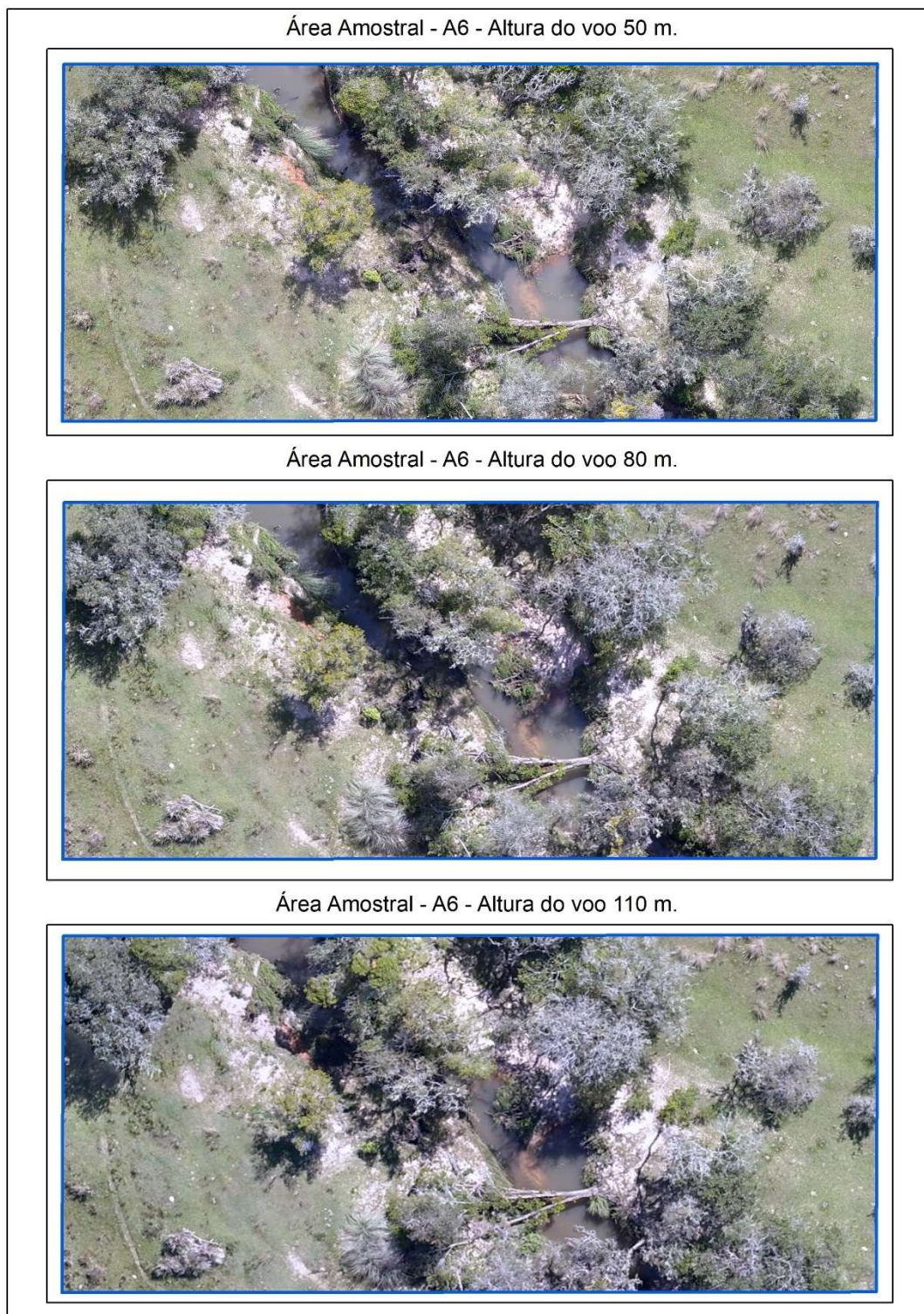
Figura 70 - Amostra A5 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

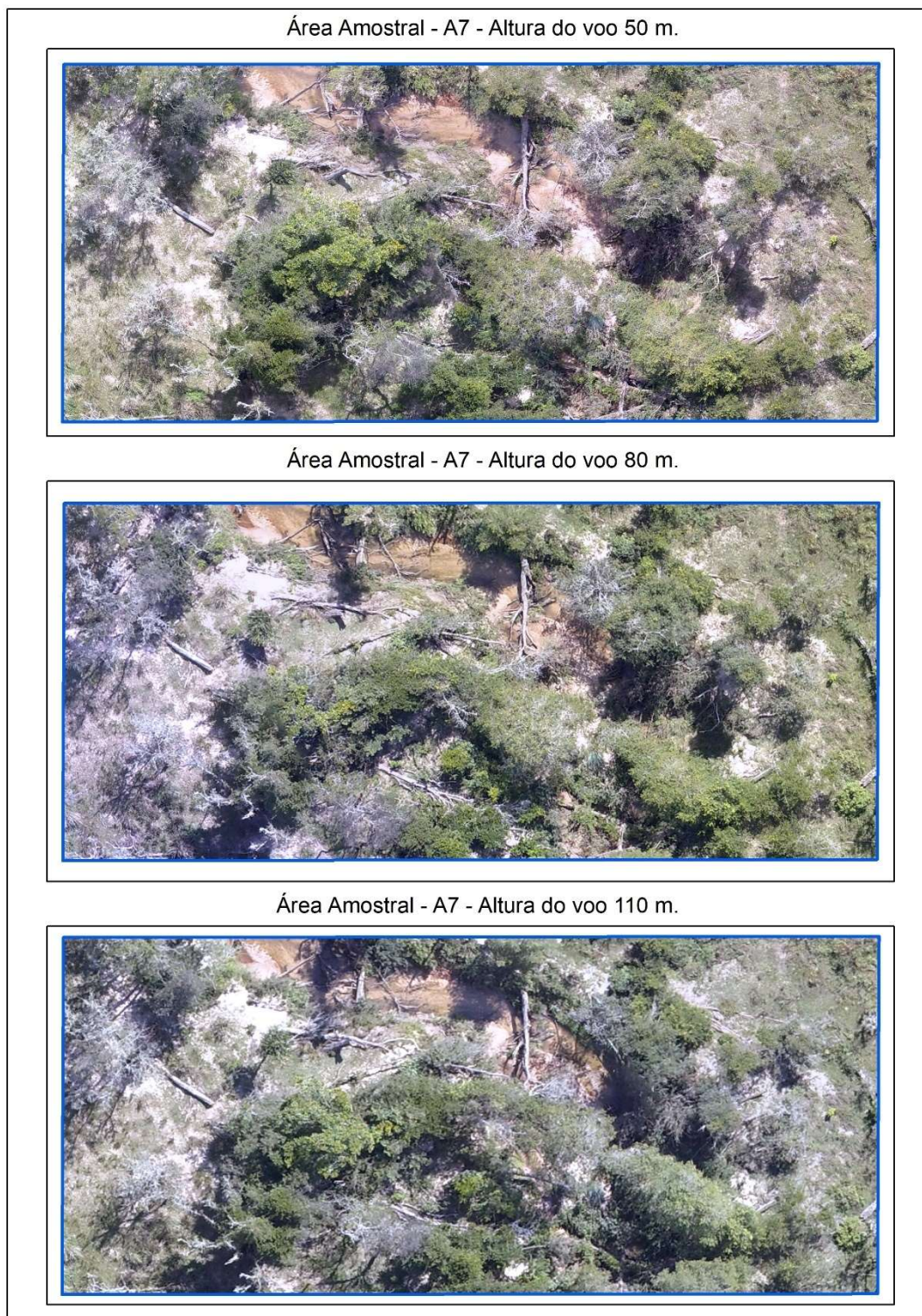
Figura 71- Amostra A6 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

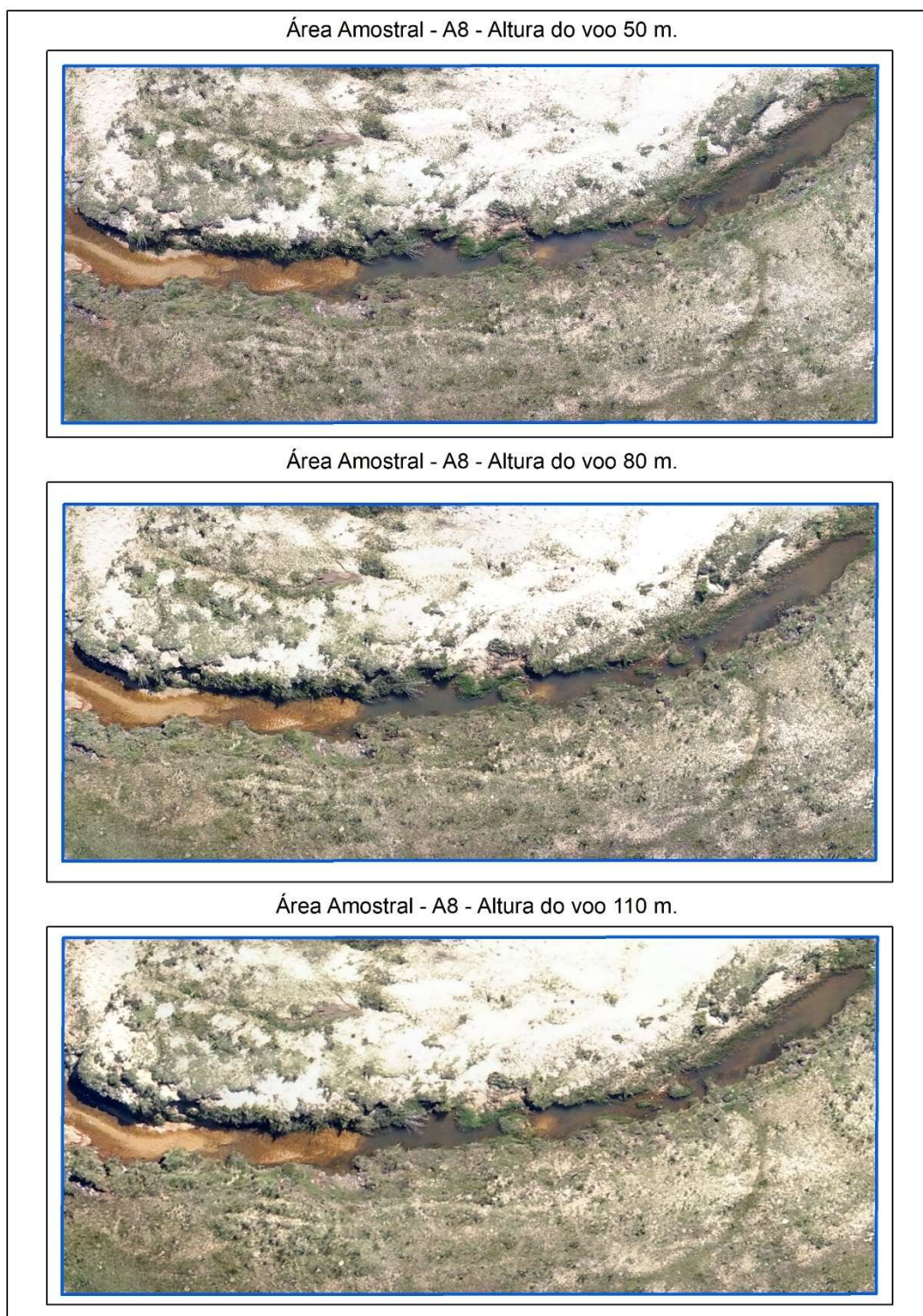
Figura 72 - Amostra A7 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

Figura 73 - Amostra A8 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.

Figura 74 - Amostra A9 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.

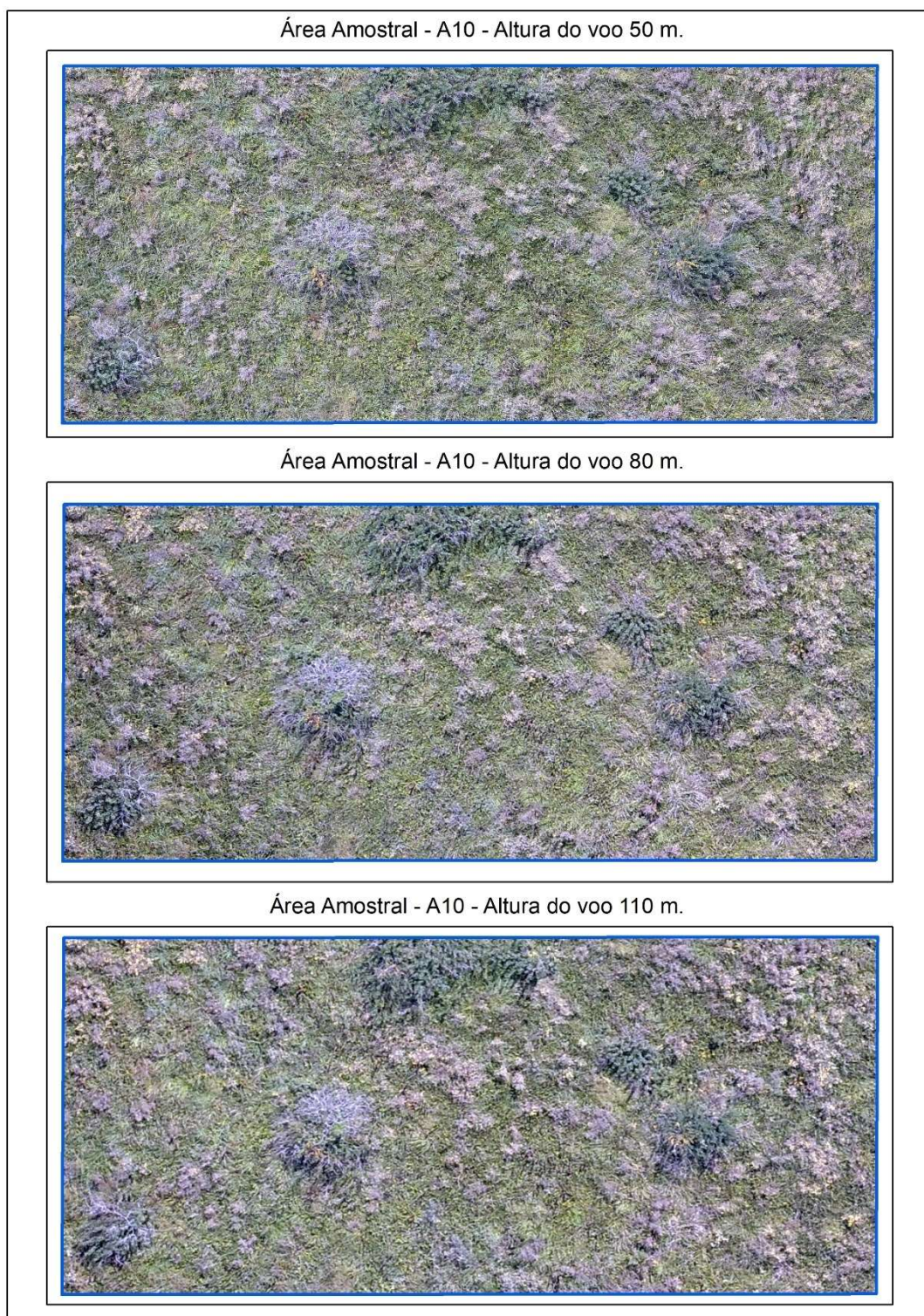


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.



Figura 75 - Amostra A10 para os voos com diferentes alturas, Propriedade A.



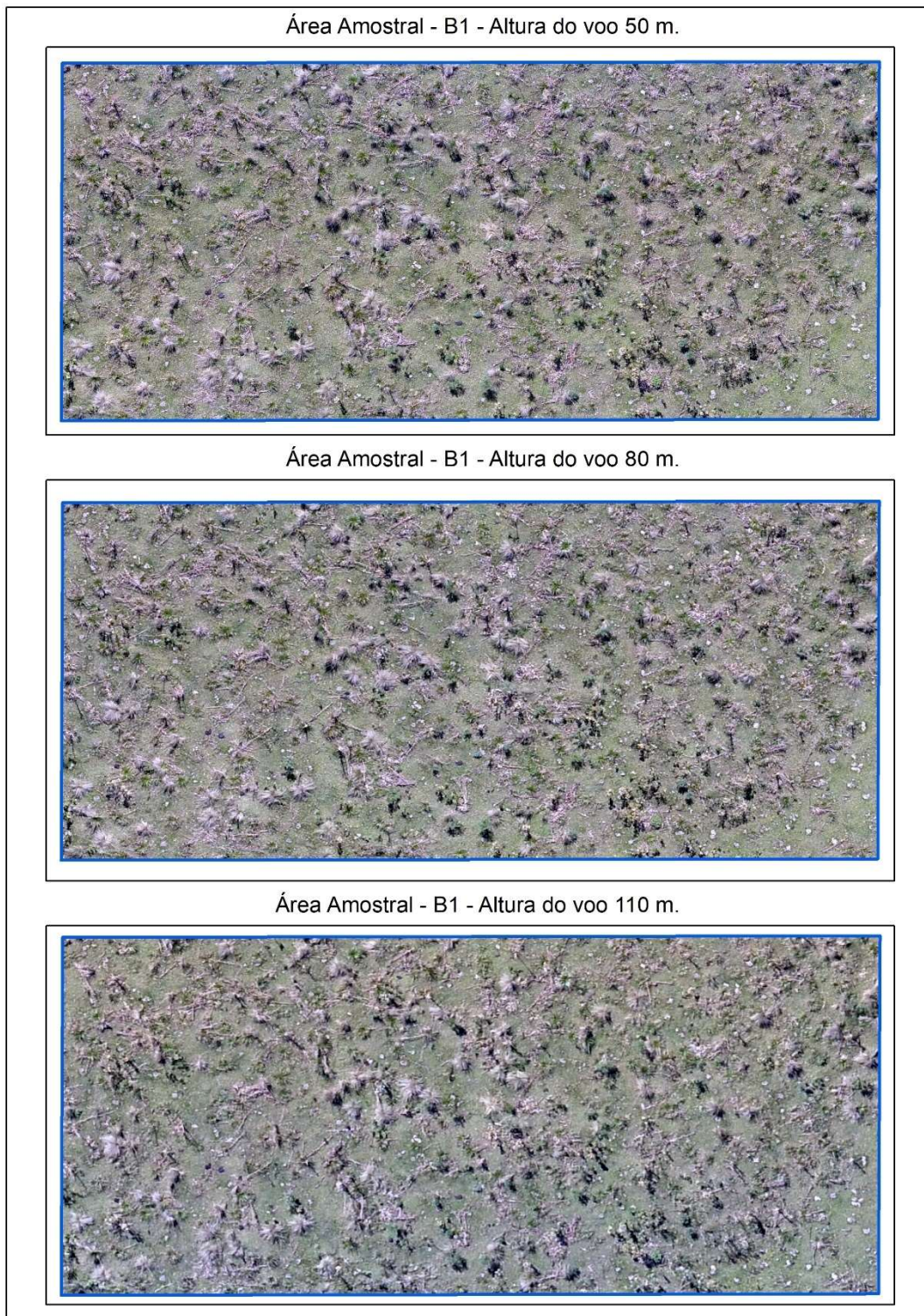
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 30/03/2019. Voo a 50 m: horário das 12:27 às 15:00 min. Voo 80 m: horário das 11:45 às 12:19 min e Voo 110 m: horário das 11:20 às 11:38 min.



**APÊNDICE II - AMOSTRAS DA PROPRIEDADE B, NOVA PALMA.**

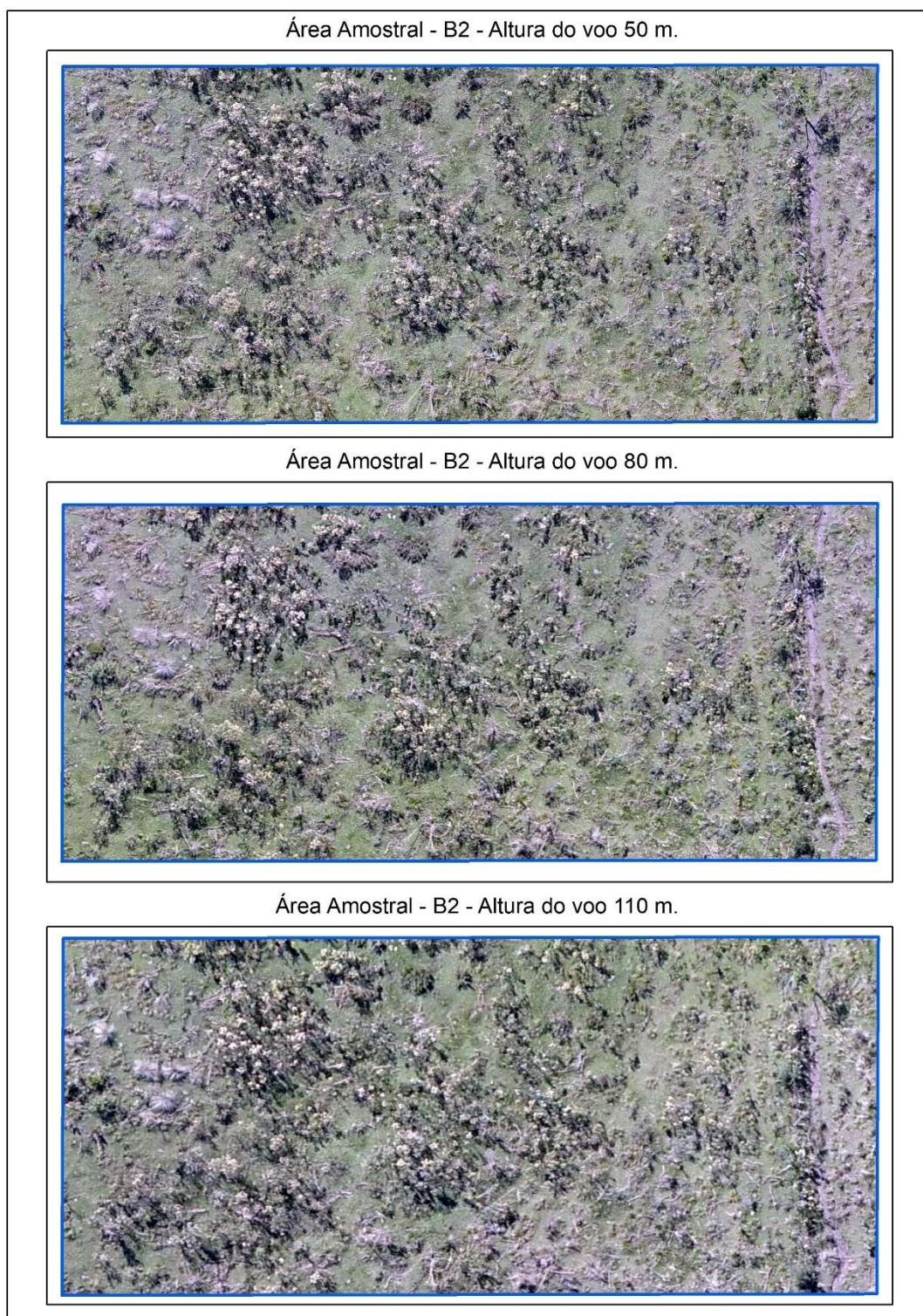
Figura 76 - Amostra B1 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

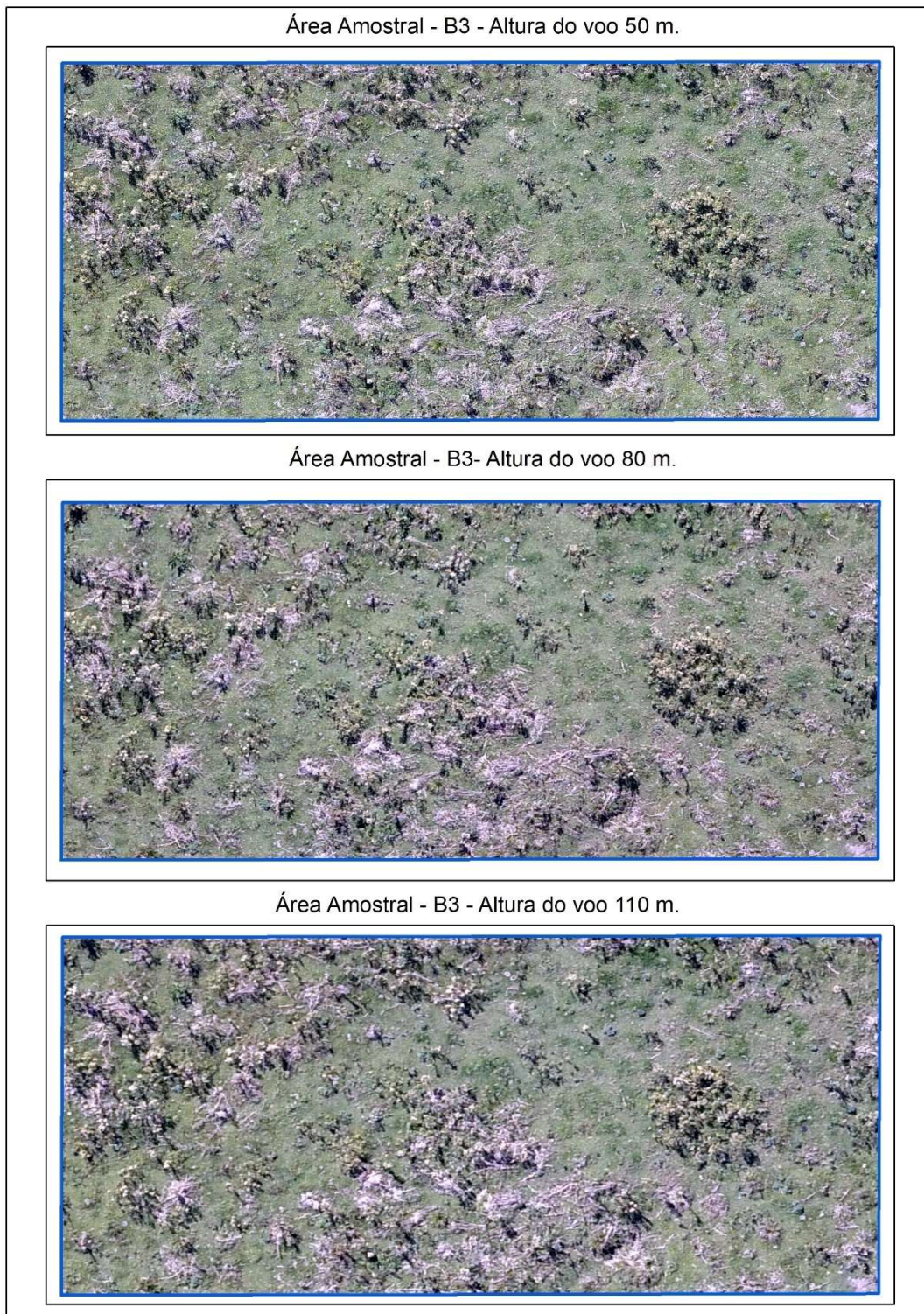
Figura 77 - Amostra B2 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

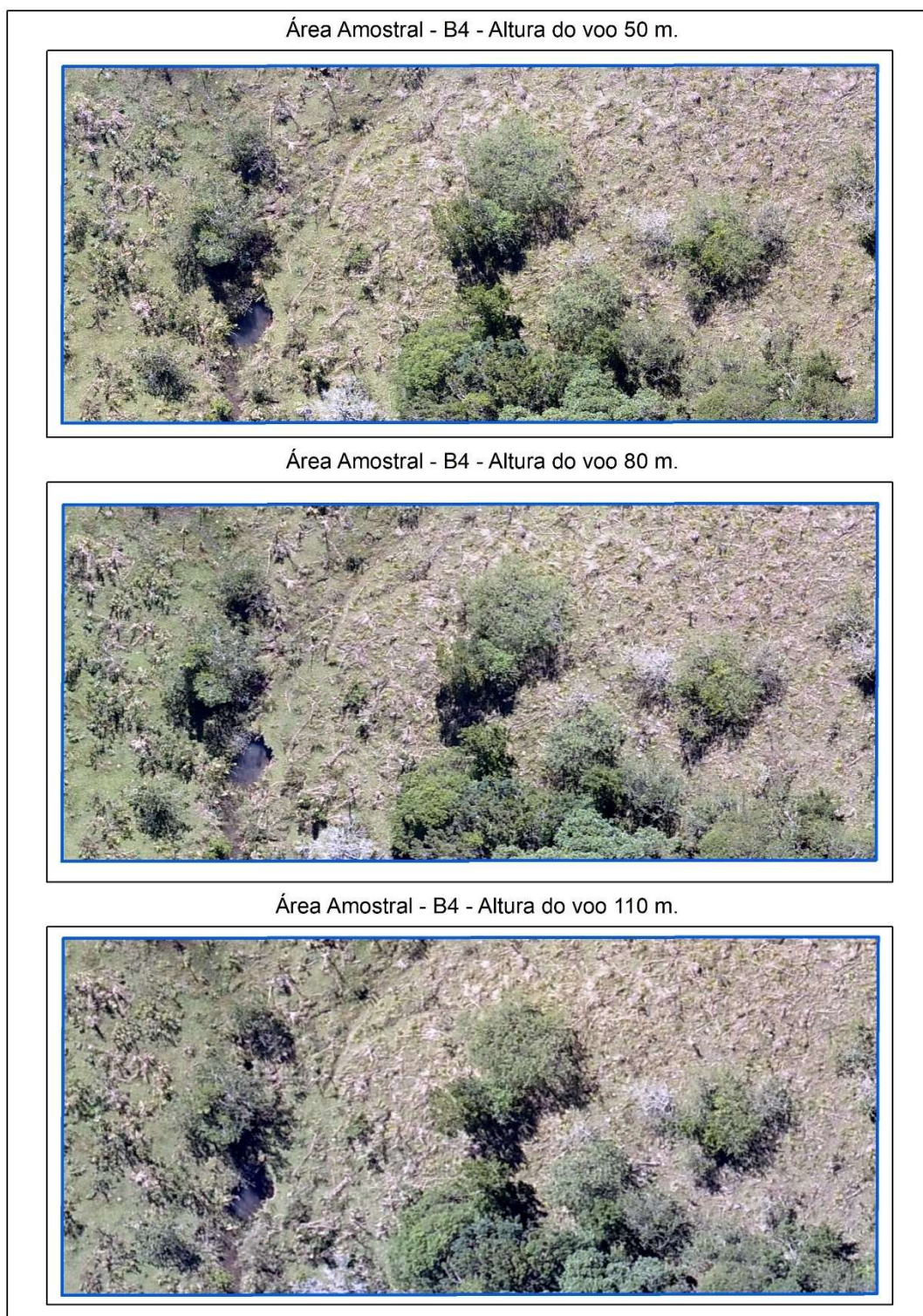
Figura 78 - Amostra B3 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

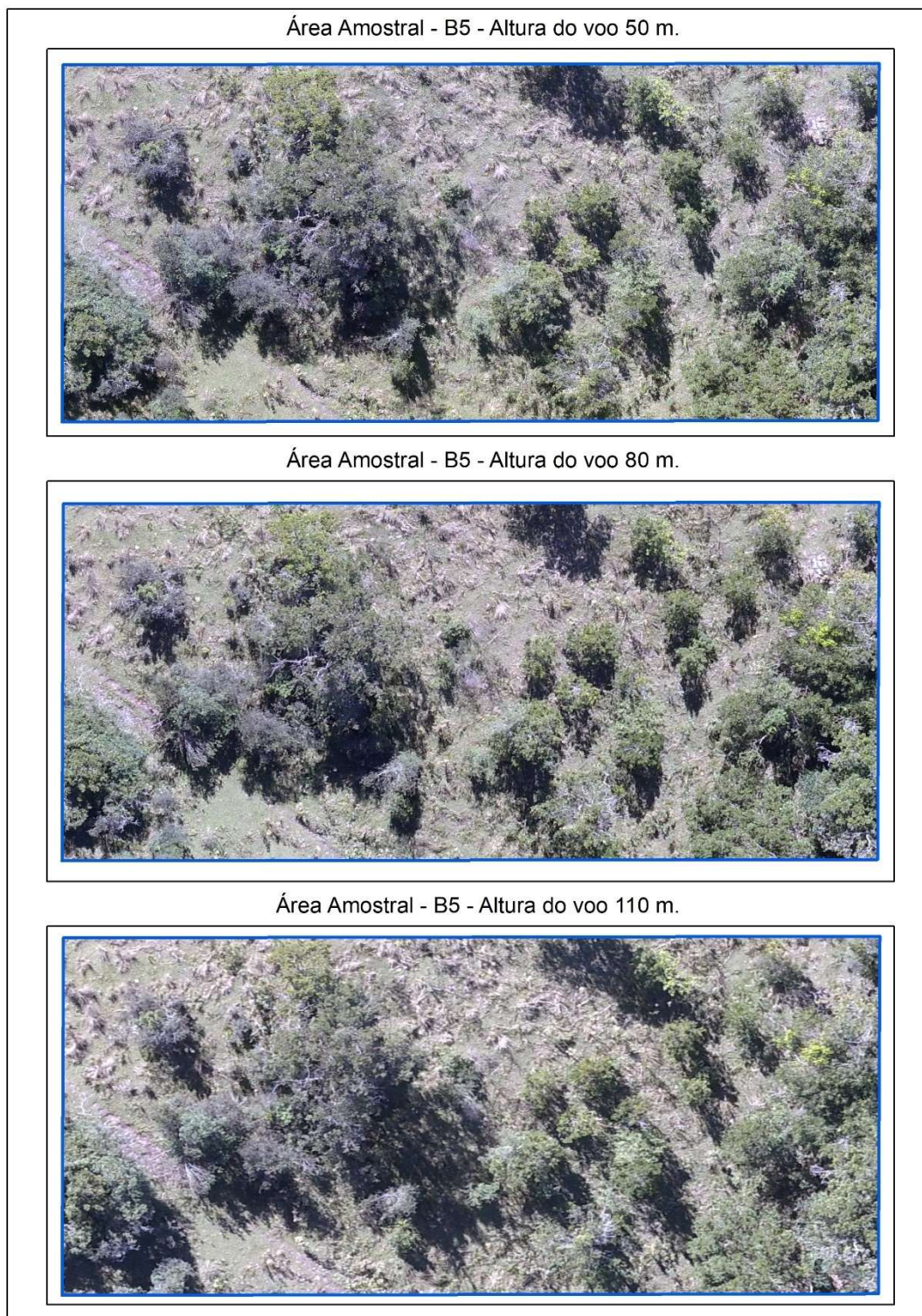
Figura 79 - Amostra B4 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

Figura 80 - Amostra B5 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.

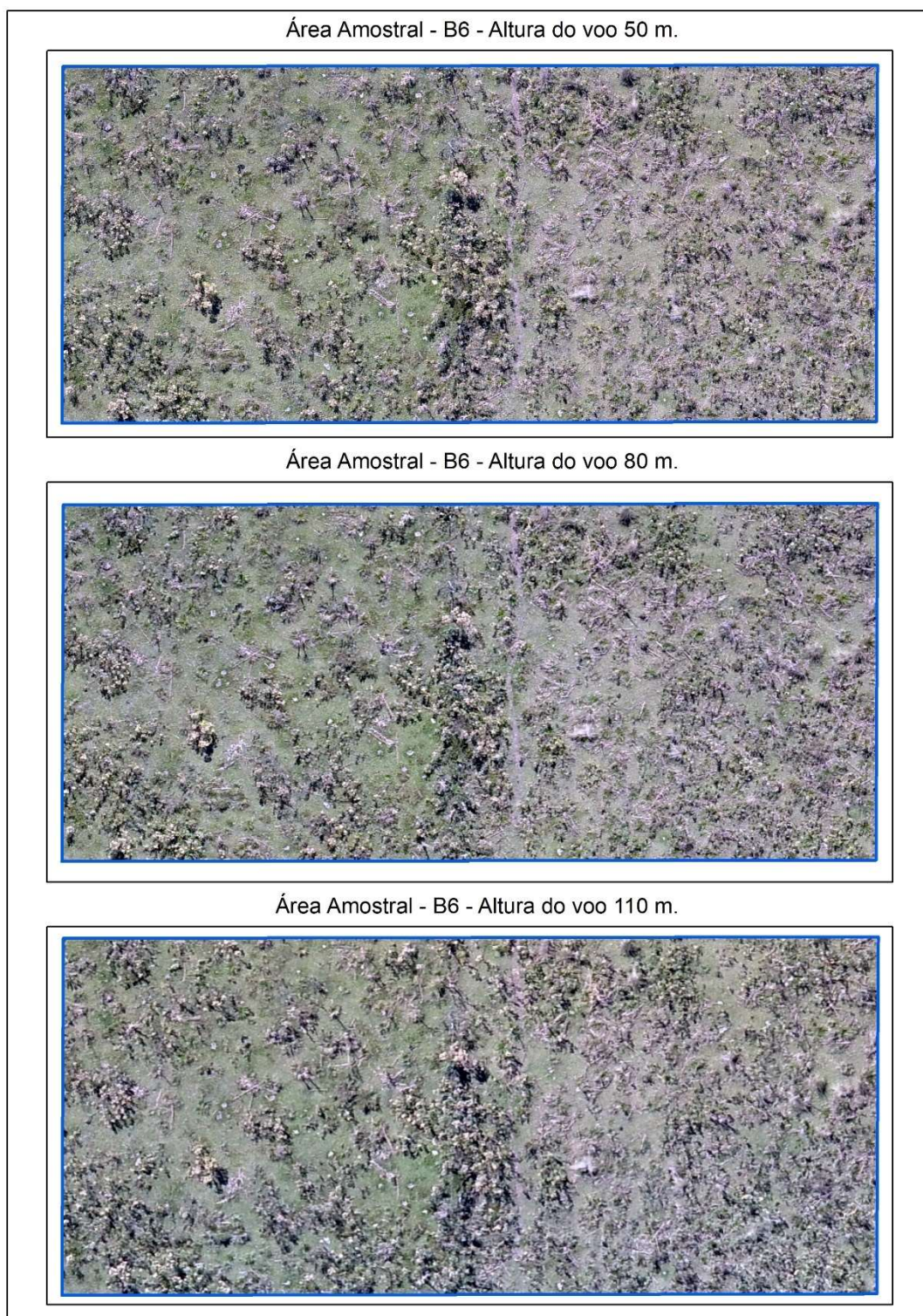


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.



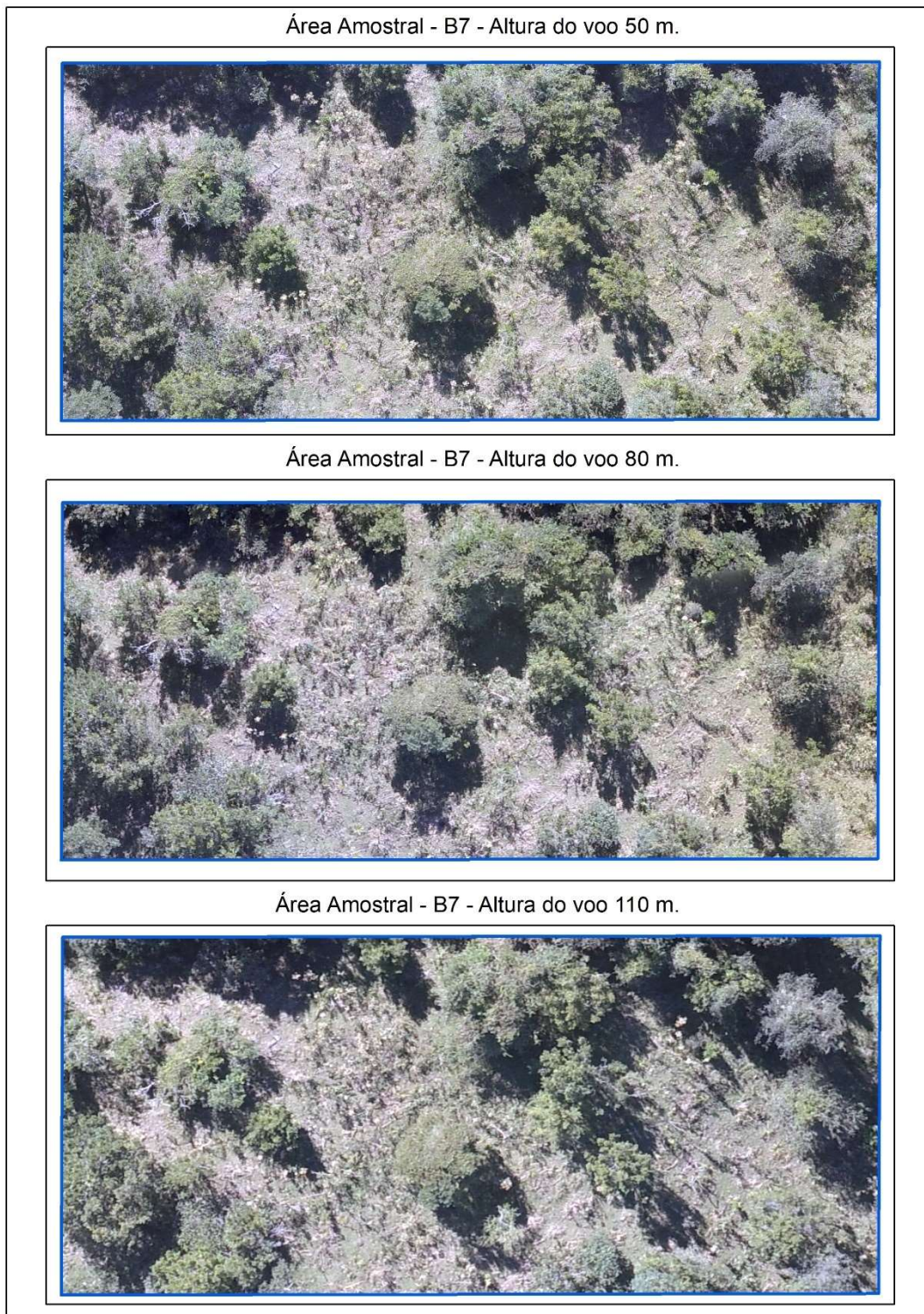
Figura 81 - Amostra B6 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110m110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

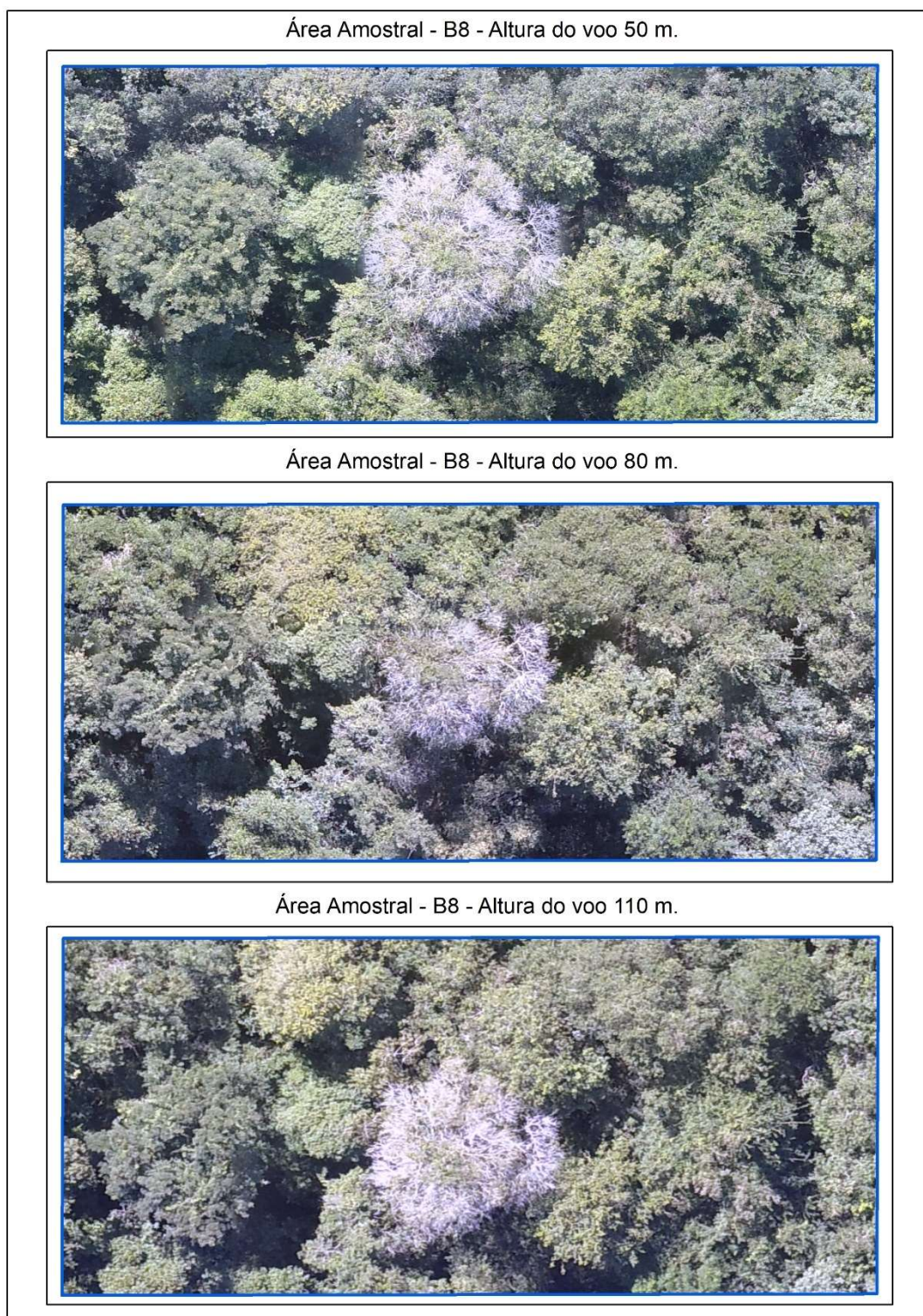
Figura 82 - Amostra B7 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.

Figura 83 - Amostra B8 para os voos com diferentes alturas, Propriedade B.



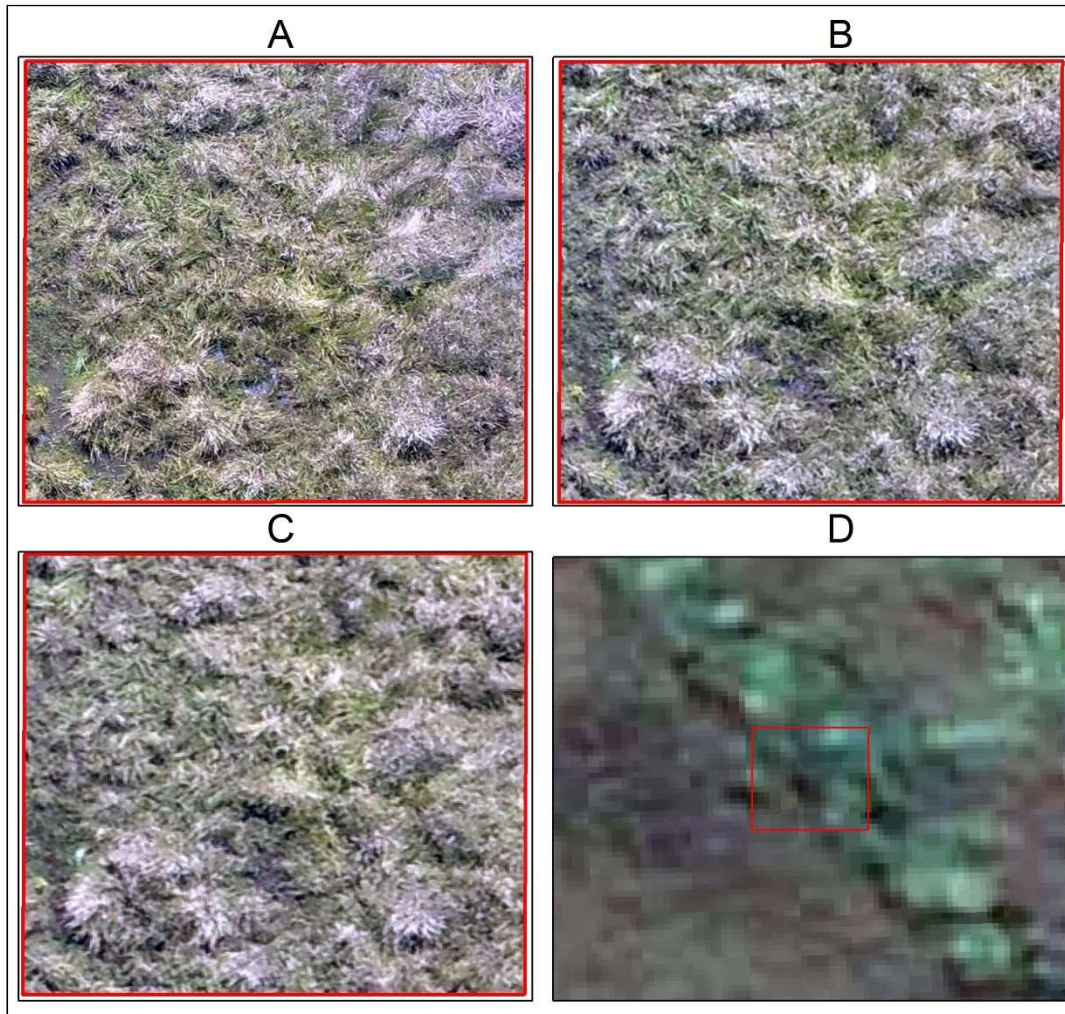
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: Data de voo: 09/04/2019. Voo a 50 m: horário das 13:08 às 13:55 min. Voo 80 m: horário das 12:37 às 12:54 min e Voo 110 m: horário das 14:00 às 14:13 min.



**APÊNDICE III – RESULTADOS DA IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DAS  
FEIÇÕES PARA AS ÁREAS DE ESTUDO.**

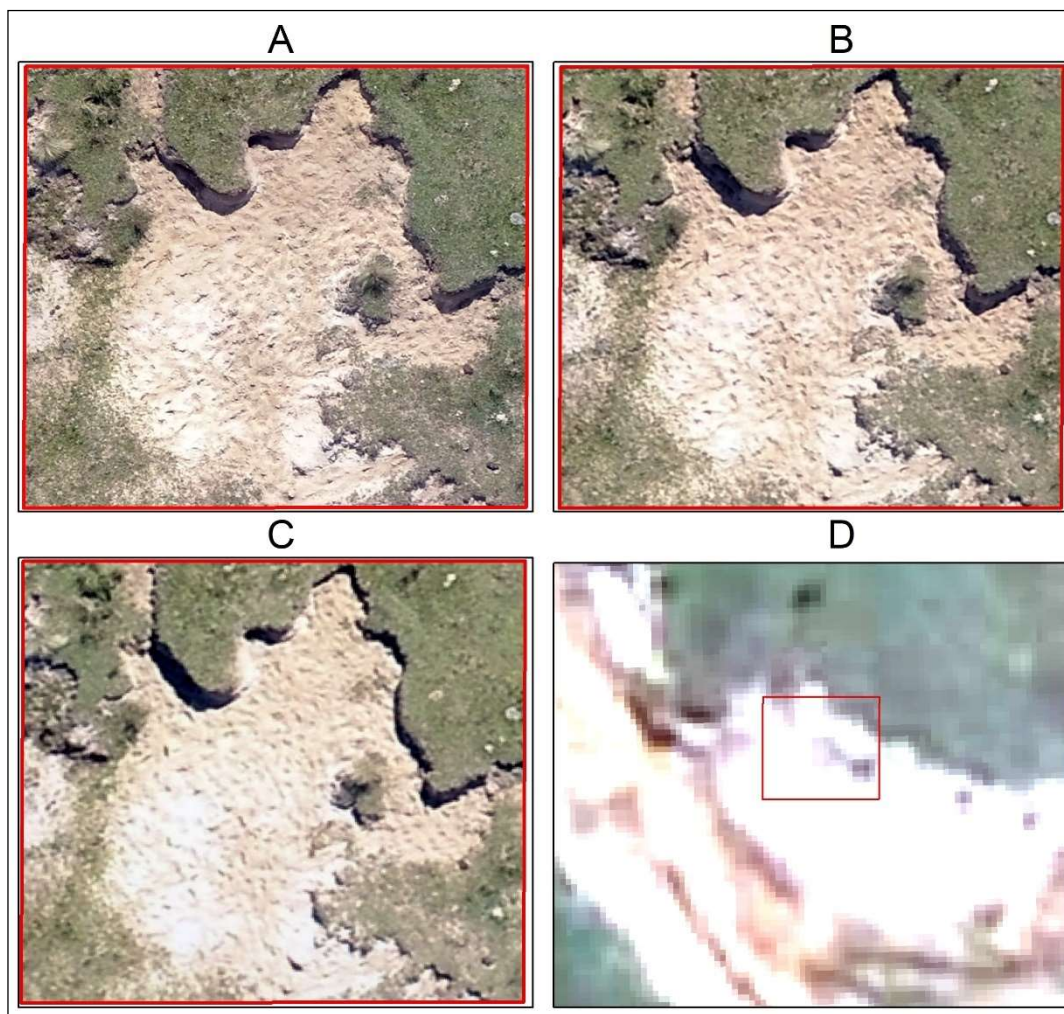
Figura 84 - Amostra F1 (área úmida), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

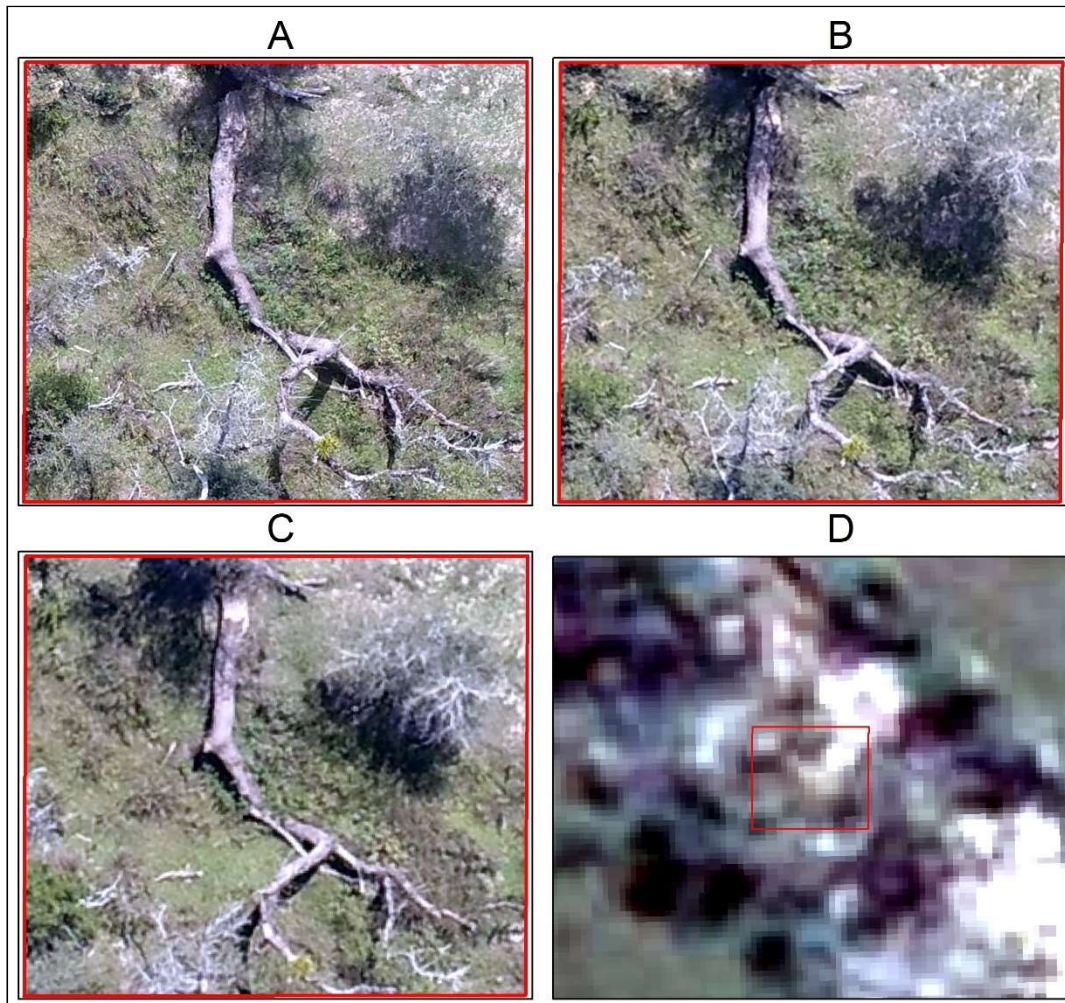
Figura 85- Amostra F2 (processos erosivos/solo exposto), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

Figura 86 - Amostra F3 (queda de vegetação por senescência/processos naturais/supressão), Propriedade A.

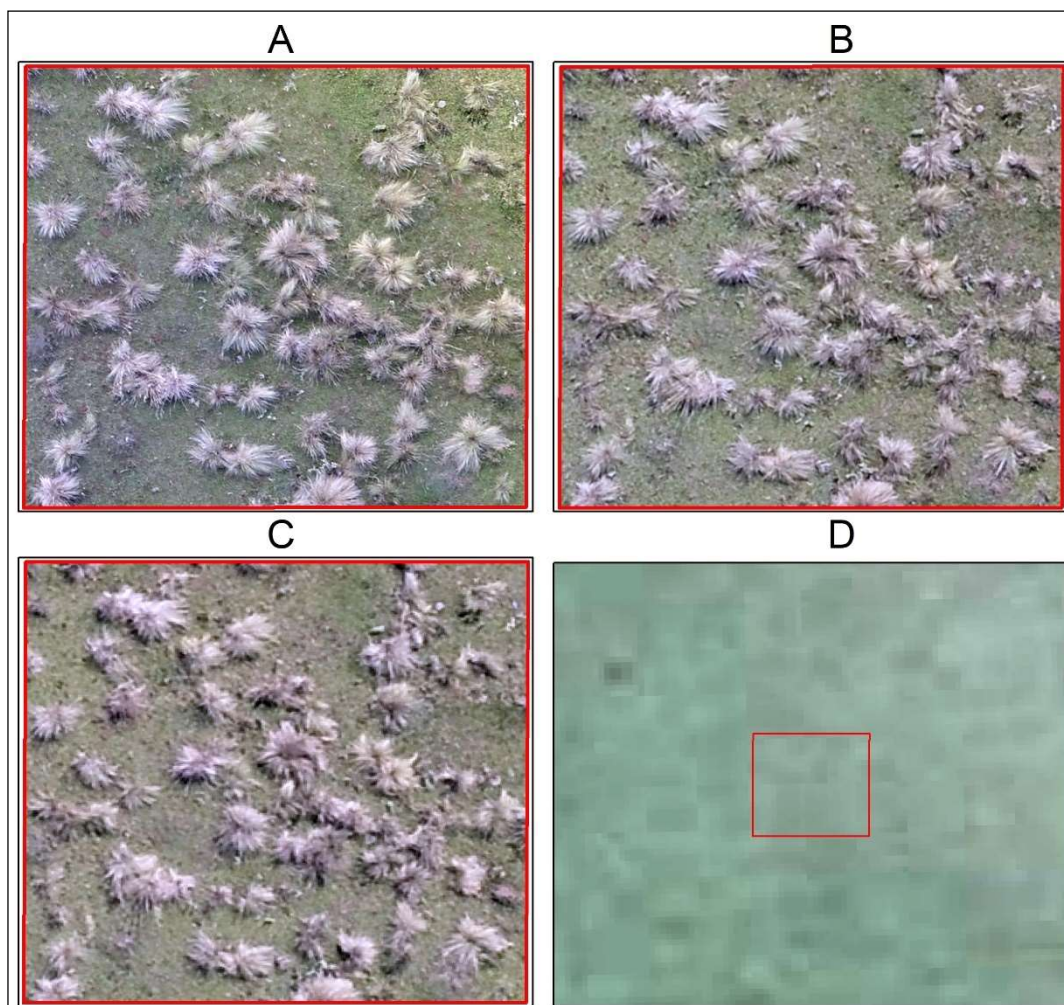


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.



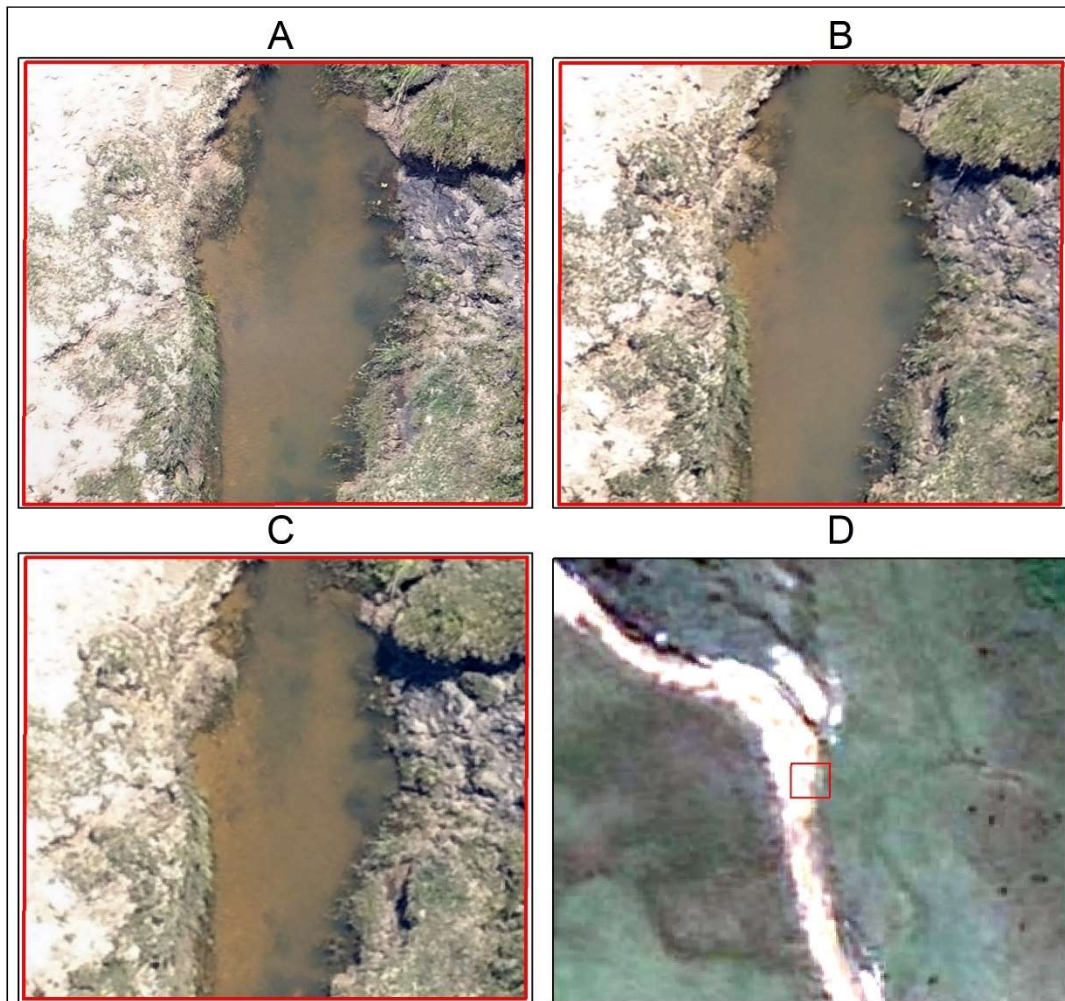
Figura 87 - Amostra F4 (vegetação campestre), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

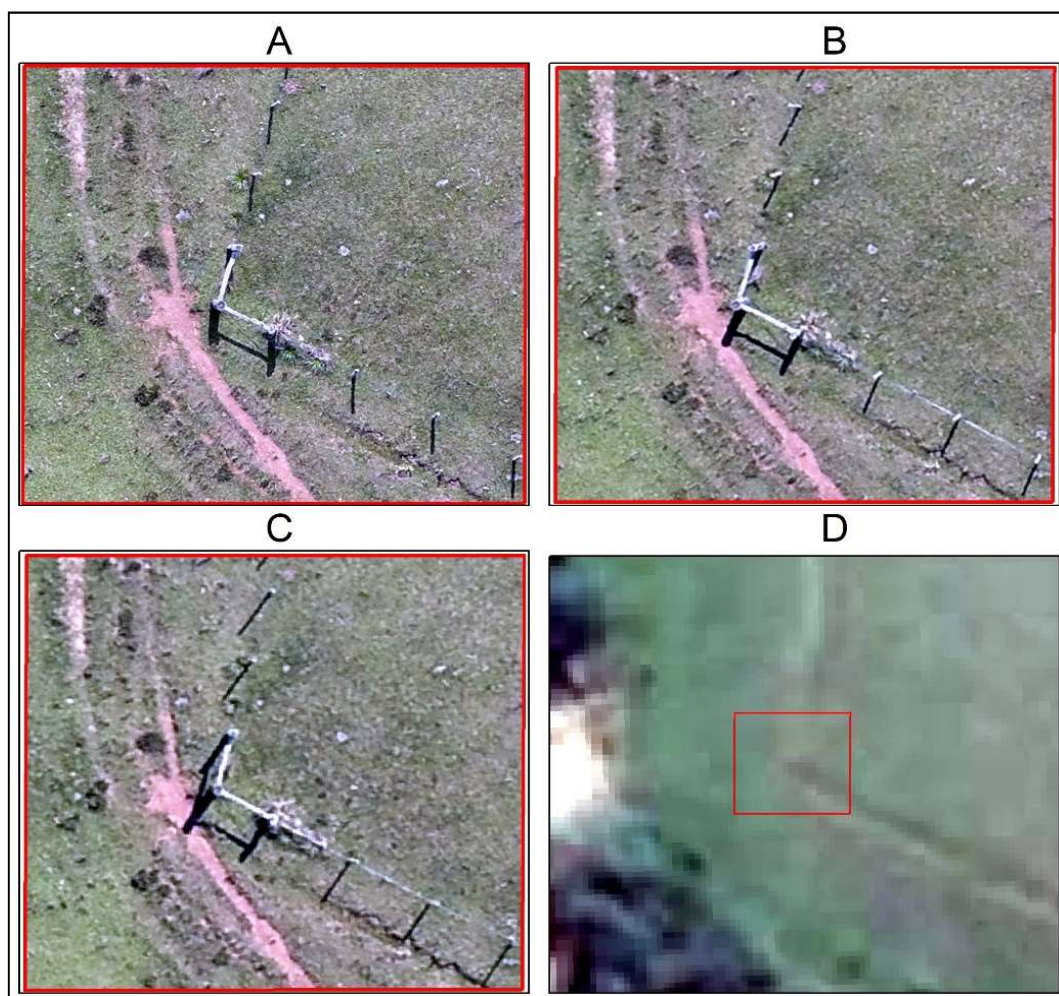
Figura 88 - Amostra F5 (curso d'água), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

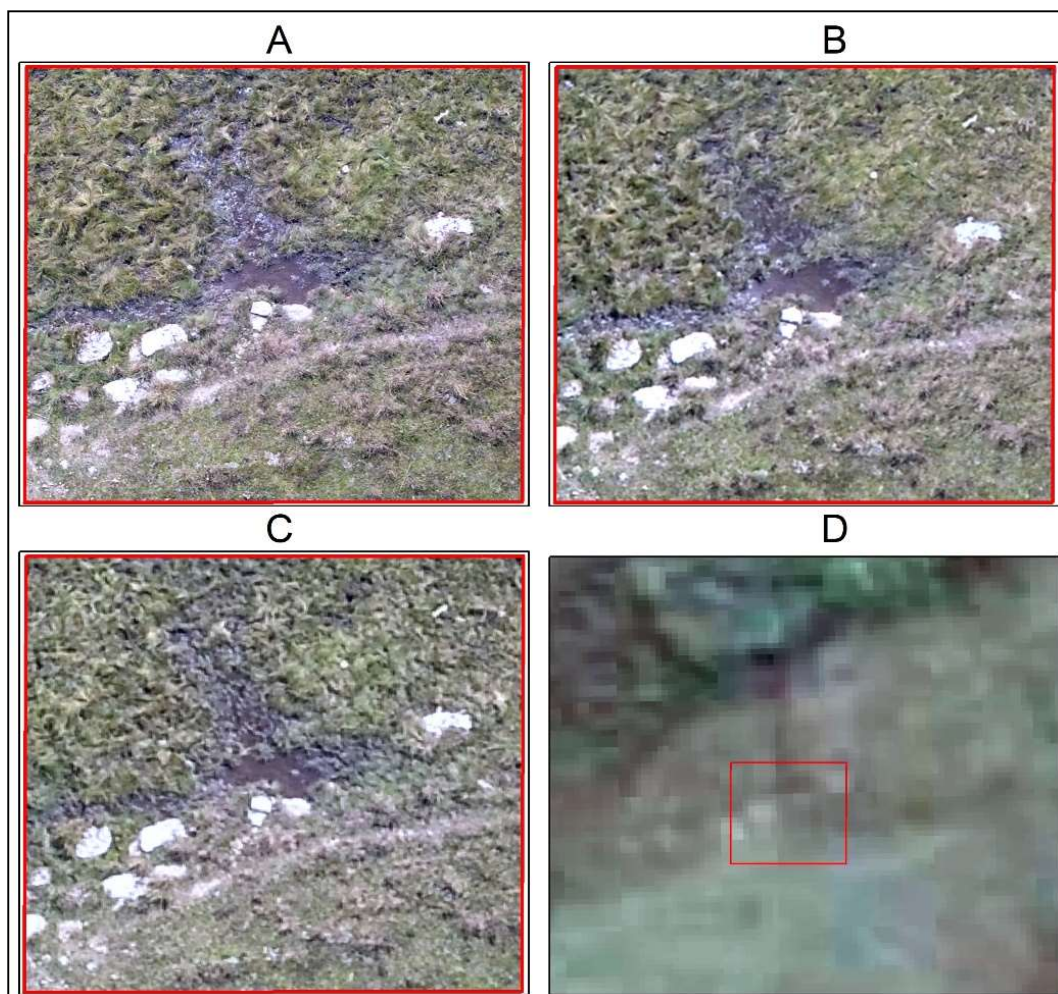
Figura 89 - Amostra F6 (divisas de área), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

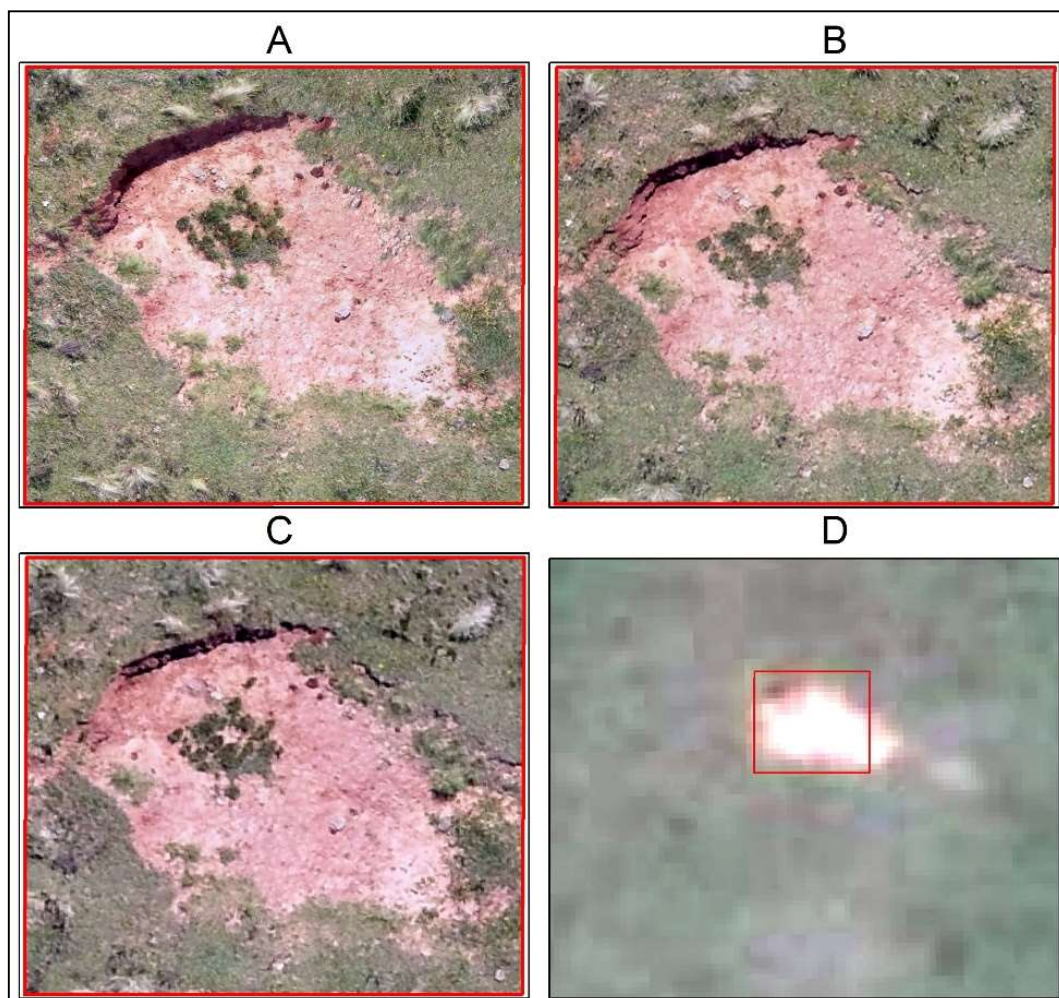
Figura 90 - Amostra F7 (afloramento d'água/nascente), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

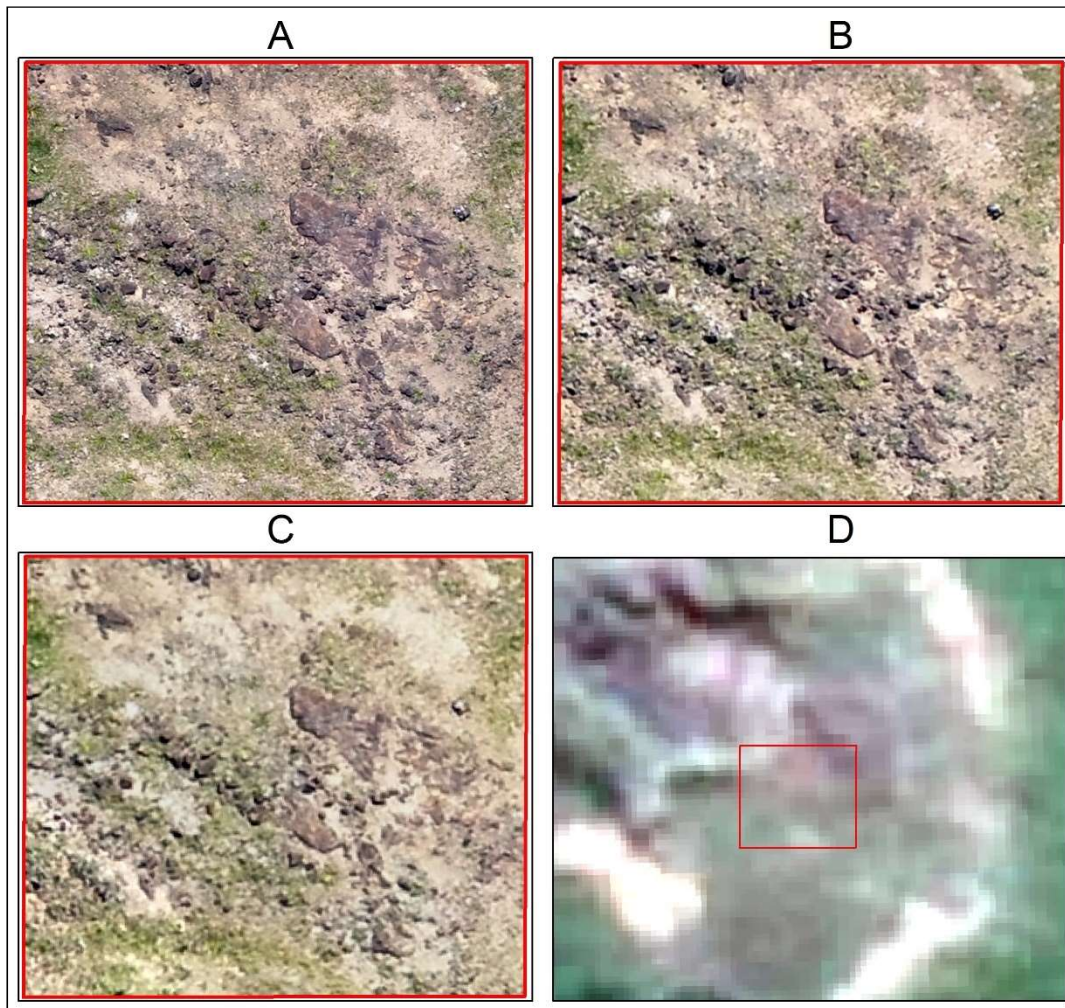
Figura 91 - Amostra F8 (solo exposto), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

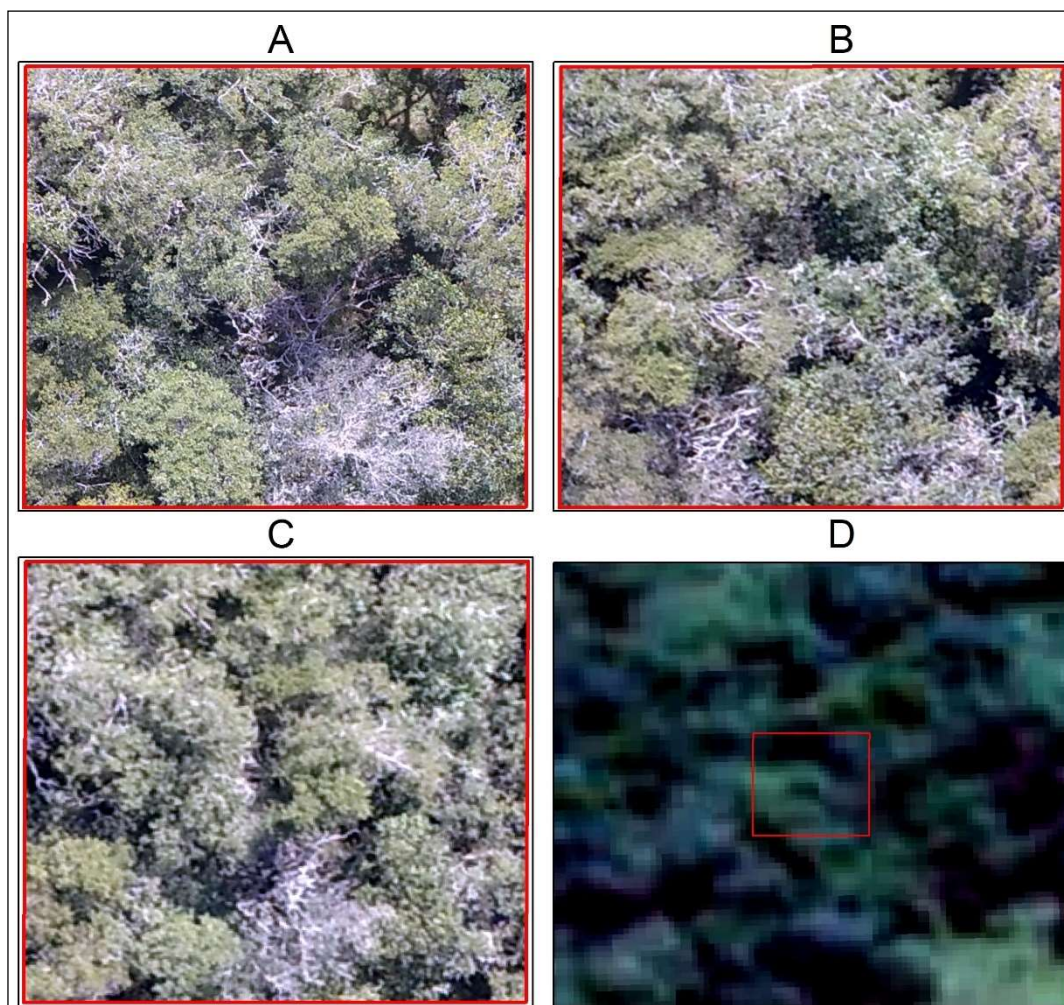
Figura 92 - Amostra F9 (afloramento rochoso), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

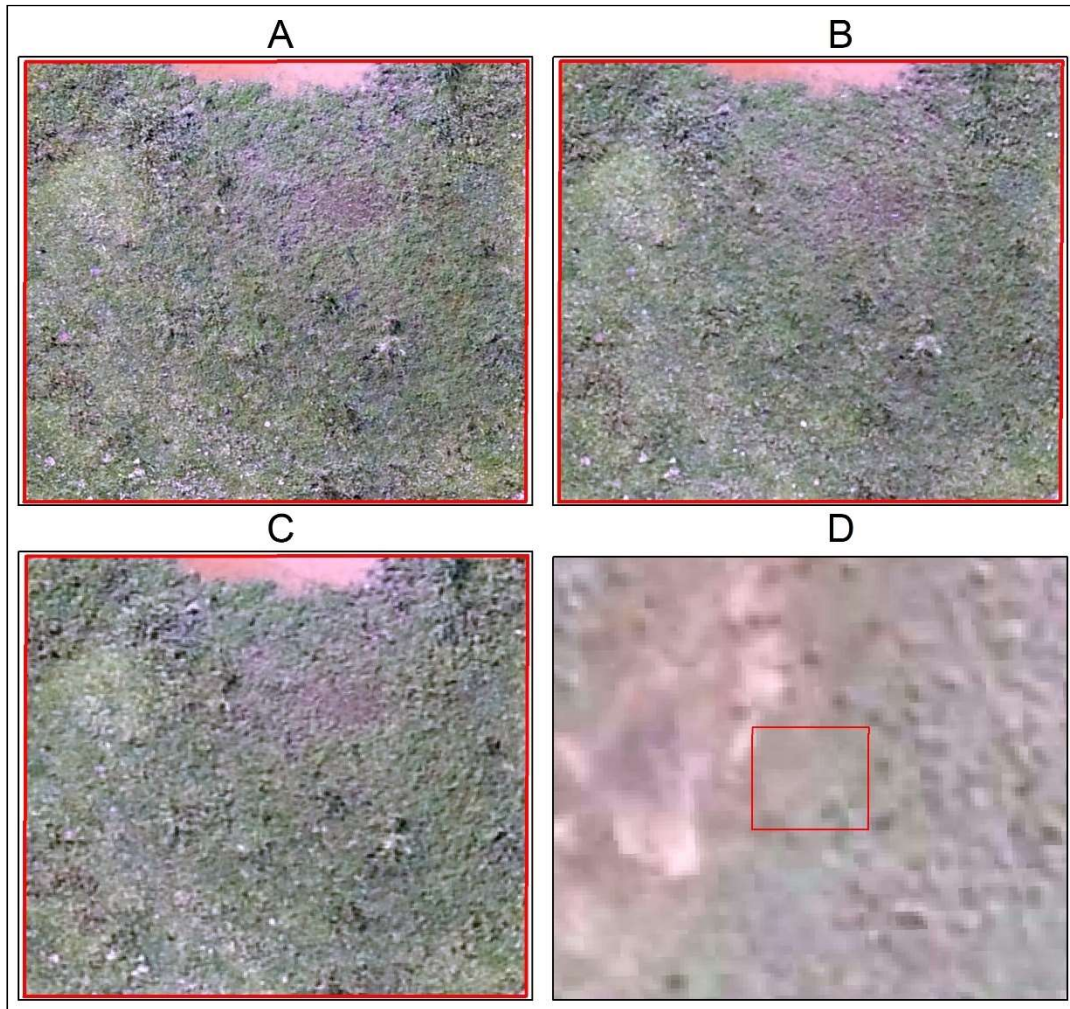
Figura 93 - Amostra F10 (dossel florestal), Propriedade A.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,27 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 1,97 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 2,79 cm. D) *Google Earth*.

Figura 94 - Amostra F1 (área úmida), Propriedade B.

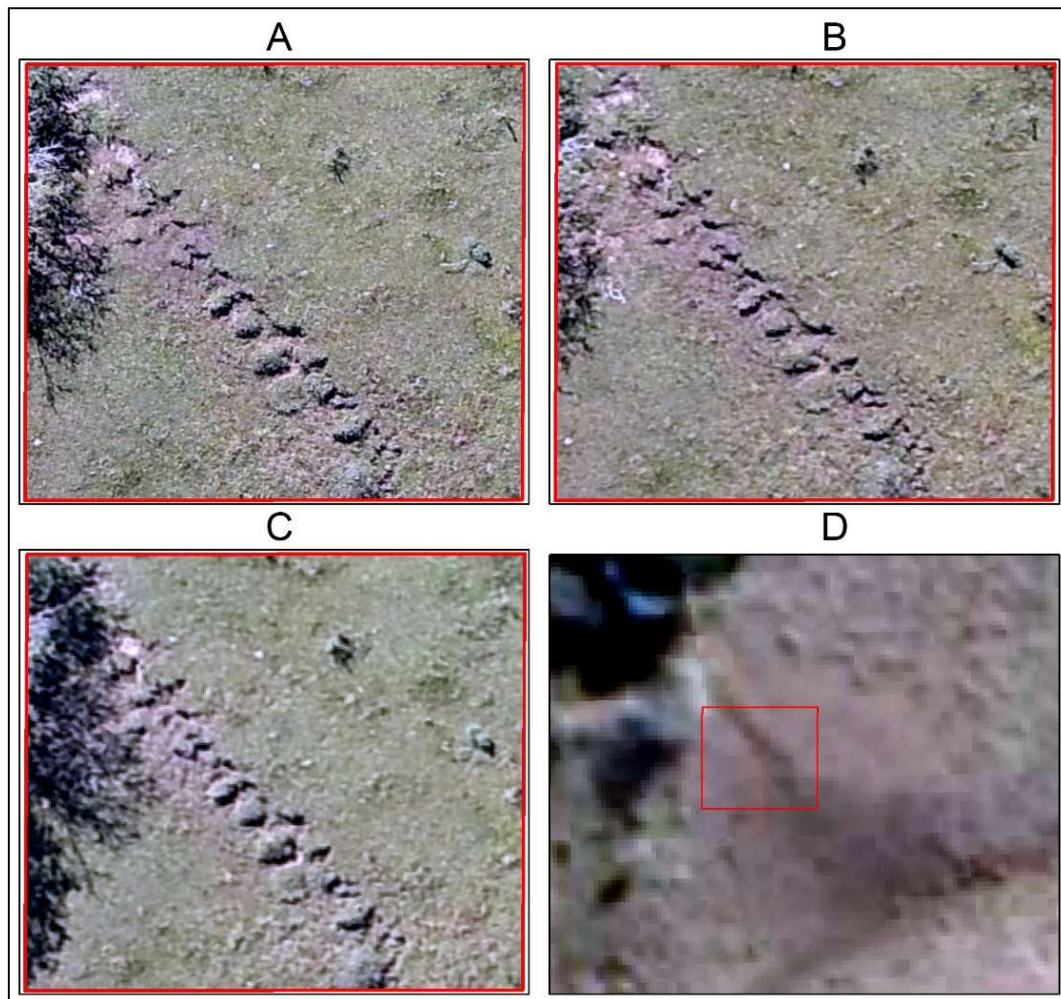


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.



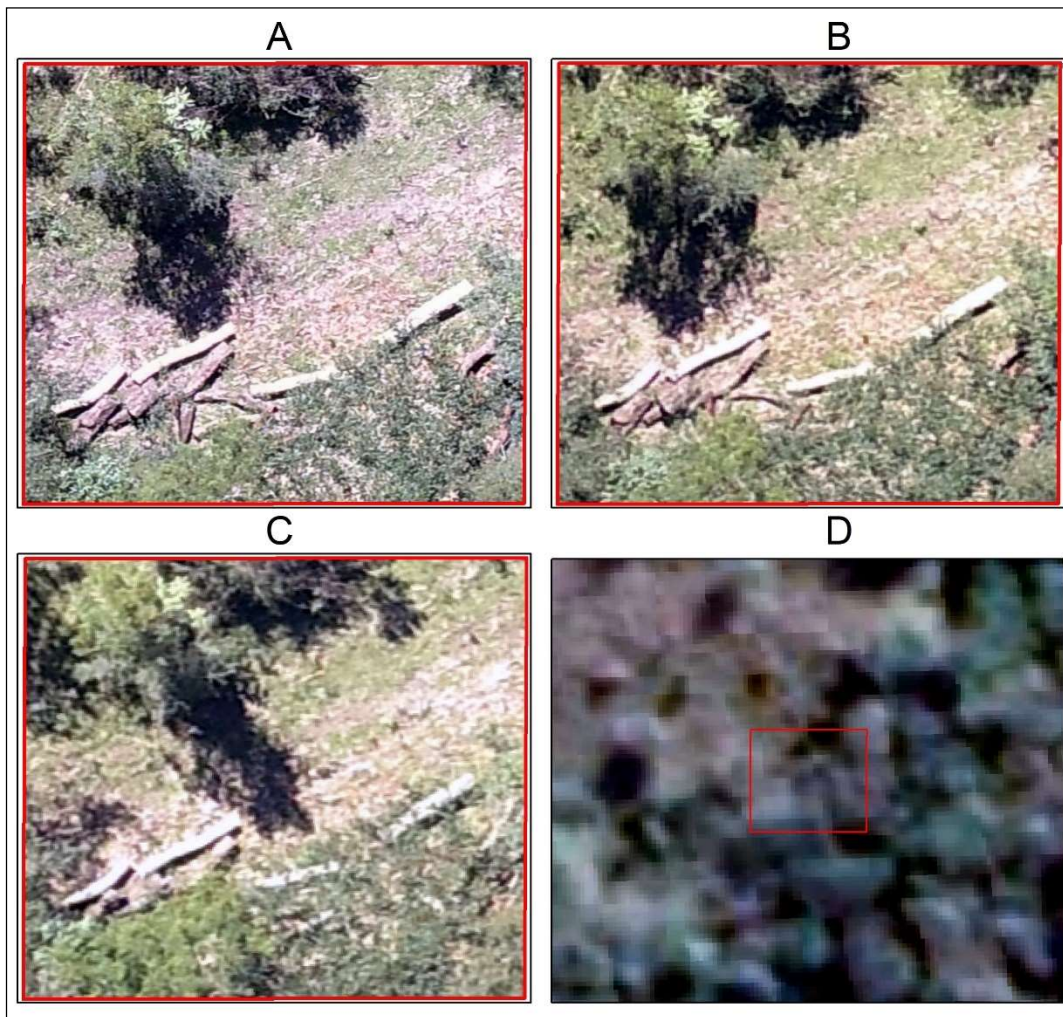
Figura 95 - Amostra F2 (processos erosivos/solo exposto), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

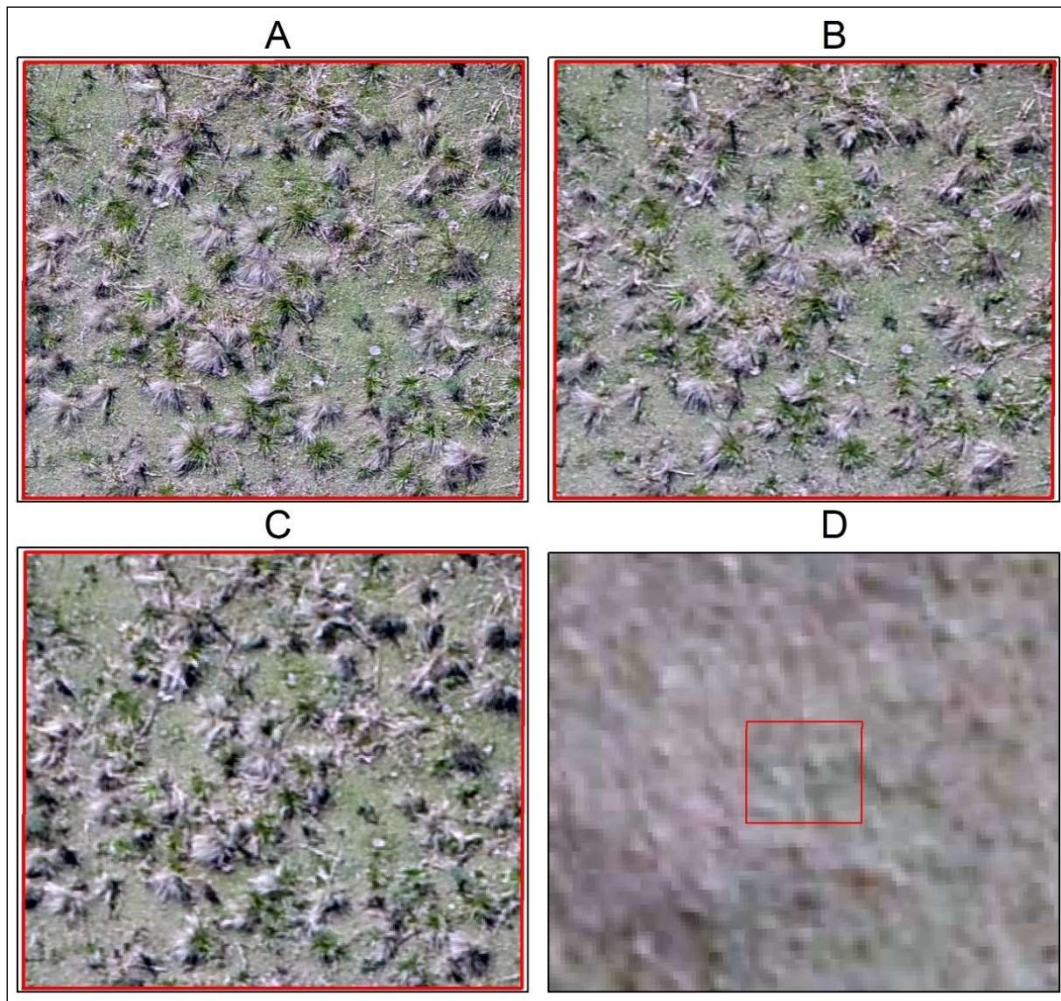
Figura 96 - Amostra F3 (queda de vegetação por senescência/processos naturais/supressão), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

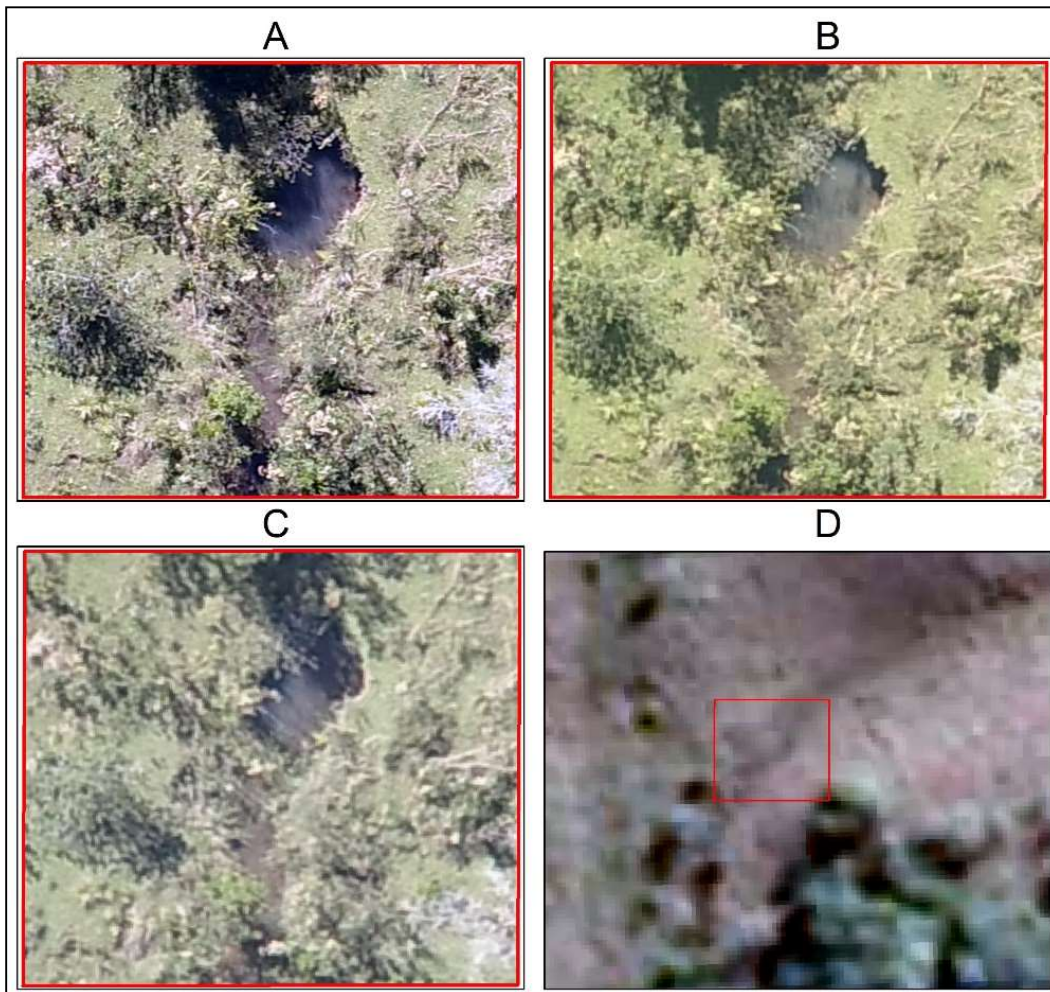
Figura 97- Amostra F4 (vegetação campestre), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

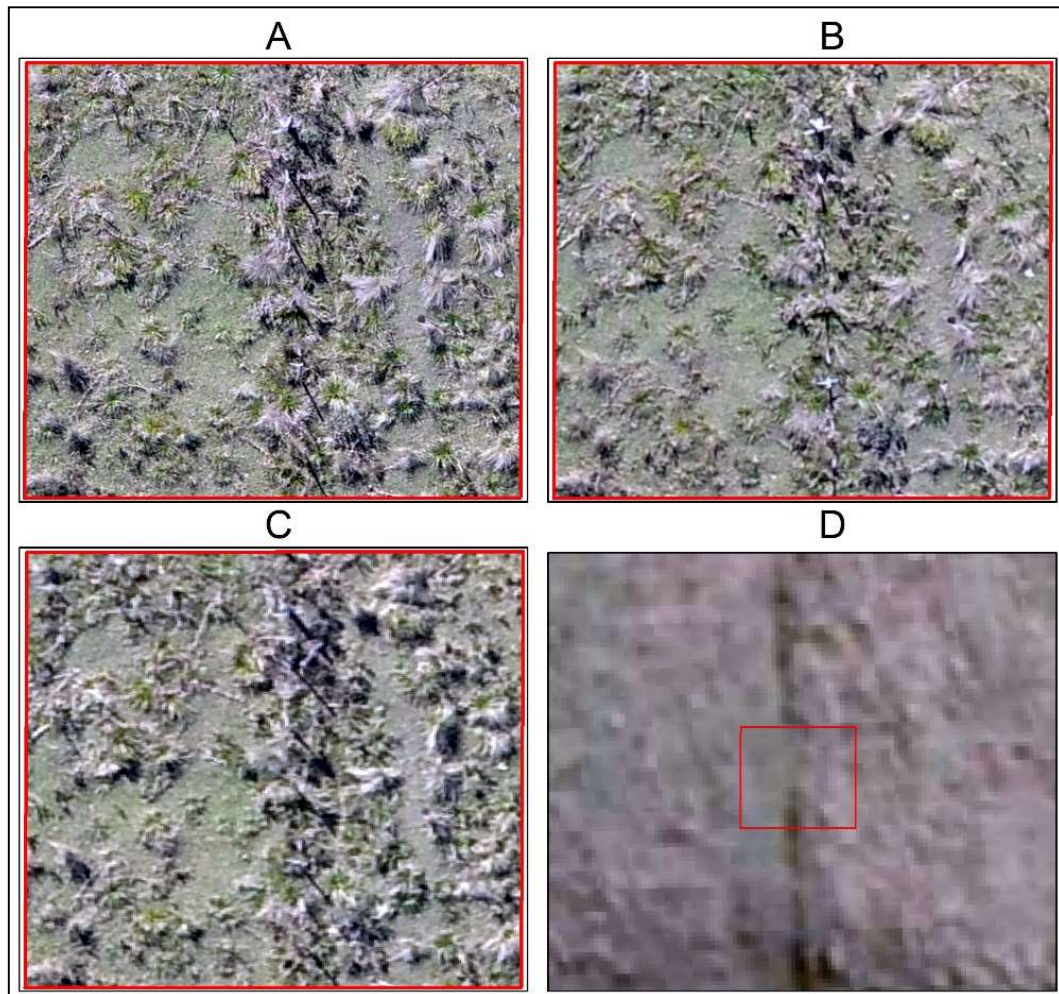
Figura 98 - Amostra F5 (curso d'água), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

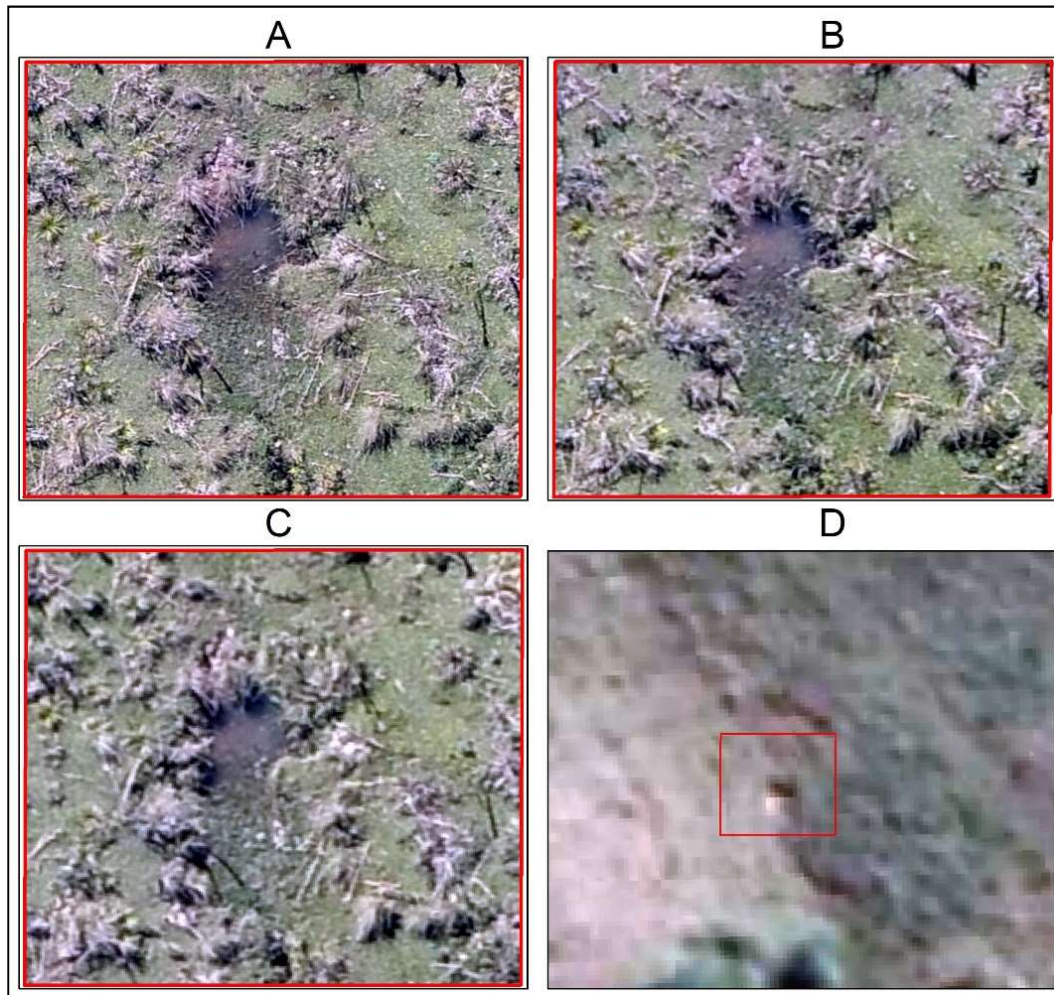
Figura 99 - Amostra F6 (divisas de área), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

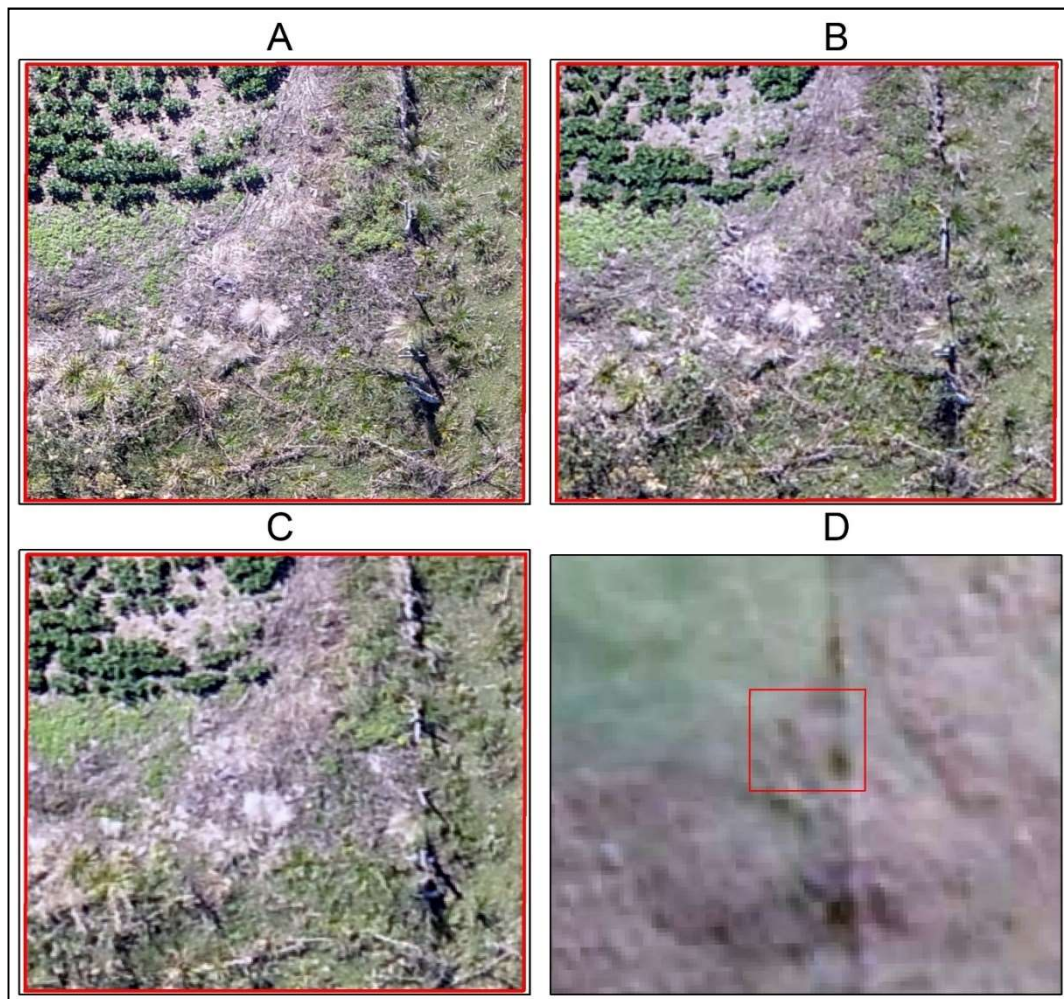
Figura 100 - Amostra F7 (aflorentamento d'água/nascente), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

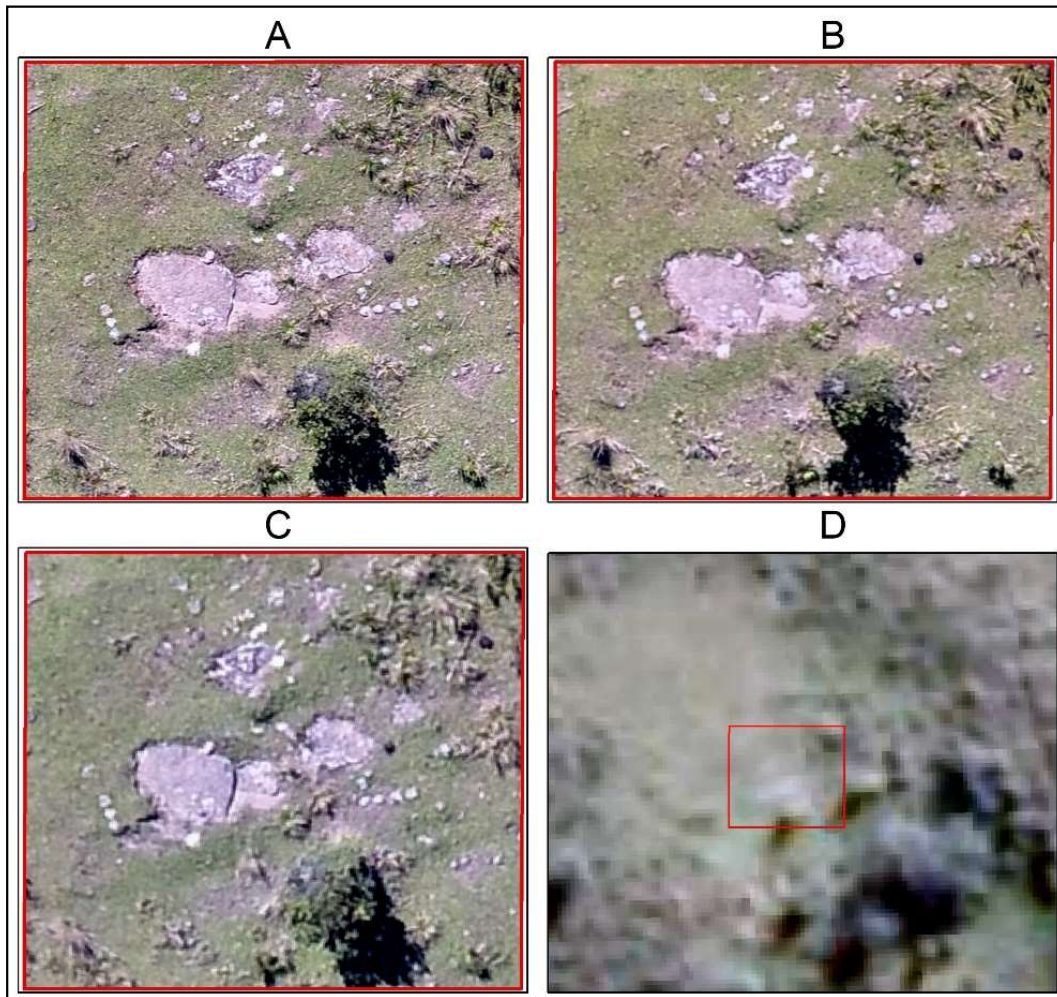
Figura 101- Amostra F8 (solo exposto), Propriedade B.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.

Figura 102 - Amostra F9 (afloramento rochoso), Propriedade B.

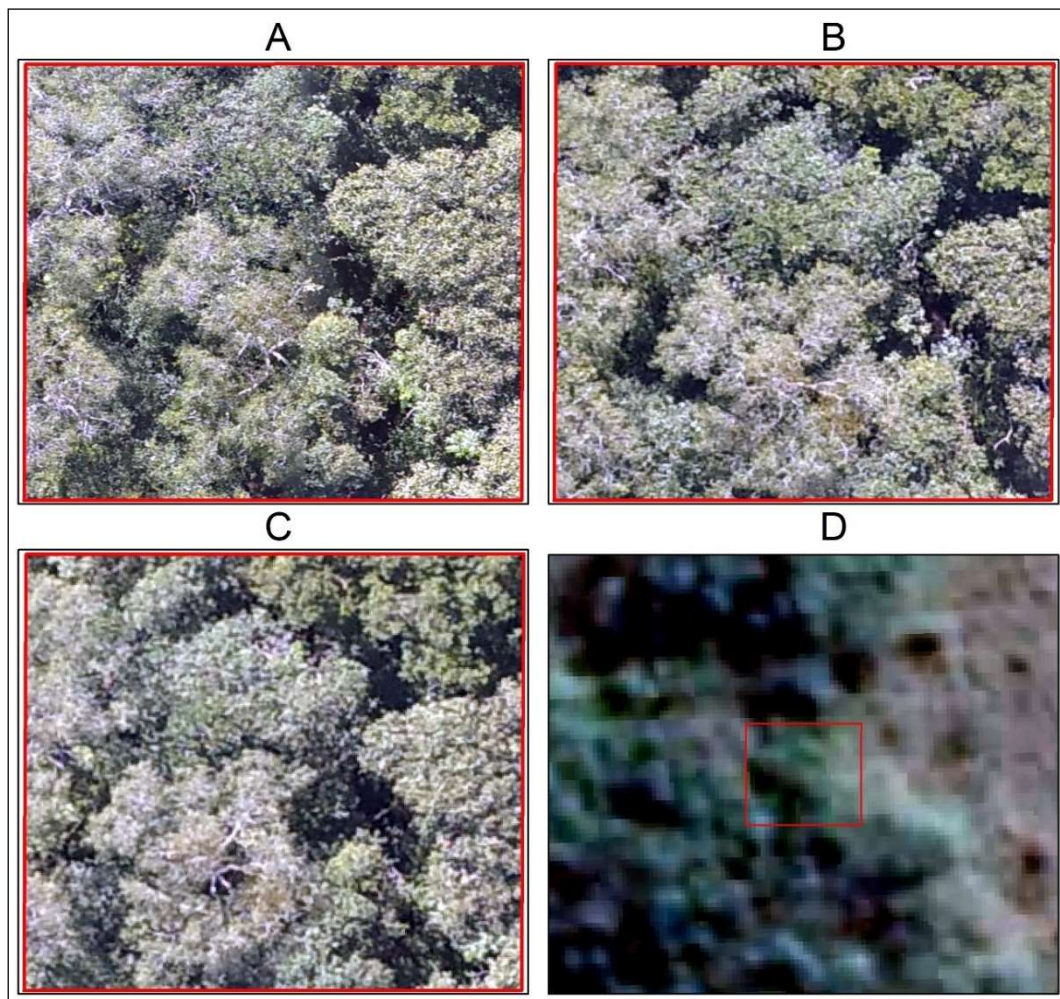


Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.



Figura 103- Amostra F10 (dossel florestal), Propriedade B.



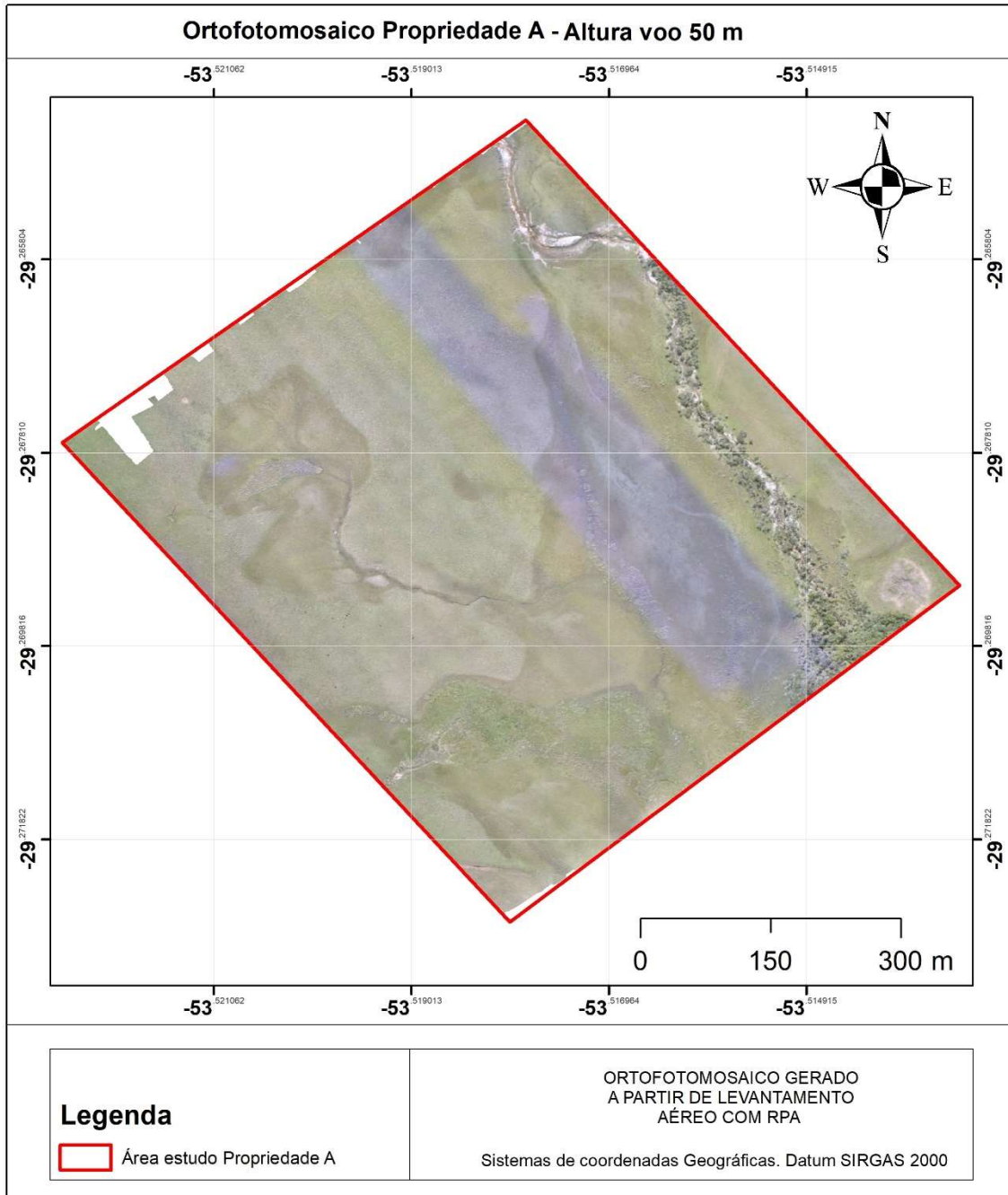
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Legenda: A) RPA altura de voo (50 m): *pixel* 1,66 cm. B) RPA (80 m): *pixel* 2,45 cm. C) RPA (110 m): *pixel* 3,29 cm. D) *Google Earth*.



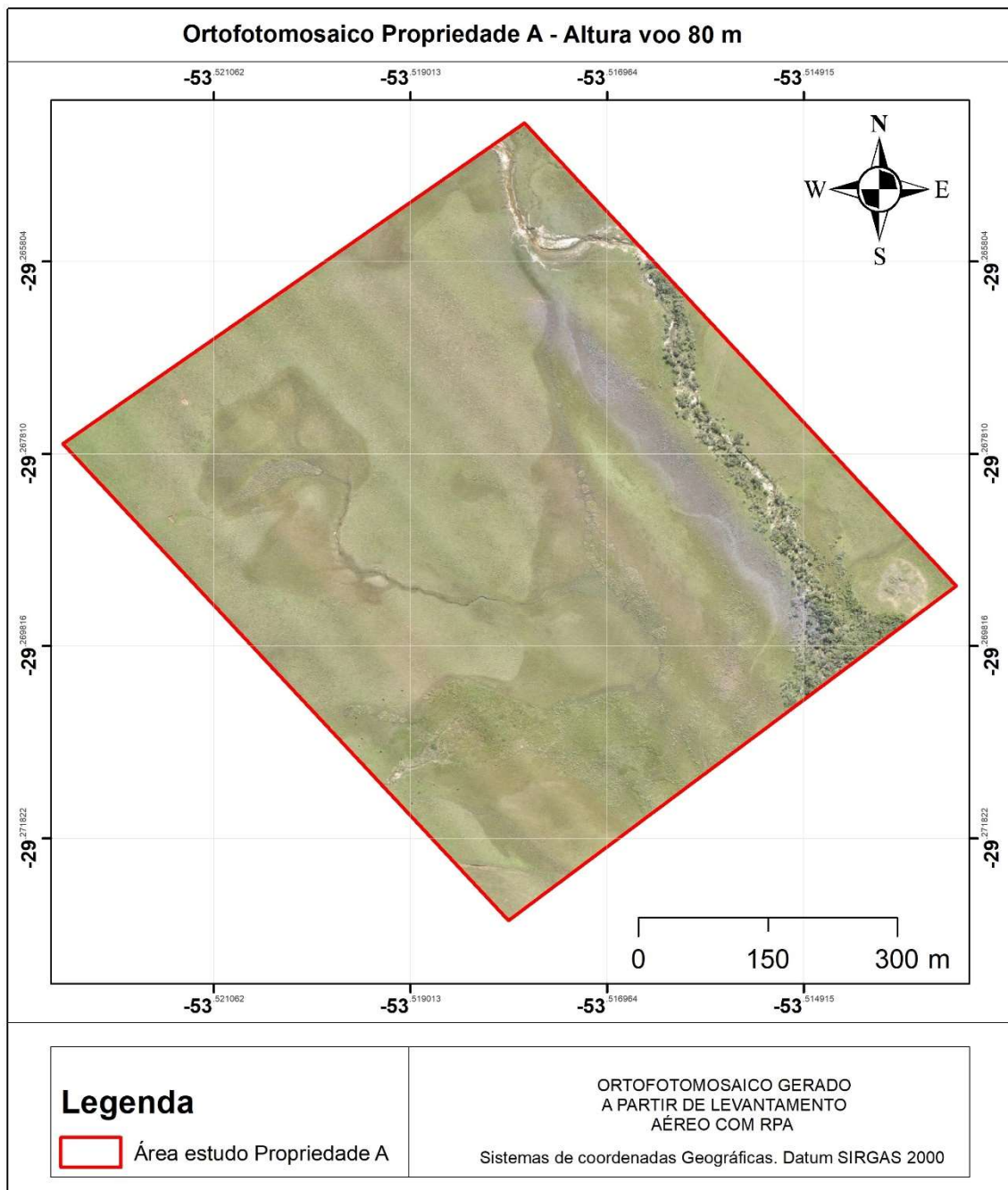
**APÊNDICE IV- ORTOFOTOMOSAICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO NAS  
DIFERENTES ALTURAS DE VOO.**

Figura 104- Ortofotomosaico da Propriedade A para a altura de voo 50 m.



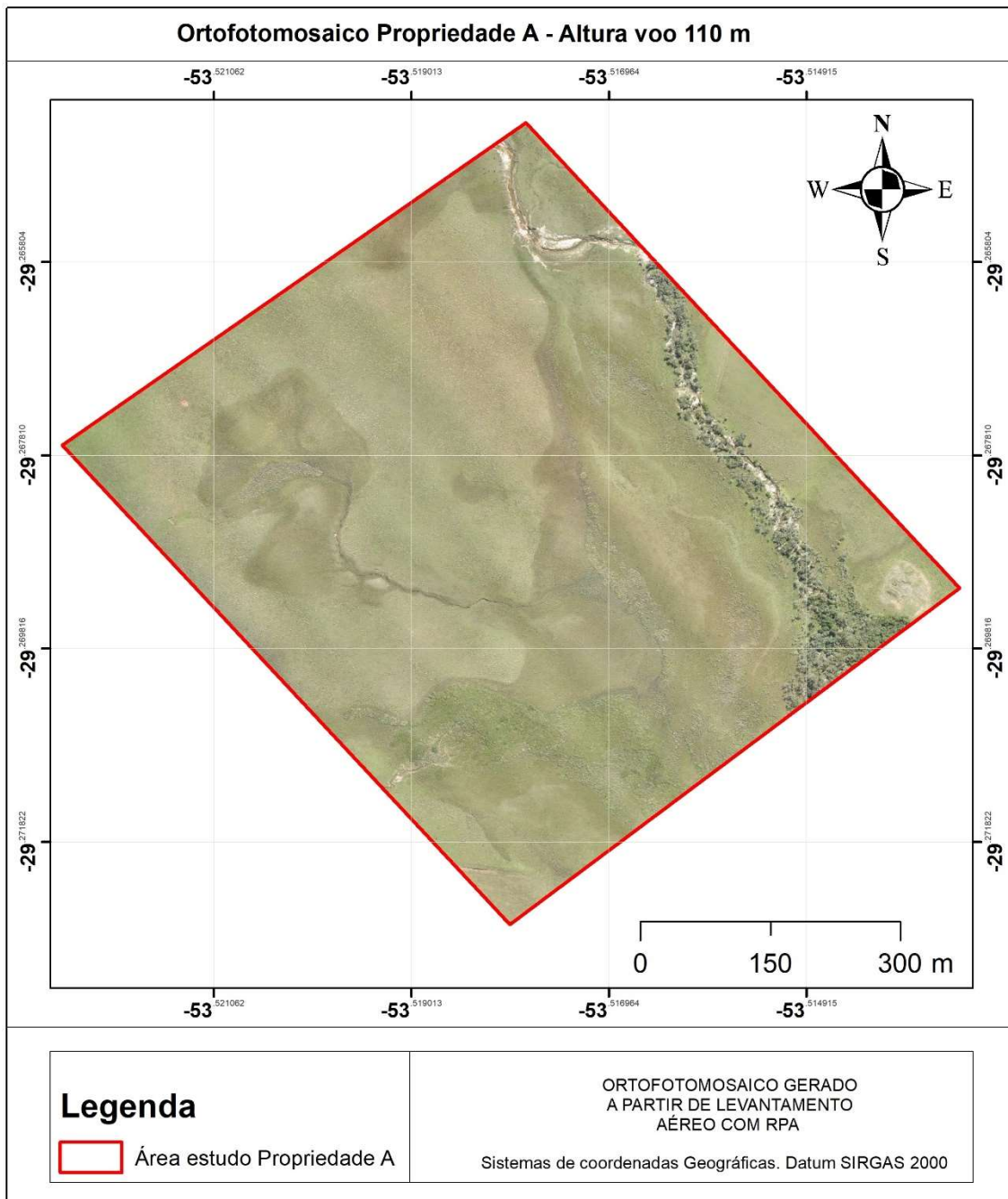
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 105- Ortofotomosaico da Propriedade A para a altura de voo 80 m.



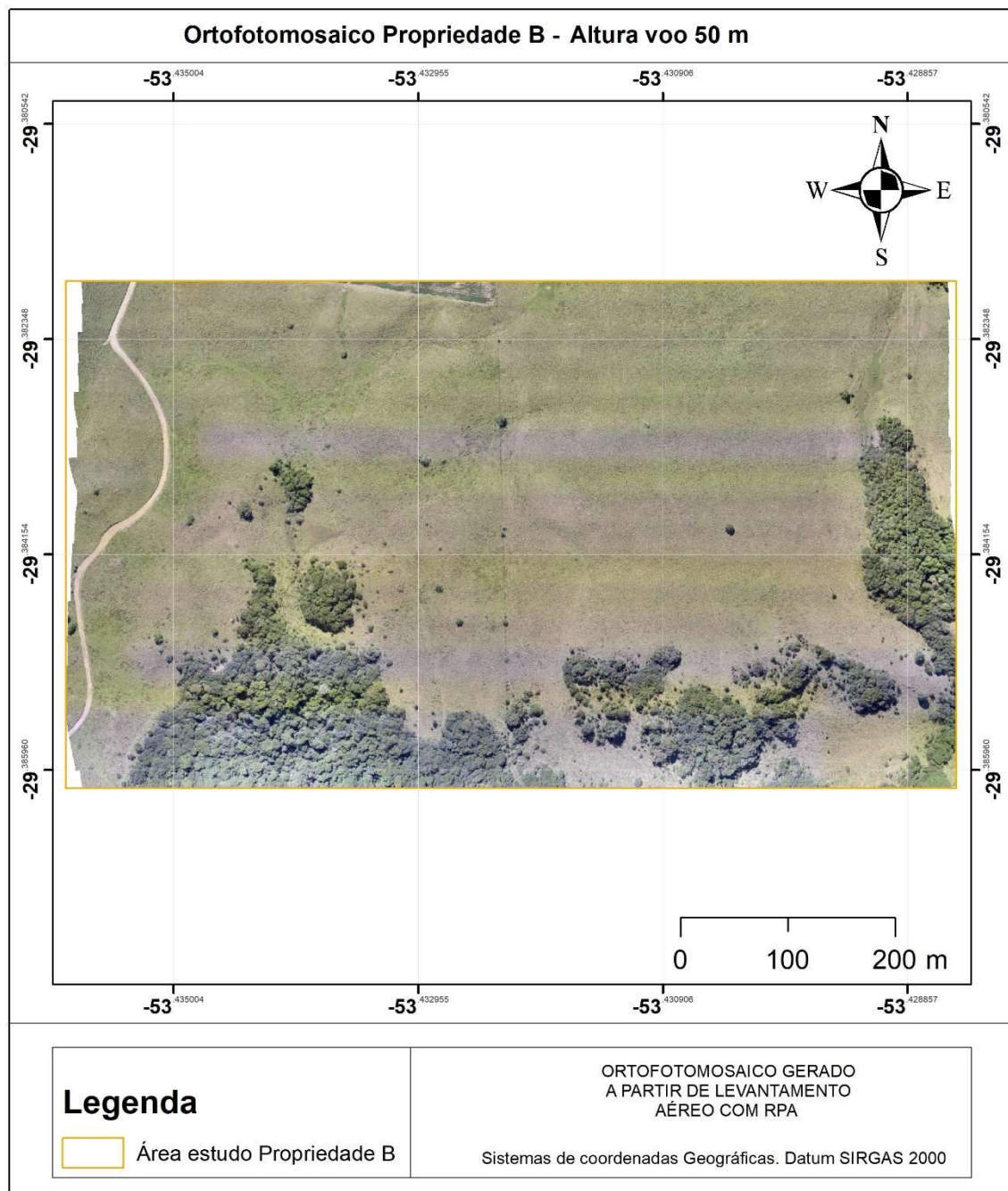
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 106- Ortofotomosaico da Propriedade A para a altura de voo 110 m.



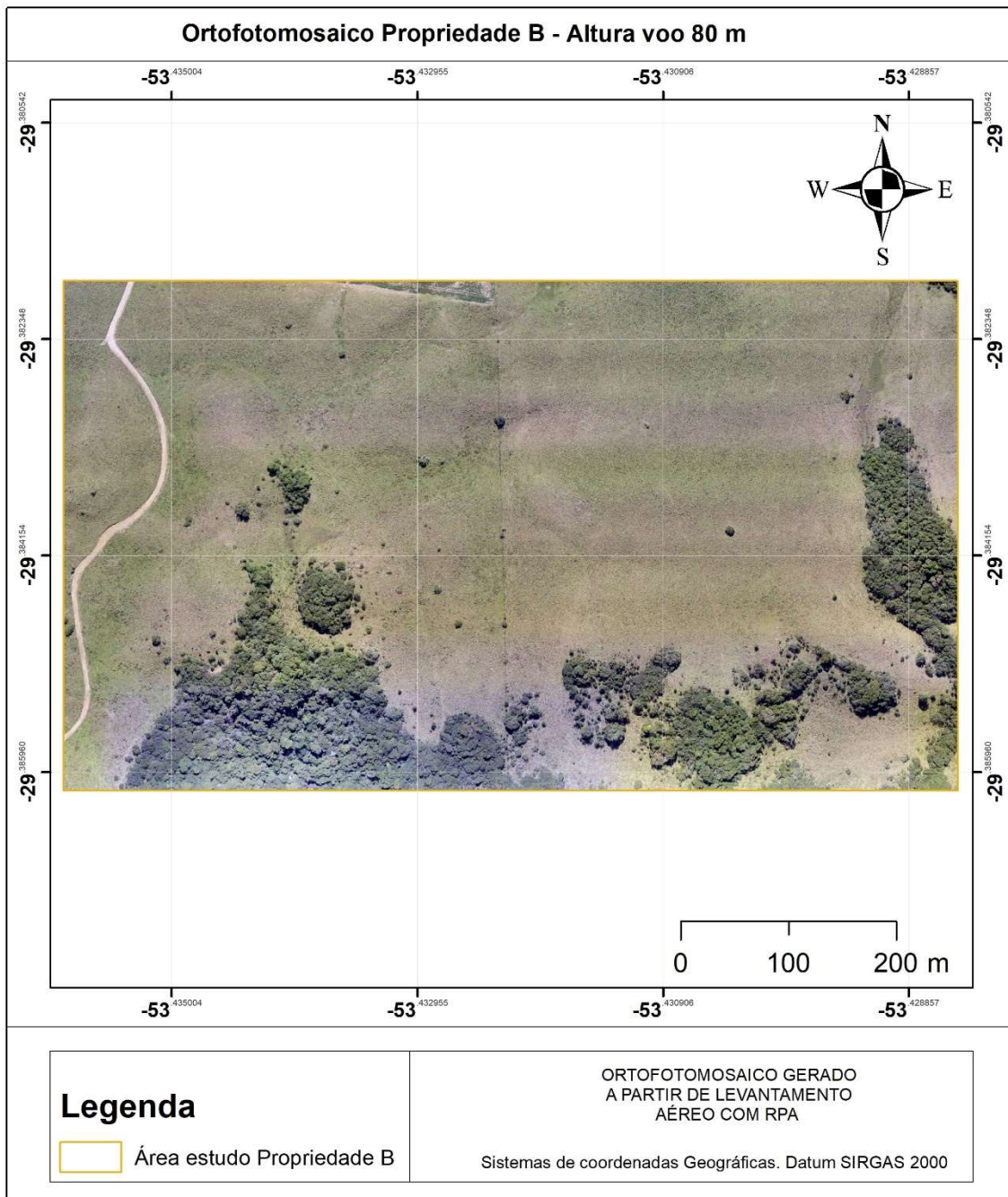
Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 107- Ortofotomosaico da Propriedade B para a altura de voo 50 m.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

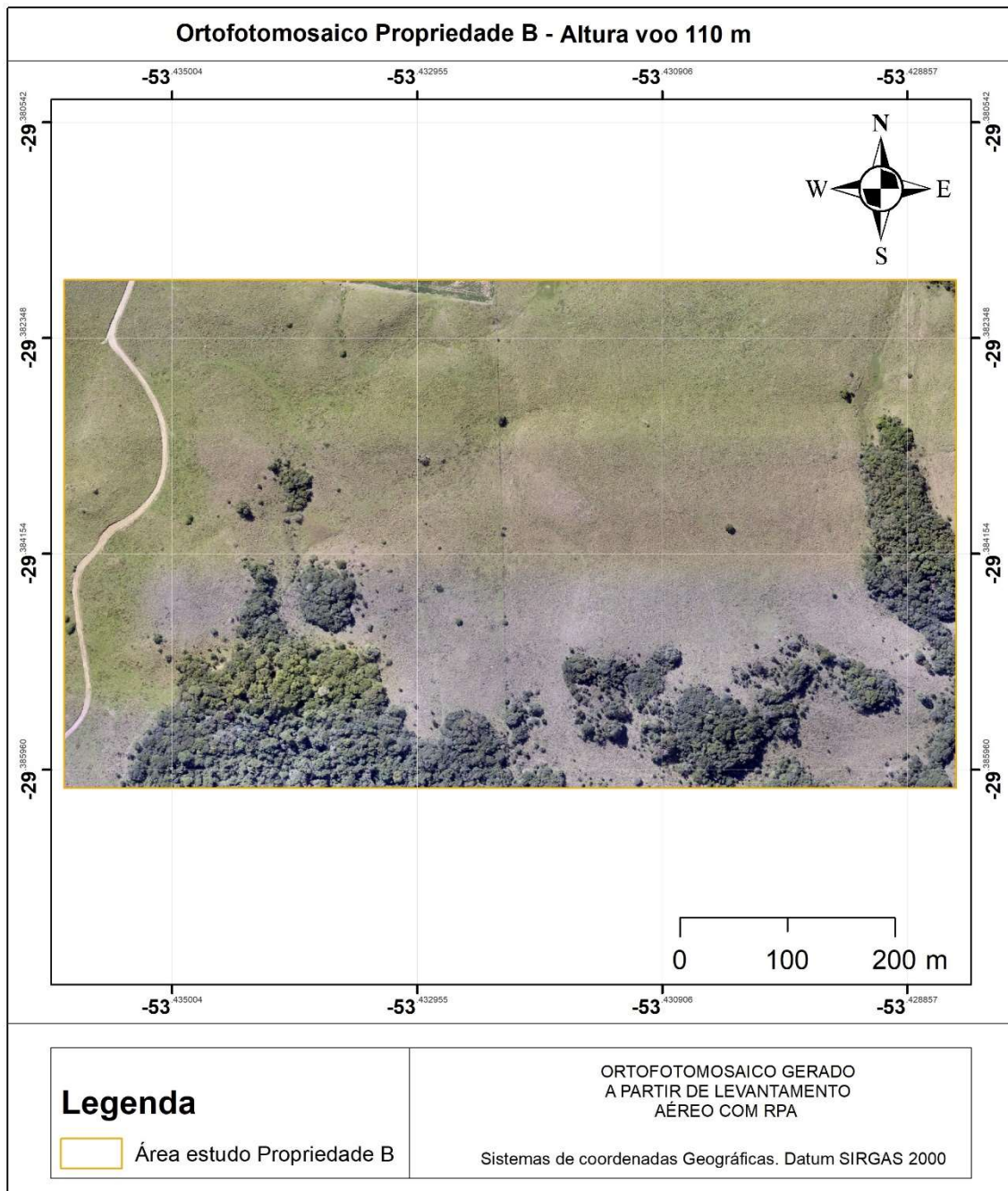
Figura 108 - Ortofotomosaico da Propriedade B para a altura de voo 80 m.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.



Figura 109- Ortofotomosaico da Propriedade B para a altura de voo 110 m.



Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 110- Parâmetros gerados no processamento dos ortofotomosaicos no *software Agisoft PhotoScan* da área de estudo, Propriedade A.

Relatório do Processamento Propriedade A:  Altura de voo 50 m	Number of images:	945	Camera stations:	933										
	Flying altitude:	26.1 m	Tie points:	540,053										
	Ground resolution:	1.1 cm/pix	Projections:	1,439,253										
	Coverage area:	0.225 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	2.29 pix										
<b>Parte-1</b>														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>					Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated										
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No										
Number of images:	718	Camera stations:	718											
Flying altitude:	51.8 m	Tie points:	472,765											
Ground resolution:	1.27 cm/pix	Projections:	1,334,443											
Coverage area:	0.211 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	2.06 pix											
<b>Parte-2</b>														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>					Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated										
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No										
Relatório do Processamento Propriedade A:  Altura de voo 80 m	Number of images:	669	Camera stations:	669										
	Flying altitude:	80 m	Tie points:	383,387										
	Ground resolution:	1.97 cm/pix	Projections:	1,099,793										
	Coverage area:	0.418 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	2.14 pix										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>					Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated										
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No										
Relatório do Processamento Propriedade A:  Altura de voo 110 m	Number of images:	356	Camera stations:	356										
	Flying altitude:	113 m	Tie points:	183,556										
	Ground resolution:	2.79 cm/pix	Projections:	536,171										
	Coverage area:	0.418 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	2.16 pix										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>					Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated										
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No										

Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.

Figura 111- Parâmetros gerados no processamento dos ortofotomosaicos no *software Agisoft PhotoScan* da área de estudo, Propriedade B.

<p>Relatório do Processamento Propriedade B:  Altura de voo 50 m</p>	Number of images: 999	Camera stations: 999									
	Flying altitude: 66.7 m	Tie points: 637,101									
	Ground resolution: 1.66 cm/pix	Projections: 1,954,628									
	Coverage area: 0.337 km <sup>2</sup>	Reprojection error: 2.44 pix									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated							
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No							
<p>Relatório do Processamento Propriedade B:  Altura de voo 80 m</p>	Number of images: 419	Camera stations: 419									
	Flying altitude: 98.6 m	Tie points: 254,433									
	Ground resolution: 2.45 cm/pix	Projections: 762,147									
	Coverage area: 0.341 km <sup>2</sup>	Reprojection error: 2.28 pix									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated							
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No							
<p>Relatório do Processamento Propriedade B:  Altura de voo 110 m</p>	Number of images: 264	Camera stations: 264									
	Flying altitude: 132 m	Tie points: 159,128									
	Ground resolution: 3.29 cm/pix	Projections: 481,898									
	Coverage area: 0.341 km <sup>2</sup>	Reprojection error: 2.39 pix									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Camera Model</th> <th>Resolution</th> <th>Focal Length</th> <th>Pixel Size</th> <th>Precalibrated</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FC6310 (8.8 mm)</td> <td>5472 x 3648</td> <td>8.8 mm</td> <td>2.41 x 2.41 µm</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>	Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated	FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No
Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated							
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	No							

Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.



## APÊNDICE V - SCRIPT DA PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM R PARA O PROCESSAMENTO DE DADOS RPA.

```
controle_treinamento = trainControl(method = 'cv', number = 10)
modelo <- train(as.factor(class) ~ ., method = "svmRadial", data = dfAll,
               trControl = controle_treinamento)
print(modelo)
precisao = modelo$results$Accuracy[3]
precisao

resultados30 = c()
for (i in 1:30) {
  controle_treinamento = trainControl(method = 'cv', number = 10)
  modelo = train(as.factor(class) ~ ., data = dfAll, trControl = controle_treinamento,
                method = 'svmRadial')
  precisao = modelo$results$Accuracy[3]
  print(precisao)
  resultados30 = c(resultados30, precisao)
}

for (i in 1:30) {
  cat(gsub('[.]', ',', resultados30[i]))
  cat('\n')
}
```

Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.



## APÊNDICE VI - SCRIPT DA PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM R PARA O TESTE DE FRIEDMAN E NEMENYI.

```
if (!require("devtools"))
  install.packages("devtools")
devtools::install_github("trnnick/TStools")

require(tsutils)
require(TStools)
dados <- read.csv("escores.csv", header=TRUE, sep=";", dec=".")
matriz <- as.matrix(dados)

nemenyi(matriz, conf.int=0.95, plottype="vmcb", xlab = "Ranking")

legend("bottomright", legend="Teste de Friedman: < 0,05", cex=0.8)
legend("bottomright", legend="Distância crítica: 0,605", cex=0.8)
nemenyi(matriz, conf.level = 0.95, sort = c(TRUE, FALSE),
        plottype = c("vmcb"),
        select = NULL, labels = NULL)
```

Fonte: Produzido pela autora como dado da pesquisa.