UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

USO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL PARA A DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS

Maíra Guarlot Weis

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Março / 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

USO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL PARA A DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS

Maíra Guarlot Weis

Orientador: Normandes Matos da Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rondonópolis-MT: Março / 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

W426u Weis, Maíra Guarlot.
USO DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL PARA A DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS / Maíra Guarlot Weis. -- 2020
47 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Normandes Matos da Silva.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental, Rondonópolis, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Padrão de Exatidão Cartográfica. 2. Imagens de Alta Resolução Espacial. 3. Erros posicionais. 4. Processos erosivos. 5. Geoprocessamento. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Marcos Antônio Weis - *in Memoriam*.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por todas as bênçãos derramadas em meu caminho.

Aos meus pais Marcos (*in memoriam*) e Francisca por nunca medirem esforços para que eu estudasse e serem os meus maiores incetivadores desde muito cedo. Eu os amo!

Às minhas irmãs Giovanna e Maiara por serem minhas parceiras de vida e me ensinarem a amar nas diferenças.

Ao Professor Normandes pelo apoio, incentivo e por compartilhar seus conhecimentos desde a graduação e durante esses dois anos de mestrado que foram imprescindíveis para a minha formação e que levarei para a vida. Muito obrigada professor!

À Anny Keli, minha parceira de projetos, pela amizade e por tudo o que aprendi com ela nesses anos de laboratório. E à Camila Mioto por todo auxílio e atenção dispensados a mim durante o mestrado. Admiro muito vocês e sou muito grata por tê-las em minha banca.

Aos colegas de mestrado, em especial a Mayara Oliveira pela amizade, pelos cafés e pelos dias e noites de estudo.

À Guilherme Comelli por todo carinho, cuidado, paciência, por ser o meu melhor amigo e amor da minha vida.

À Bento Weis Comelli, minha razão para tentar ser melhor a cada dia e o presente mais lindo de Deus na minha vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carta imagem da área de estudo com a delimitação da mesma em vermelho.... 16
Figura 2. Plano de voo executado no software DroneDploy. O voo durou cerca de 28 minutos, com sobreposição frontal de 75% e sobreposição lateral de 65%..... 17
Figura 3. Fluxograma das etapas de processamento dos dados obtidos utilizando o software Agisoft Metashape Professional..... 18
Figura 4. Marcadores distribuídos na área de estudo para coleta de pontos de apoio. 19
Figura 5. Diferença entre o Modelo Digital de Superfício e Modelo Digital de Terreno. O MDT exclui vegetação alta e contruções, sendo uma representação mais fiel do terreno. **Fonte:** Blog CPE Tecnologia. 21
Figura 6. Posição das imagens obtidas por meio de ARP modelo Phanton 4 Pro da área de estudo. As áreas em azul escuro são as que possuem maior quantidade de imagens por metro quadrado e as áreas em vermelho possuem menor quantidade de imagens como é o caso das bordas da área imageada. 23
Figura 7. Alinhamento das ortofotos obtidas no imageamento da área de estudo. 24
Figura 8. Nuvem de pontos (Tie Points). É o primeiro produto gerado a partir do alinhamento das ortofotos. 24
Figura 9. Localização dos pontos de controle coletados na área de estudo utilizando o receptor GNSS..... 25
Figura 10. Densificação da nuvem de pontos. Nesse processo o software aumenta a quantidade de pontos existentes, diminuindo os espaços vazios, resultando em um maior refinamento da representação da superfície. 25
Figura 11. Ortomosaico gerado a partir da ortorretificação das imagens, seguida da mosaicagem das mesmas, com identificação dos processos erosivos existentes na área por meio de fotointerpretação..... 26
Figura 12. Modelo 3D da área de estudo gerado a partir da nuvem densa de pontos. 26
Figura 13. Modelo Digital de Superfície da área de estudo contendo a localização dos processos erosivos identificados na área de estudo..... 28
Figura 14. Classificação da nuvem densa de pontos. Os locais destacados com a cor marrom foram classificados como terreno, enquanto os de cor branca são basicamente compostos por vegetação densa (árvores). A partir dessa classificação é possível gerar o Modelo digital de Terreno - MDT..... 29

Figura 15. Modelo digital de Terreno - MDT, gerado a partir da classificação da nuvem densa de pontos. 29
Figura 16. Curvas de nível da área de estudo. 30
Figura 17. Tabela de erros fornecida pelo relatório de processamento do sofware Agisoft Metshape Profesional antes da inserção dos pontos de apoio, contendo os erros médios de localização da câmera, onde o eixo X correponde ao Leste, o eixo Y ao Norte e o eixo Z a Altitude. 31
Figura 18. Tabela fornecida pelo Tabela de erros fornecida pelo relatório de processamento do sofware Agisoft Metshape Profesional após a inserção dos pontos de apoio, contendo os erros médios de localização da câmera, onde o eixo X correponde ao Leste, o eixo Y ao Norte e o eixo Z a Altitude. 31
Figura 19. Carta imagem da área de estudo. 37
Figura 20. Fluxograma de trabalho para a rotina de confecção de rede de drenagem da área executado no software ArcGis. 38
Figura 21. Mapa da área de estudo contendo o Modelo Digital de Terreno (MDT), as curvas de nível e o fluxo acumulado de água. 41
Figura 22. Carta-imagem da área de estudo contendo as curvas de nível e o fluxo acumulado de água. 42
Figura 23. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A altitude aumenta da esquerda para a direita. 44
Figura 24. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A altitude aumenta da esquerda para a direita. 45
Figura 25. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A maior altitude encontra-se na cor verde e a menor altitude encontra-se na cor laranja. 46

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	**9**
REFERÊNCIAS	**11**
CAPÍTULO I	**13**
ABSTRACT	**13**
RESUMO	**13**
INTRODUÇÃO	**14**
MATERIAL E MÉTODOS	**15**
Caracterização da área de estudo	**15**
Imageamento da área	**16**
Processamento dos dados obtidos	**17**
RESULTADOS E DISCUSSÃO	**22**
CONCLUSÕES	**32**
REFERÊNCIAS	**33**
CAPÍTULO II	**35**
ABSTRACT	**35**
RESUMO	**35**
INTRODUÇÃO	**36**
Caracterização da área de estudo	**37**
Processamento de imagens	**38**
RESULTADOS E DISCUSSÃO	**40**
CONCLUSÕES	**42**
REFERÊNCIAS	**47**

INTRODUÇÃO

Processos erosivos são fenômenos naturais, que ocorrem a partir do transporte e sedimentação do próprio solo. A ação antrópica, porém, pode intensificar tal processo ou mesmo causá-lo devido à utilização incorreta deste recurso, quando, por exemplo, ocorre a supressão da vegetação em terreno com declividade acentuada. A identificação e controle de processos erosivos são necessários para um bom uso do solo, evitando assim, problemas posteriores.

Segundo Documento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) 33% dos solos do mundo estão degradados. Na América Latina o cenário também é preocupante, cerca de 50% dos solos latino americanos estão com algum tipo de degradação. No Brasil, os principais problemas encontrados são erosão, perda de carbono orgânico, e desequilíbrio de nutrientes (EMBRAPA, 2015). No que diz respeito às pastagens, estima-se que cerca de 20% das pastagens mundiais (naturais e plantadas) estejam degradadas ou em processo de degradação, sendo essa proporção pelo menos três vezes maior nas regiões mais áridas do planeta (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004).

O sensoriamento remoto é uma das ferramentas mais utilizadas para o estudo da Terra, sendo muito útil em trabalhos que exijam compreensão da distribuição espacial. Segundo Paranhos Filho et al. (2016) a definição de Sensoriamento Remoto é a obtenção de dados de um objeto ou fenômeno que está distante do sensor de amostragem. Isto inclui além das imagens de satélite e radar, as fotografias aéreas, digitais ou não. A vantagem de se utilizar o sensoriamento remoto inclui o fato de que ele facilita as observações em pequenas e grandes áreas e em diferentes escalas, facilitando estudos em diversas áreas de conhecimento (JONES & VAUGHAN, 2010).

Diante da necessidade de obtenção de informações atualizadas e detalhadas a respeito da qualidade ambiental de uma determinada região, a utilização de imagens aéreas pode contribuir para o estudo de processos erosivos, permitindo identificar, mensurar, monitorar e simular cenários futuros para essas áreas.

Estudos recentes também demonstraram que imagens adquiridas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) são fontes geradoras de dados por demanda, de baixo custo, eficientes, com elevada resolução temporal e espacial, permitindo monitoramento

refinado da paisagem (NIETHAMMER et al., 2012).

O custo para fazer levantamentos topográficos detalhados de uma área por meio de equipamentos de alta acuracia e precisão posicional é elevado, além de demandar uma quantidade significativa de tempo. Sendo assim, há a necessidade do desenvolvimento de métodos alternativos que sejam precisos e demandem menos tempo e menor custo para estudar os processos existentes na superfície do solo (SILVA et al., 2015).

Cândido et al. (2015) demonstraram a eficiência de RPAs no planejamento do uso e ocupação do solo como ferramenta de utilização em diversas áreas, incluindo a de áreas degradadas. Longhitano et al. (2016) utilizou em seu estudo imagens provenientes de ARP para analisar a evolução linear de voçoroca no entorno de uma usina hidrelétrica em Sonora-MS, obtendo ótimos resultados de área, extensão e volume do processo erosivo, permitindo uma análise temporal do comportamento do mesmo.

Nesse mesmo seguimento, Pinheiro et al. (2017) avaliou as contribuições do uso de RPA no tratamento de processos erosivos da BR 135 em São Luís-MA. Seus resultados evidenciaram que o uso de imagens de alta resolução espacial provenientes de RPA permitiram um monitoramento eficaz e com maior qualidade nos dados levantados, evidenciando falhas na vegetação e falhas no sistema de drenagem de águas pluviais, facilitando a tomada de decisão para medidas mitigadoras para a área degradada.

Nesse contexto, o presente projeto de pesquisa tem como objetivo geral a utilização de imagens de alta resolução espacial provenientes de Aeronave Remotamente Pilotada como técnica viável para diagnóstico e prognóstico de processos erosivos possibilitando a projeção de cenários futuros em termos de soluções para recuperação dessas áreas. Os objetivos específicos buscam identificar os processos erosivos por meio de Modelo Digital de Terreno, gerando curvas de nível, e traçar perfil de escoamento da água para apoiar a análise do processo erosivo auxiliando a tomada de medidas mitigadoras.

REFERÊNCIAS

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M. & PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Ciências – UFRJ**, Vol 38-1 p. 147-156. 2015. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/7853/6334>.

EMBRAPA. Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados. 2015. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que- 33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>.

JONES H. G., VAUGHAN R. A. Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications. Oxford university press, 2010.

LONGHITANO, G. A.; MANTOVANI, J. C.; BELTRÃO S. R. B. As contribuições associadas ao uso de VANTS para monitoramento da evolução de processos erosivos em Sonora-MS. FCT/UNESP, 2016. Disponível em: <http://docs.fct.unesp.br/eventos/ypss/temp/P4_YPSS_2016_Juliana_Mantovani.pdf >.

PARANHOS FILHO A. C.; MIOTO, L. C.; MARCATO JÚNIOR, J. & CATALANI, T. G. T. Geotecnologias em aplicações ambientais. Campo Grande, MS: UFMS, 2016.

PINHEIRO, A. C.; PEREIRA, R. M. L.; ROCHA, L. M.; BELLO, M. B. P.; CARVALHO, V. J. R. Uso de Vant para análise de processo erosivo na Avenida Engenheiro Emiliano Macieira – São Luis – MA. 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poços de Caldas – GO, 2017.

NIETHAMMER, U.; JAMES, M. R.; ROTHMUND, S. & TRAVELLETTI, J. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. **Engineering Geology,** v. 128, n. 1, p. 2-11, 2012.

SILVA, M. L. N; CÂNDIDO, B. M.; BATISTA, P.; QUINTON, J. N. Modelagem 3D da superfície do solo a partir de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado. XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal- RN, 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/284550098_Modelagem_3D_da_superficie_do_solo_a_partir_de_imagens_obtidas_por_Veiculo_Aereo_Nao_Tripulado>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME. Land degradation in drylands (LADA): GEF grant request. Nairobi, Kenya, 2004.

CAPÍTULO I

QUALITY ASSESSMENT OF PRODUCTS GENERATED BY SURVEY OF AREA USING ARP AND CONTROL POINTS

ABSTRACT

Space technologies have allowed productivity gains and an improvement in cost-benefit, being the case of most activities that depend on a spatio-temporal analysis of their occupation on the Earth's surface. Even with all the technological advances, georeferenced images still present positional uncertainties and, therefore, their quality must be evaluated in order to increase the accuracy of the generated products. In Brazil, this assessment can be made from the Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products (PEC-PCD) defined by the Technical Specification for the Acquisition of Vector Geospatial Data (ET-ADGV) (DSG, 2011), being based on the Standard of Cartographic Accuracy (PEC) defined in Decree-Law no. 89,817 of 1984, which regulates the classification of products as to their accuracy. In this work, the objective was to use control points collected with a GNSS receiver to reduce the uncertainties / positional errors of georeferenced images in order to contribute to the search for functional and dynamic forms of management, control and environmental recovery. The study area is located in the northeastern region of the municipality of Rondonópolis - MT, with approximately 77 hectares. For the mapping of the area, aerial photographs of high spatial resolution were used, obtained by means of an RPA model DJI Phantom 4 Pro, and six control points were collected in the area using a GNSS Topcon Hiper V receiver. Data processing was performed using the Agisoft Metashape Professional software. As a final product, the Digital Terrain Model - MDT was obtained together with the level curves and, for comparative purposes, two processing reports were generated, one before the insertion of the support points and the other containing the points. The insertion of the control points significantly decreased the projection errors contained in the referenced images, whereas before the total error in the x, y and z axes was estimated at 8.507m and after the insertion the error became 0.191m.

Keywords: Cartographic Accuracy Standard, High Spatial Resolution Images, Positional Errors.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PRODUTOS GERADOS POR LEVANTAMENTO DE ÁREA UTILIZANDO ARP E PONTOS DE CONTROLE

RESUMO

Tecnologias espaciais têm permitido ganhos de produtividade e uma melhoria do custo-benefício, sendo o caso da maioria das atividades que dependem de uma análise espaço-temporal da sua ocupação sobre a superfície terrestre. Mesmo com todo o avanço tecnológico, imagens georreferenciadas ainda apresentam incertezas posicionais e, portanto, a qualidade das mesmas deve ser avaliada com o intuito de aumentar a acurácia

dos produtos gerados. No Brasil, esta avaliação pode ser feita a partir do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) definido pela Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) (DSG, 2011), sendo baseado no Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) definido no Decreto-Lei nº. 89.817 de 1984, que regulamenta a classificação dos produtos quanto à sua acurácia. Neste trabalho, objetivou-se por meio de pontos de controle coletados com receptor GNSS, diminuir as incertezas/erros posicionais das imagens georreferenciadas visando contribuir para a busca de formas funcionais e dinâmicas de gestão, controle e recuperação ambiental. A área de estudo se encontra na região nordeste do município de Rondonópolis - MT, com aproximadamente 77 hectares. Para o mapeamento da área foram utilizadas fotografias aéreas de alta resolução espacial, obtidas por meio de uma RPA modelo DJI Phantom 4 Pro, sendo coletados seis pontos de controle na área utilizando um receptor GNSS Topcon Hiper V. O processamento de dados foi realizado no *software Agisoft Metashape Professional*. Como produto final obteve-se o Modelo Digital de Terreno – MDT juntamente com as curvas de nível e, para fins comparativos, foram gerados dois relatórios de processamento, um antes da inserção dos pontos de apoio e outro contendo os pontos. A inserção dos pontos de controle diminuiu de maneira significativa os erros de projeção contidos nas imagens referenciadas, sendo que antes o erro total nos eixos x, y e z estava estimado em 8,507m e após a inserção o erro passou a ser de 0,191m.

Palavras-chave: Padrão de Exatidão Cartográfica, Imagens de Alta Resolução Espacial, Erros posicionais.

INTRODUÇÃO

Tecnologias espaciais têm permitido ganhos de produtividade e uma melhoria do custo-benefício, sendo o caso da maioria das atividades que dependem de uma análise espaço-temporal da sua ocupação sobre a superfície terrestre. Tal análise usa de imagens digitais obtidas por satélites que podem ser incorporadas/integradas a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), podendo ser considerado como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real (LEAL et al., 2013).

No que diz respeito ao zoneamento para gestão ambiental dá-se mediante avaliação das potencialidades e fragilidades do meio, avaliação do uso atual do solo e vocações, seleção das alternativas e definição das zonas ambientais, utilizando o mapeamento para identificar a heterogeneidade de componentes visualmente apresentados pelo ambiente identificando, delimitando e se setorizando o território por meio de mapas temáticos que evidenciem seus aspectos físicos, de vegetação, de uso e ocupação de solos e unidades de paisagem, dentre outros (BARBOSA et al., 2009).

Todavia, como em qualquer produto cartográfico, as imagens georreferenciadas

ainda apresentam incertezas posicionais e, portanto, a qualidade das mesmas deve ser avaliada. No Brasil, esta avaliação pode ser feita a partir do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) definido pela Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) (DSG, 2011), sendo baseado no Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) definido no Decreto-Lei nº. 89.817 de 1984, que regulamenta a classificação dos produtos quanto à sua acurácia.

Toda a metodologia utilizada para a classificação de um produto cartográfico quanto a este Decreto-Lei, pode ser encontrada na Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Os pontos de verificação (ou pontos de checagem) rotineiramente são utilizados no processo de avaliação da qualidade posicional dos produtos gerados e são, na maioria das vezes, coletados em campo. No entanto, os dados de checagem também podem ser obtidos a partir de outro produto cartográfico, contanto que este possua melhor qualidade geométrica (FERREIRA et al., 2016)

Neste sentido este trabalho objetivou por meio de pontos de controle coletados com receptor GNSS, diminuir as incertezas/erros posicionais das imagens georreferenciadas tendo em vista contribuir para a busca de formas funcionais e dinâmicas de gestão, controle e recuperação ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Rondonópolis está localizada na região sudeste do Estado do Mato Grosso, a uma latitude 16º28’15” sul, longitude 54º38´08” oeste e altitude de aproximadamente 227 metros. Situa-se a uma distância de 215 km da capital e representa cerca de 0,48% da área total do estado, com uma área de 4.159,122 Km² (IBGE, 2010).

A área de estudo encontra-se na região nordeste do município, entre as coordenadas 16° 6'57.91"S e 54°29'3.69"O; 16° 7'1.04"S e 54°29'42.50"O, com área de aproximadamente 77 hectares (Figura 1).

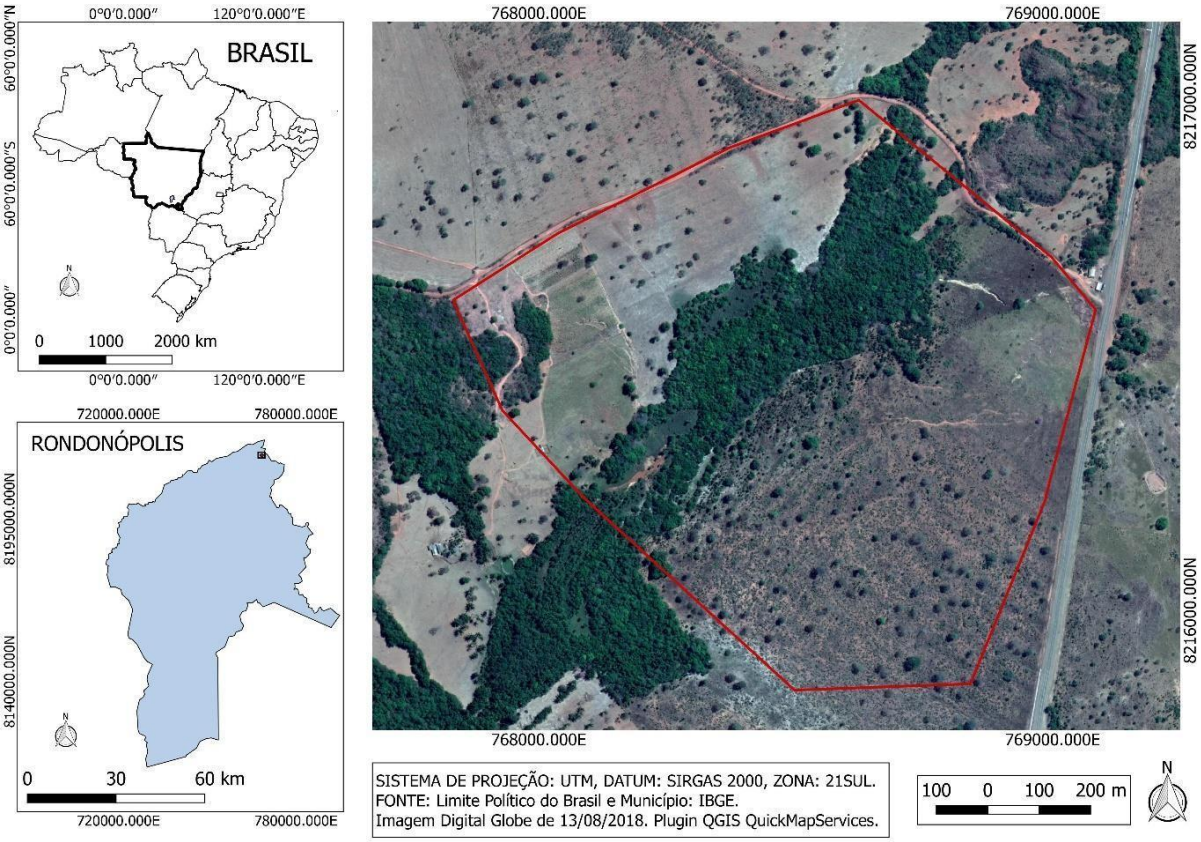

Figura 1. Carta imagem da área de estudo com a delimitação da mesma em vermelho.

O Bioma predominante no município é o Cerrado. O município se encontra na Depressão Rio Paraguai, que se caracteriza por extensas superfícies territoriais aplainadas (IBGE, 2010).

Imageamento da área

Para o mapeamento da área foram utilizadas fotografias aéreas de alta resolução espacial, obtidas por meio de uma RPA modelo Phanton 4. A ARP possui um sistema de geolocalização do tipo GPS/GLONASS, sensores anticolisão, uma câmera de 20 megapixels de resolução, tendo autonomia de voo de aproximadamente 25 minutos.

A missão foi planejada e executada no *software* livre *DroneDploy* (Figura 2). Foram feitos dois voos, utilizando duas baterias, com tempo de duração de aproximadamente 28 minutos. A sobreposição frontal das imagens foi de 75% e a sobreposição lateral de 65%.

Para um maior refinamento na criação do ortomosaico de fotos e acurácia dos dados apresentados, foram coletados seis pontos de controle na área utilizando um receptor GNSS Topcon Hiper V. Enquanto um receptor GPS comum de navegação fornece uma precisão de 5 a 10 metros, o receptor GNSS, que utiliza multiplas constalações de satélites (GPS, Galileu, Glonass e Beidou) reduz o erro chegando à precisão de decímetros ou centímetros.

Figura 2. Plano de voo executado no software DroneDploy. O voo durou cerca de 28 minutos, com sobreposição frontal de 75% e sobreposição lateral de 65%.

O imageamento foi realizado no dia 10 de Novembro de 2018 no período matutino, quando as condições meteorológicas estavam mais propícias (sem chuva, vento com velocidade moderada, nebulosidade parcial e inclinação solar adequada).

Processamento dos dados obtidos

O processamento de dados foi realizado no *software Agisoft Metashape*

Professional. O fluxo de trabalho se deu de acordo com as etapas demonstradas de maneira ordenada na Figura 3.

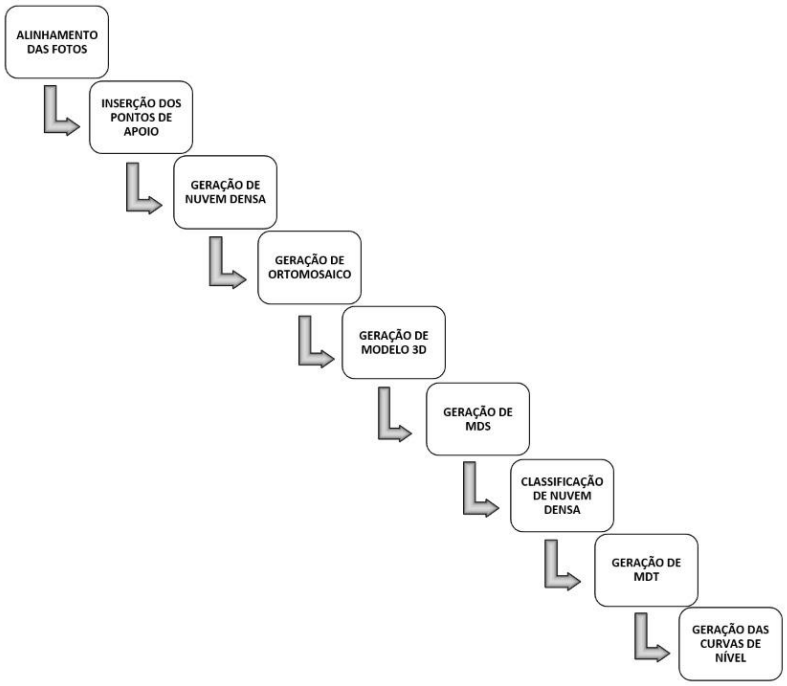

Figura 3. Fluxograma das etapas de processamento dos dados obtidos utilizando o software Agisoft Metashape Professional.

Alinhamento de fotos

A primeira etapa que deve ser realizada no *Agisoft Metashape* é a importação das fotos com parâmetros de coordenadas do tipo latitute, longitude e altitude nos EXIF dos arquivos. Após isso, faz-se o alinhamento das imagens que utiliza os dados de geolocalização das mesmas, incluindo o uso de algoritmo que busca pontos homólogos das imagens. Para isso é necessário determinar o grau de sobreposição frontal e lateral entre as imagens. O produto a ser gerado é a nuvem esparsa de pontos.

A partir dessa etapa é possível gerar uma nuvem de pontos densificada, os modelos 3D e o mosaico de ortofotos. Ou seja, é o produto base. Para o alinhamento das fotos foi utilizada a ferramenta *Align Photos* com o nível de acurácia alto, e foram ativadas as funções de pré-seleção genérica e pré-seleção de refeência já definidas pelo programa.

O produto gerado pelo alinhamento das fotos é a nuvem esparsa de pontos (*tie points*).

Inserção dos pontos de apoio

Para que haja uma maior acurácia do produto gerado foram coletados pontos de apoio na área por meio de receptor GNSS. Para isso foram feitos seis marcadores (Figura 4) e distribuídos na área de estudo, priorizando as proximidades das bordas da mesma, com a finalidade de serem identificados posteriormente na inserção dos pontos no programa.

Figura 4. Marcadores distribuídos na área de estudo para coleta de pontos de apoio.

A inserção dos pontos foi feita utilizando a ferramenta *Import Markers*. Após a importação dos pontos, os mesmos foram apontados em seus respectivos marcadores nas imagens correspondentes às suas coordenadas. Com o objetivo de melhorar o posicionamento da nuvem de pontos em relação aos marcadores utilizou-se a ferramenta *Optimize Câmeras*. Em seguida, o alinhamento de fotos foi refeito para a geração da nuvem densa de pontos.

Geração de nuvem densa de pontos

Após a inserção dos pontos de controle e a partir do novo alinhamento das imagens, houve densificação da nuvem. Utilizando a ferramenta *Build Dense Cloud*, o *software* aumenta a quantidade de pontos existentes, diminuindo assim os espaços vazios, representando área mapeada com um maior nível de refinamento. O nível de qualidade

selecionado foi o médio. A nuvem densa de pontos é o produto base para a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do Modelo Digital de Terreno (MDT).

Geração de ortomosaico

Para a geração do ortomosaico é utilizada a ferramenta *Build Orthomosaic*, por meio da ortorretificação das imagens e, a partir dessa correção, é realizada a mosaicagem das mesmas, gerando assim um único produto. O ortomosaico pode ser gerado a partir do Modelo Digital de Superfície.

Geração de modelo 3D

Modelos tridimensionais permitem uma visualização melhor e mais aprofundada da superfície, facilitando o estudo de uma determinada área. Para gerar um modelo tridimensional tem-se como base a nuvem densificada de pontos, a partir disso o programa cria uma espécie de triangulação para interligar esses pontos.

A ferramenta utilizada na geração de modelo 3D é a *Bild Tield Model*, considerando como parâmetos: *tel size* (tamanho da telha) de 256 e *face count* (contagem de faces) médio e qualidade média. Em seguida, selecionou-se a ferramenta *Build Texture* que confere textura ao modelo, melhorando seu aspecto visual.

Geração de Modelo Digital de Superfície – MDS

A partir da nuvem de pontos densificada é possível gerar o Modelo Digital de Superfície - MDS. Para isso é utilizada a ferramenta *Biuld DEM*, inserindo como dado de entrada a nuvem densa de pontos e ativando a interpolação. É importante observar o sistema de projeção para que não haja divergências no mesmo.

Classificação da nuvem densa de pontos

O MDS representa toda a superfície, sendo ela solo ou o que esta sobre o mesmo, como vegetação e construções. Para uma representação fiel do terreno é necessário que se faça um refinamento desses dados, retirando aquilo que está sobre o solo, como vegetação

de grande porte (árvores), construções, etc. A Figura 5 representa a diferença entre o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Terreno.

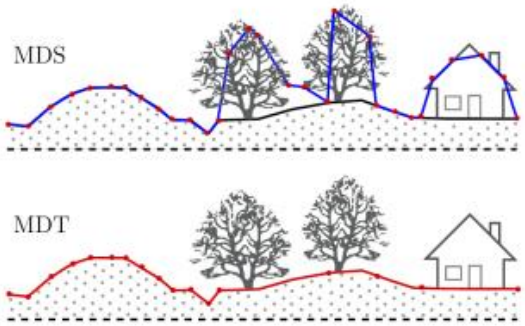

Figura 5. Diferença entre o Modelo Digital de Superfício e Modelo Digital de Terreno. O MDT exclui vegetação alta e contruções, sendo uma representação mais fiel do terreno. **Fonte:** Blog CPE Tecnologia.

Utilizando a ferramenta Classify Ground Points é possível classificar a nuvem de pontos, deixando apenas a classe de solo (Ground). Os parâmetros utilizados nessa etapa foram o ângulo máximo de 15º, a distância máxima de 1 m e o tamanho da célula de 50 m. Em seguida, é necessário suavizar essa camada com a ferramenta Smoth Mesh e fechar as aberturas existentes naqueles locais onde há uma grande taxa de vegetação com a ferramenta Close Holes.

Geração do Modelo Digital de Terreno - MDT

Para a geração do Modelo Digital de Terreno é utilizado o produto gerado da classificação da nuvem de pontos já suavizado. Lembrando que, o Modelo Digital de Elevação (DEM) gerado antes da classificação da nuvem de pontos é o Modelo digital de Superfície – MDS.

O MDT é um dos dados mais importantes para análises geoespaciais, ele é também conhecido como Modelo Digital de Elevação (DEM), pois demonstra toda a superfície do terreno com suas elevações.

A geração desse produto é feita com a ferramenta Build DEM.

Geração das curvas de nível

As Curvas de Nível da área são geradas a partir do Modelo Digital de Terreno – MDT, utilizando a ferramenta Generate contours, nesse ponto é importante que seja evitada a intersecção das linhas.

Gerando o relatório de processamento

Após feito todo o processamento é possível gerar um relatório do mesmo utilizando a ferramenta Generate Report.

Para fins comparativos foram gerados dois relatórios de processamento, o primeiro antes da inserção dos pontos de apoio e o segundo após a inserção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram geradas 478 imagens, abrangendo uma área de aproximadamente 77 ha. A posição das imagens pode ser observada na figura a seguir.

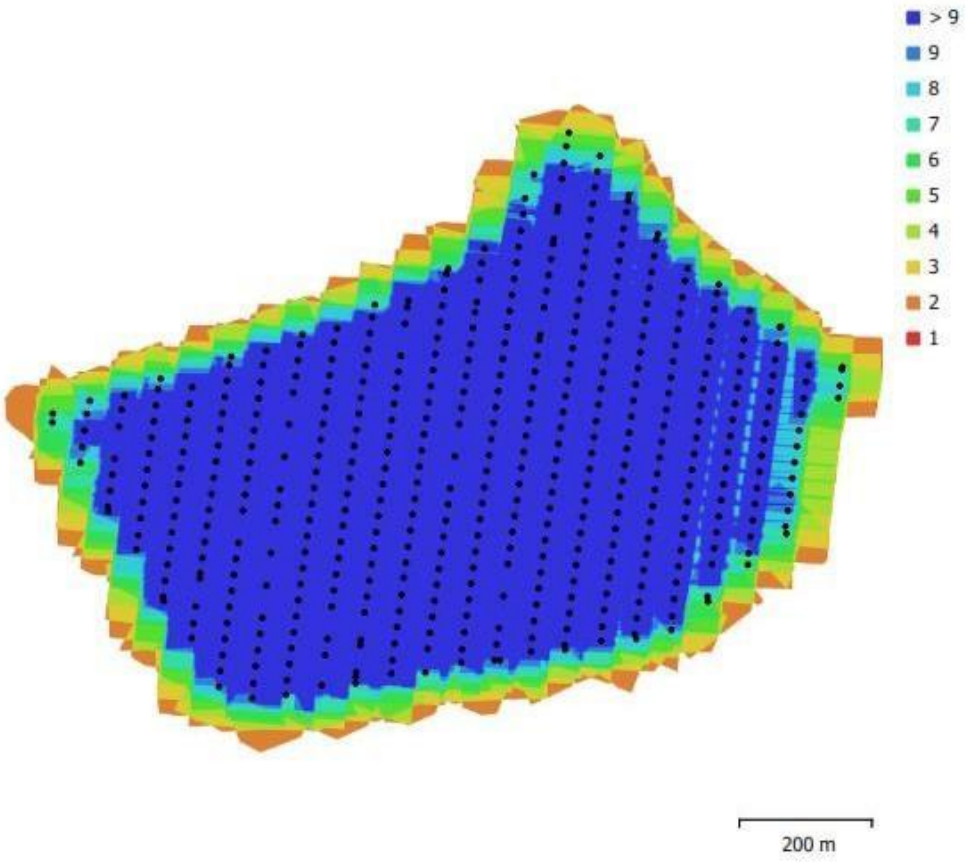

Figura 6. Posição das imagens obtidas por meio de ARP modelo Phanton 4 Pro da área de estudo. As áreas em azul escuro são as que possuem maior quantidade de imagens por metro quadrado e as áreas em vermelho possuem menor quantidade de imagens como é o caso das bordas da área imageada.

Os primeiros produtos gerados pelo processamento das imagens obtidas são o alinhamento das ortofotos (Figura 6) e a nuvem de pontos gerada a partir do alinhamento (Figura 7).

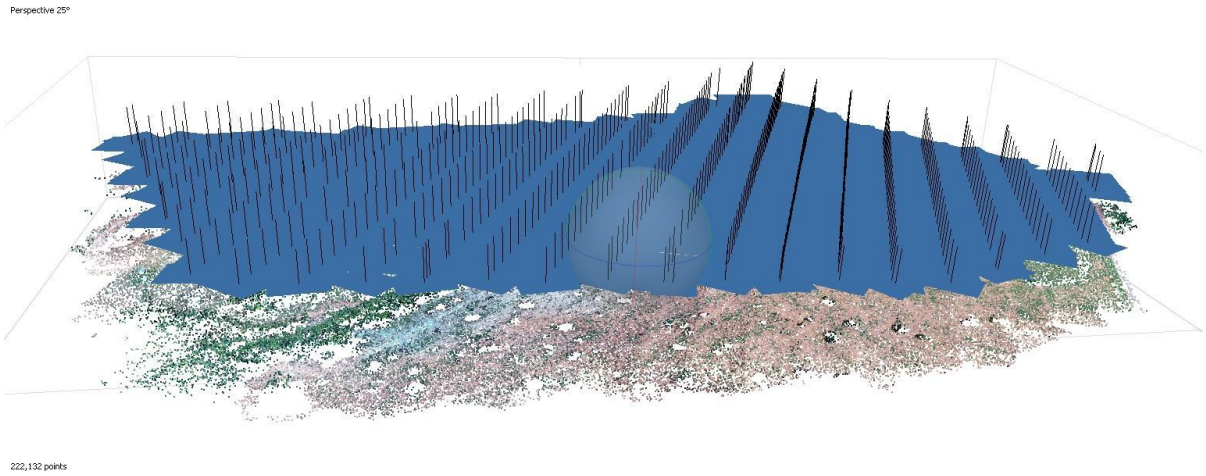

Figura 7. Alinhamento das ortofotos obtidas no imageamento da área de estudo.

Figura 8. Nuvem de pontos (Tie Points). É o primeiro produto gerado a partir do alinhamento das ortofotos.

Em seguida foram inseridos os pontos de controle coletados na área de estudo. O posicionamento dos pontos de controle pode ser obervado na Figura 8. Após a inserçaõ de pontos e refeito o alinhamento, obteve-se a nuvem densa de pontos (Figura 9).

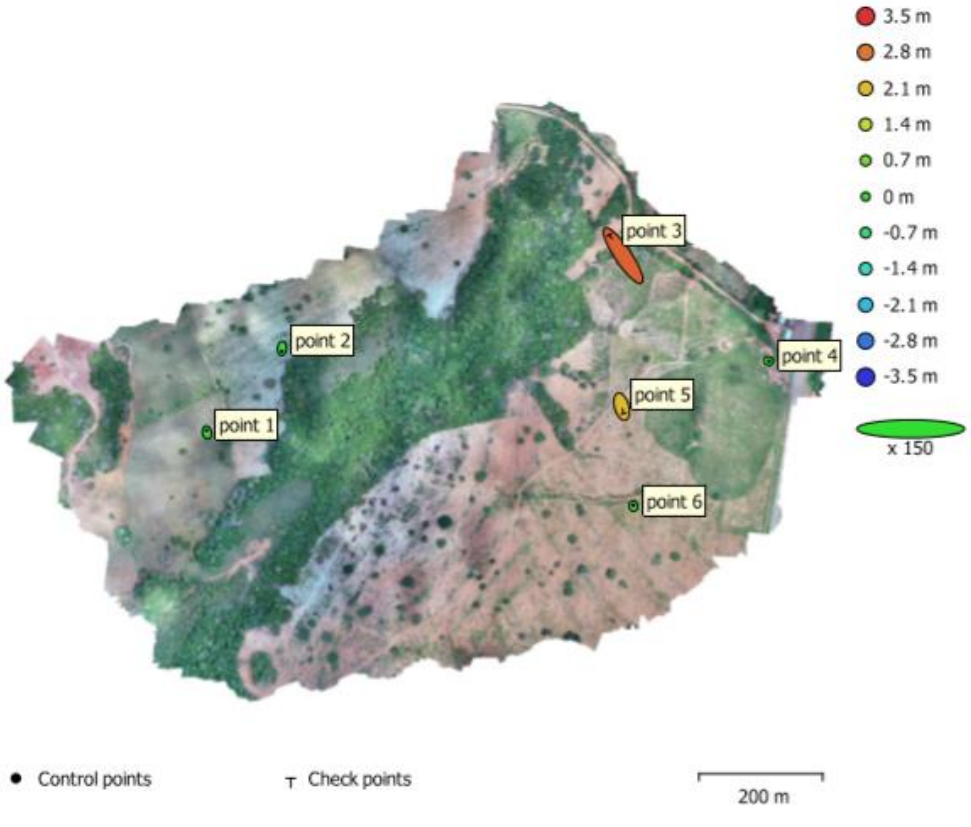

Figura 9. Localização dos pontos de controle coletados na área de estudo utilizando o receptor GNSS.

Figura 10. Densificação da nuvem de pontos. Nesse processo o software aumenta a quantidade de pontos existentes, diminuindo os espaços vazios, resultando em um maior refinamento da representação da superfície.

Após a densificação da nuvem de pontos foi possível obter o ortomosaico (Figura

10) e o Modelo em 3D da área (Figura 11).

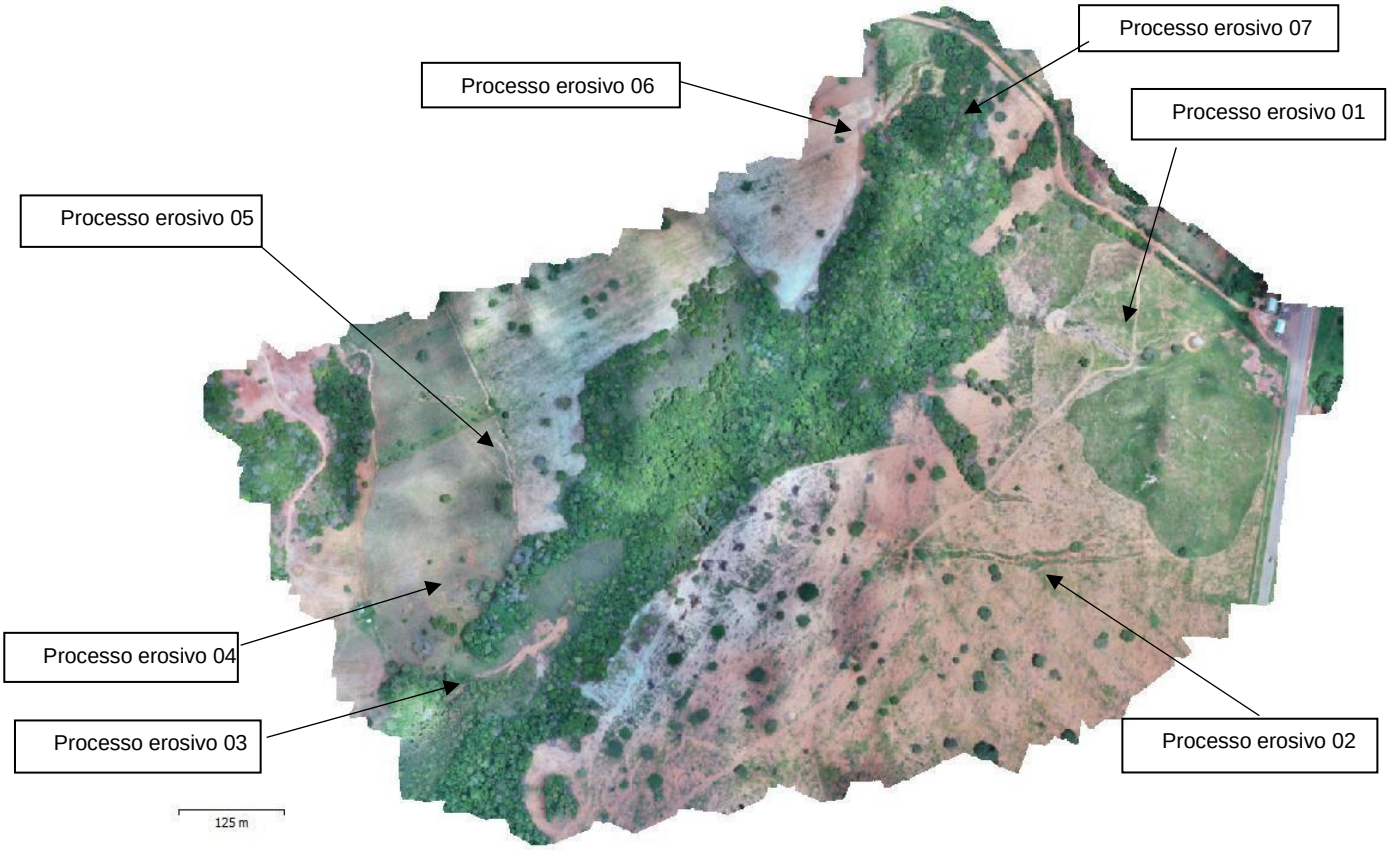

Figura 11. Ortomosaico gerado a partir da ortorretificação das imagens, seguida da mosaicagem das mesmas, com identificação dos processos erosivos existentes na área por meio de fotointerpretação.

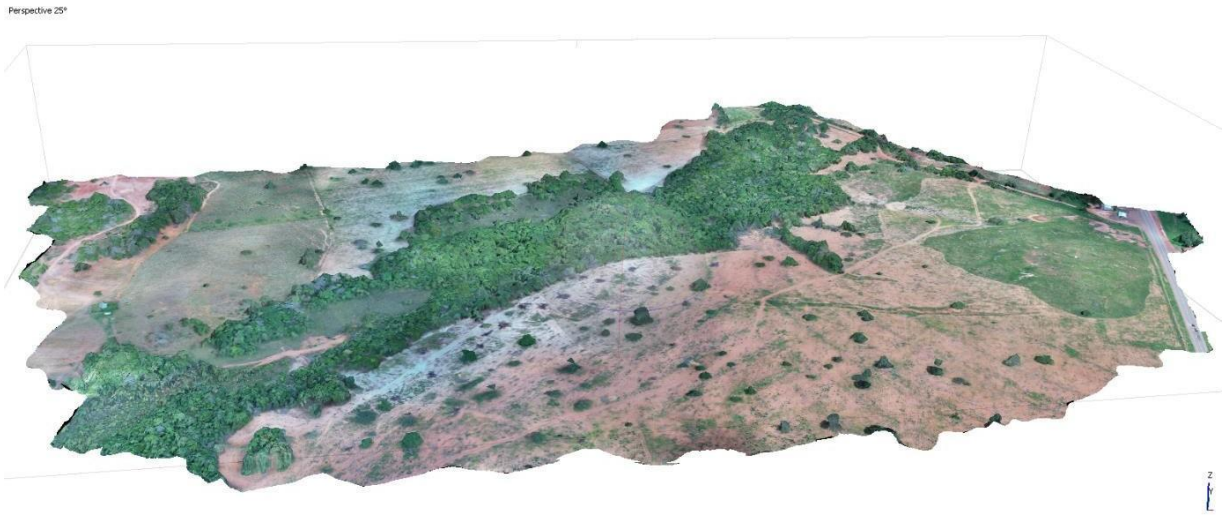

Figura 12. Modelo 3D da área de estudo gerado a partir da nuvem densa de pontos.

A partir do ortomosaico de imagens foi possível a identificação dos processos erosivos existentes na área de estudo utilizando a ferramenta de régua. As extensões aproximadas desses processos podem ser observadas no Quadro 1.

Processo Erosivo	**Área Aproximada (m^2)**
01	2.137,91
02	1.531,12
03	1.545,98
04	109.94
05	2.839,63
06	994.33
07	1.153,16

Quadro 1. Área aproximada de cada um dos processos erosivos encontrados na área de estudo.

O próximo produto obtido também através da nuvem densa de pontos, é o Modelo Digital de Superfície – MDS (Figura 12).

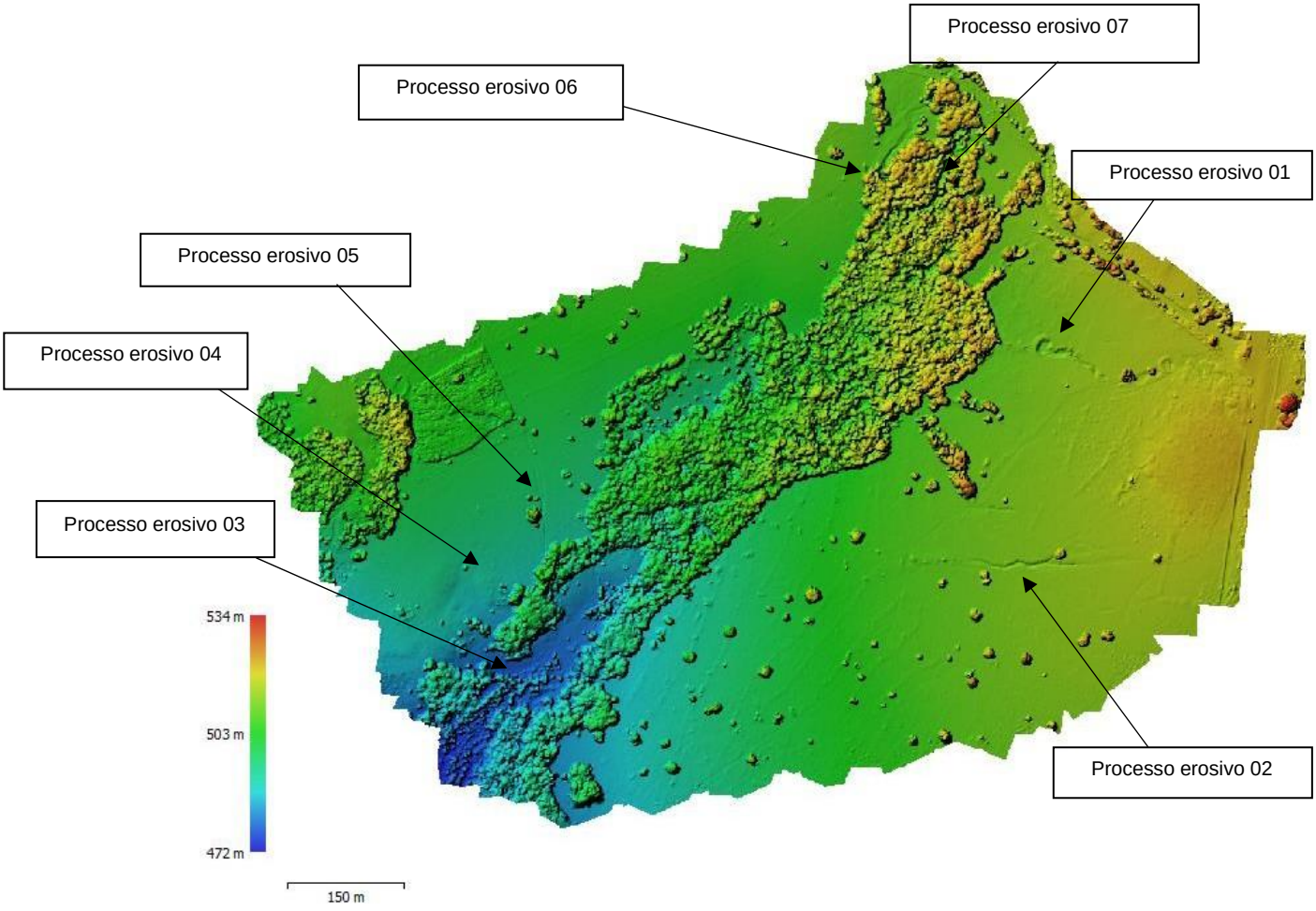

Figura 13. Modelo Digital de Superfície da área de estudo contendo a localização dos processos erosivos identificados na área de estudo.

O Modelo Digital de Superfície representa o terreno e o que está acima dele, conforme já mencionado. Sendo assim para gerar o Modelo Digital de Terreno – MDT com um nível maior de refinamento foi realizada a classificação da nuvem densa de pontos, retirando os elementos da paisagem que estão acima do nível do solo (Figura 13).

Por fim, a partir do MDT (Figura 14), obteve-se como resultado as curvas de nível do terreno (Figura 15).

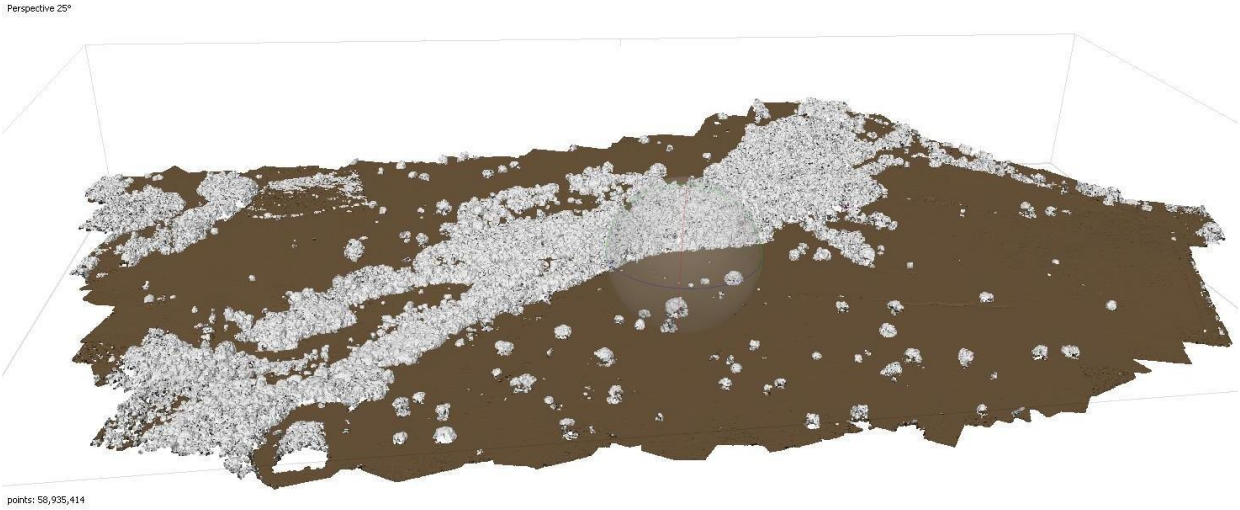

Figura 14. Classificação da nuvem densa de pontos. Os locais destacados com a cor marrom foram classificados como terreno, enquanto os de cor branca são basicamente compostos por vegetação densa (árvores). A partir dessa classificação é possível gerar o Modelo digital de Terreno - MDT.

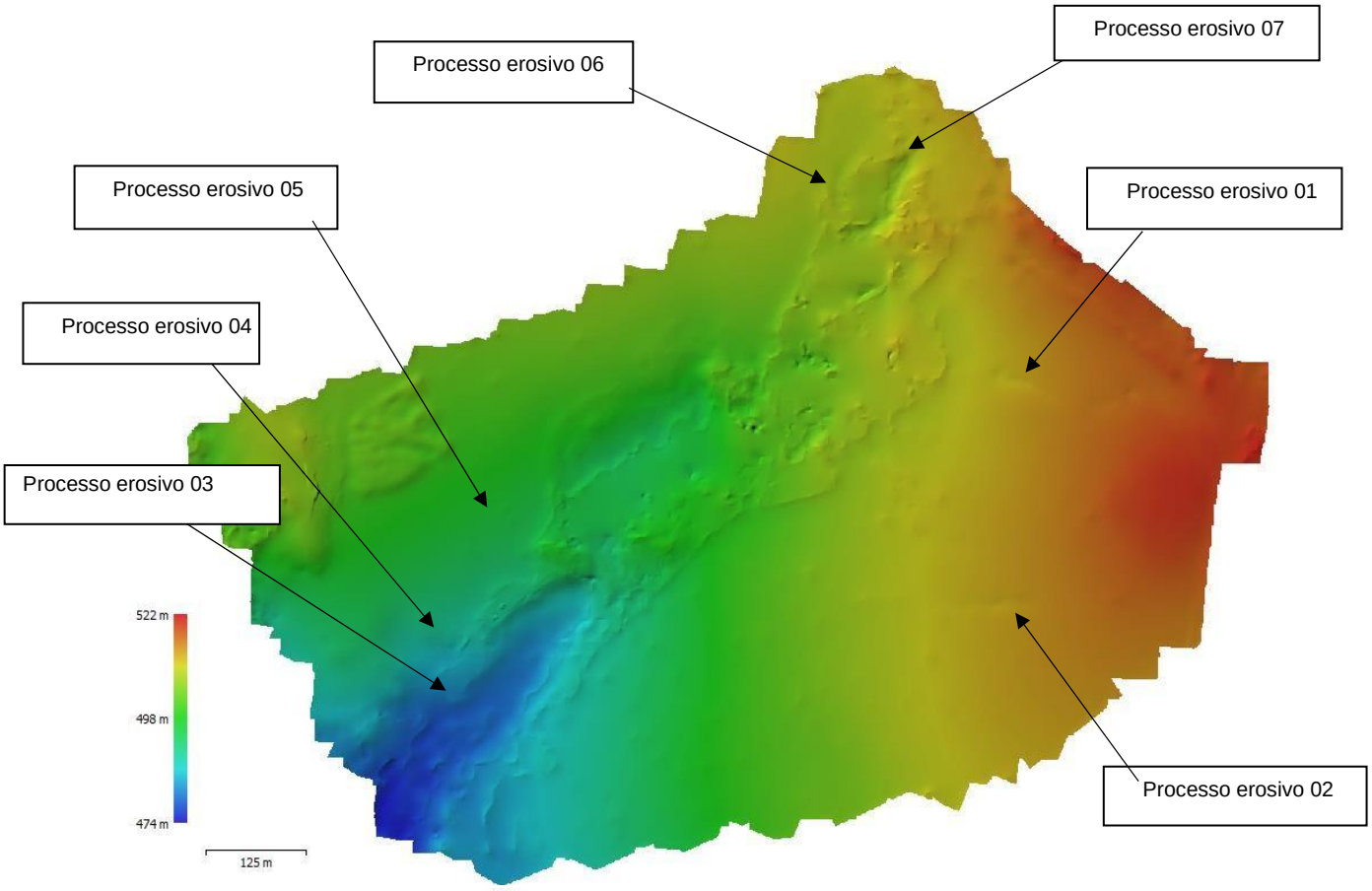

Figura 15. Modelo digital de Terreno - MDT, gerado a partir da classificação da nuvem densa de pontos.

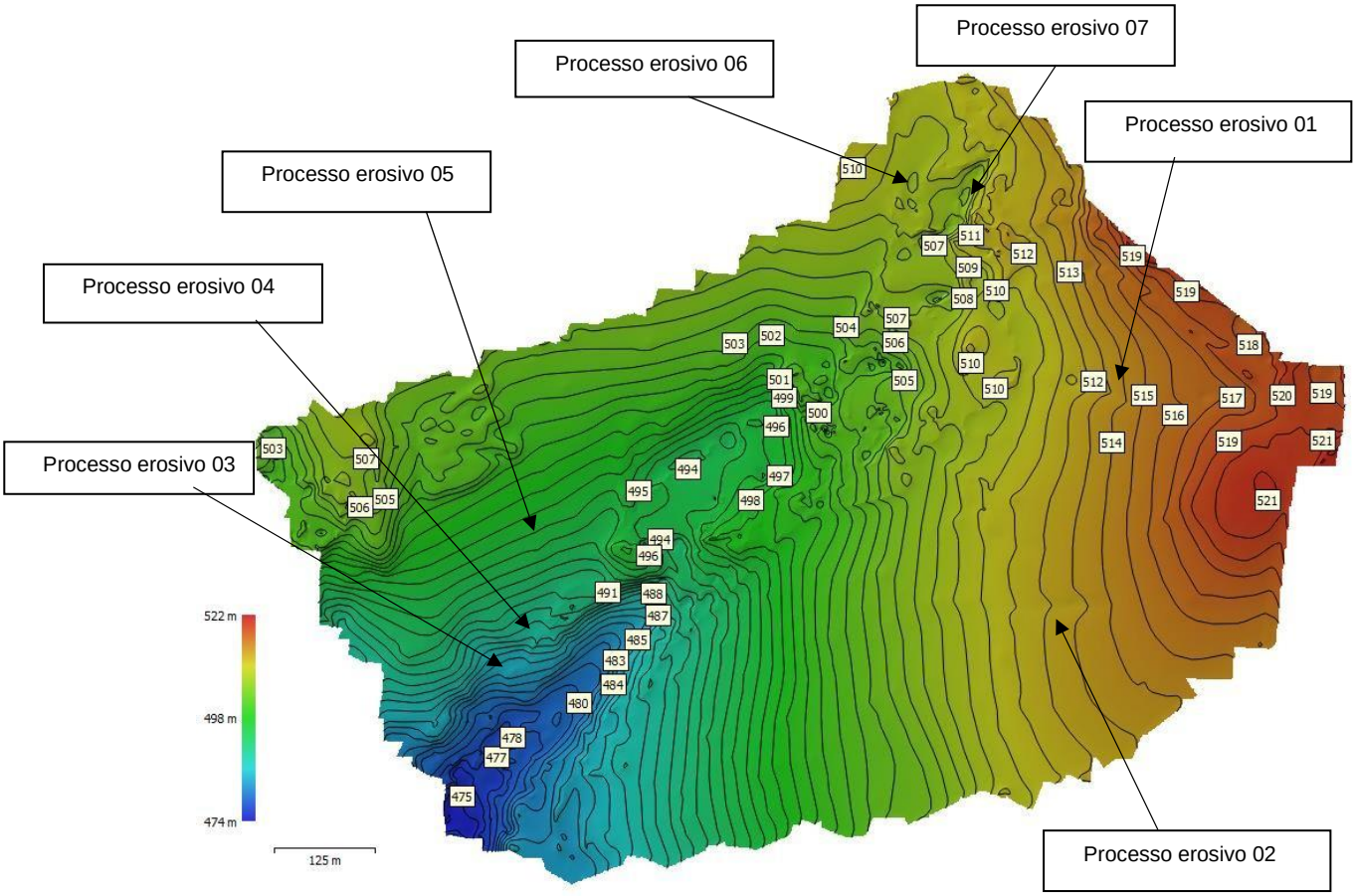

Figura 16. Curvas de nível da área de estudo.

Utilizando como base o Modelo Digital de Terreno as curvas de nível geradas retratam de maneira fiel as variações de altitude do terreno, possuindo um nível satisfatório de refinamento.

Para fins comparativos, foram gerados dois relatórios de processamento, um antes da inserção dos pontos de apoio (Figura 16) e outro após a inserção dos pontos e novo alinhamento das imagens (Figura 17).

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.59019	5.47108	5.97862	6.05324	8.50797

Figura 17. Tabela de erros fornecida pelo relatório de processamento do sofware Agisoft Metshape Profesional antes da inserção dos pontos de apoio, contendo os erros médios de localização da câmera, onde o eixo X correponde ao Leste, o eixo Y ao Norte e o eixo Z a Altitude.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
point 1	-0.0090078	0.0463092	0.00197759	0.0472185	0.214 (15)
point 2	-0.00219077	-0.060614	-0.00218377	0.0606929	0.212 (15)
point 4	0.0135895	-0.00458436	0.00122943	0.0143945	0.097 (9)
point 6	-0.0021907	0.0188825	-0.000511579	0.0190161	0.185 (13)
Total	**0.00829778**	**0.0393578**	**0.00161655**	**0.0402555**	**0.191**

Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
point 3	-0.300224	0.445581	3.00116	3.04888	0.094 (11)
point 5	0.0406927	-0.146694	2.12344	2.12889	0.190 (14)
Total	**0.214231**	**0.331709**	**2.59961**	**2.62943**	**0.155**

Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Figura 18. Tabela fornecida pelo Tabela de erros fornecida pelo relatório de processamento do sofware Agisoft Metshape Profesional após a inserção dos pontos de apoio, contendo os erros médios de localização da câmera, onde o eixo X correponde ao Leste, o eixo Y ao Norte e o eixo Z a Altitude.

Como pode ser observado, houve uma grande diminuição do erro de projeção com a inserção dos pontos de apoio. O erro que antes estava estimado em 8,507m nos eixos X, Y e Z passou a aproximadamente 0,191m, isso levando-se em conta apenas 4 pontos de controle pois os pontos 3 e 5 foram excluídos pelo programa, melhorando de maneira significativa a acurácia dos produtos gerados pelo processamento.

Sopchaki et. al. 2018 avaliou em seu trabalho a qualidade planimétrica dos

ortomosaicos produzidos a partir de imagens coletadas com RPAs criados a partir do uso de rotinas automatizadas e sem o emprego de pontos de apoio coletados em campo, obtendo como menor média de erro 3,9m enquadrando os produtos gerados como Classe A junto ao PEC-PCD. Essa média mostrou-se menor que o erro encontrado no presente estudo nos produtos gerados antes da inserção dos pontos de apoio, que foi em média 8,507m. Deve-se levar em conta, porém, que a média de 3,9m de Sopchaki foi obtida realizando 20 vôos, enquanto neste estudo foi realizado apenas um vôo.

Em relação ao uso de pontos de controle para a avaliação da correção da qualidade posicional de produtos gerados a partir de imagens proveniente de RPA, Toledo et. al. 2018 realizou o levantamento de uma área utilizando 49, 24 e 12 pontos de apoio respectivamente, com o objetivo de identificar qual possuiria uma maior acurácia. Concluiu-se que, a diminuição da quantidade de pontos de apoio não contribuiu significativamente para a perda de exatidão cartográfica dos produtos gerados. Este estudo então vem a confirmar os resultados obtidos por Toledo, pois utilizou-se de um número ainda menor de pontos de apoio, obtendo um produto com alto padrão de exatidão.

É importante ressaltar que de acordo com Silva et. al. (2016), os produtos gerados com RPA possuem menor tempo de levantamento, menor custo de equipamento, menor tempo de horas pós-procesamento, meior segurança e maior precisão, quando comparados aos produtos gerados por outras técnicas como varredura LiDAR ou GNSS.

CONCLUSÕES

O uso de imagens de alta resolução espacial provenientes de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP mostrou-se eficiente para a identificação de processos erosivos de diversas dimensões na área de estudo.

Mesmo possuindo altíssima resolução, as imagens obtidas possuem erros de projeção que devem ser considerados para a avaliação da exatidão cartográfica dos dados. Diante do exposto, o levantamento de pontos de controle da área e a inserção dos mesmos no processamento das imagens, diminuiu significativamente os erros provenientres do imageamento, gerando produtos com um nível excelente de refinamento. Esses produtos são essenciais para estudos ambientais voltados ao uso do solo, empregando boas práticas de uso desse recurso, como por exemplo, as curvas de nível com alta qualidade que podem servir como base para o dimensionamento e construção de terraços.

Para trabalhos futuros sugere-se utilizar-se de mais pontos de apoio, com o intuito de diminuir ainda o erro de decímetros para centímetros, aumentado a acurácia dos produtos gerados.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, I. S. .; ANDRADE, L. A.; ALMEIDA, J. A.P. Zoneamento agroecológico do município de Lagoa Seca, PB. **Rev. bras. eng. incluir. ambiente.** Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 623-632, outubro de 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000500016&lng=en&nrm=iso>. acesso em 19 de fevereiro de 2020. https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000500016 .

DSG. **Norma EB10-N-72.001. Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais** (ET-ADGV). 2ª Edição. Brasil. 2011.

FERREIRA, R. D.; SILVA, L. S. L.; COELHO, A. L.; MARANHÃO, M. R. A.; OLIVEIRA, L. F.; SOARES, R. A. Avaliação da Qualidade Posicional de Ortoimagens Rapideye. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, 2016, p. 99-108.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Rondonópolis–MT**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/rondonopolis/panorama>.

LEAL, J. V.; TODT, V.; THUM, A. B. O uso de SIG para monitoramento de áreas degradadas - Estudo de Caso: App Do Arroio Gil, Triunfo-RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, Set/Out/2013, p. 967-983.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. **Boletim de Ciências Geodéssicas**, v. 22, n. 1, p. 73-94, 2016.

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. S.; GRAÇA, N. L. S. S.; SAMPAIO, T. V. M. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 43, 2018, p. 200-2014.

TOLEDO, B. H.; CANAL, M. A.; JACOB, T. K.; PONTAROLO, M.; PELEGRINA, M. A. Análise comparativa da qualidade posicional mapeamento urbano com VANT.

Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial – COBRAC, Florianópolis, 2018.

CAPÍTULO II

ANALYSIS OF THE USE OF HYDROLOGICAL TOOLS IN THE STUDY OF EROSIVE PROCESSES

ABSTRACT

Erosion is a critical environmental problem worldwide. Erosive processes occur naturally, but they can be accelerated and aggravated by inadequate land use practices, such as the removal of vegetation, which has a containment relationship for these processes. The use of remote sensing tools and data and image geoprocessing technologies have been shown to be increasingly effective in surveying areas where erosive processes occur. The present study aims to use a drainage network preparation routine by means of GIS's in an area containing erosive processes to assess their viability in the study of these processes, assisting in the choice of mitigating measures for them. The processing of the images took place in two stages, the first being the making of the Digital Terrain Model - MDT which followed as a basis the routine presented in Chapter 1, executed in the Agsoft Metashape software. The second stage consisted of preparing the drainage network for the study area, using the Spatial Analyst tools contained in the ArcGis software. The use of hydrology tools in the processing of MDT evidenced the area's aerial processes, classifying them as a drainage network and the overlapping of the level curves allowed to observe the direction of evolution of these processes. The combination of these analyzes favored an individual analysis of each erosive process, thus facilitating the planning of specific mitigating measures for them.

Keywords: Erosive processes, Drainage network, Geoprocessing.

ANÁLISE DO USO DE FERRAMENTAS HIDROLÓGICAS NO ESTUDO DE PROCESSOS EROSIVOS

RESUMO

A erosão é um problema ambiental crítico em todo o mundo. Processos erosivos ocorrem naturalmente, porém podem ser acelerados e agravados por práticas inadequadas de utilização do solo, como a retirada de vegetação, que possui uma relação de contenção desses processos. O uso de ferramentas de sensoriamento remoto e tecnologias de geoprocessamento de dados e imagem vêm se mostrando cada vez mais eficazes no levantamento de áreas onde há ocorrência de processos erosivos. O presente estudo tem como objetivo utilizar-se de uma rotina de confeção de rede de drenagem por meio de SIG’s em uma área contendo processos erosivos para avaliar a sua viabilidade no estudo desses processos, auxiliando na escolha de medidas mitigadoras para os mesmos. O processamento das imagens se deu em duas etapas, a primeira foi a confecção do Modelo Digital de Terreno - MDT que seguiu como base a rotina apresentada no Capítulo 1, executada no software Agsoft Metashape. A segunda etapa consistiu na confecção da rede

de drenagem da área de estudo, utilizando as ferramentas de Spatial Analyst contidas no software ArcGis. O uso das ferramentas de hidrologia no processamento do MDT evidenciaram os processos erovisos da área, classificando-os como rede de drenagem e a sobreposição das curvas de nível permitiu observar a direção de evolução desses processos. A junção dessas análises favoreceram uma análise individual de cada processo erosivo, facilitando assim o planejamento de medidas mitigadoras pontuais para os mesmos.

Palavras-chave: Processos erosivos, Rede de drenagem, Geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

A erosão é um problema ambiental crítico em todo o mundo. A vegetação mantém uma relação com o processo de erosão natural, reduzindo a ação das chuvas no solo. No entanto, quando esta vegetação é removida pode se instalar um processo erosivo, que é considerado acelerado quando ocorre de forma mais rápida do que os processos de formação do solo, não permitindo que esse se regenere (WANG et al., 2016). No que diz respeito a magnitude das perdas por erosão, a mesma depende de uma alguns fatores, dos quais destacam-se a cobertura vegetal e a declividade da área, a compreensão destes fatores é de grande valia (INACIO et al., 2007).

No Brasil existem aproximadamente 147 milhões de hectares de pastagens nativas ou implantadas (IBGE, 2017), a maior parte dessa área se encontra no bioma Cerrado, que é a principal região produtora de carne bovina no Brasil, entretanto, apesar do bioma ocupar 24% do território nacional e gerar a maior produção agropecuária do País, muitas áreas, especialmente no âmbito daquelas com pastagens cultivadas (55 milhões de hectares), podem estar em processo de degradação ou degradadas (PERON & EVANGELISTA, 2004; ANDRADE et al., 2016).

O uso de ferramentas de sensoriamento remoto e tecnologias de geoprocessamento de dados e imagem vêm se mostrando cada vez mais eficazes no levantamento de áreas onde há ocorrência de processos erosivos, como no estudo de Araújo et al., 2010 que fez um comparativo entre imagens de satélite e fotografias aéreas na avaliação de processos erosivos, obtendo resultados satisfatórios.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo utilizar-se de uma rotina de confeção de rede de drenagem por meio de SIG’s em uma área contendo processos erosivos para avaliar a sua viabilidade no estudo desses processos, auxiliando na escolha de medidas mitigadoras para os mesmos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Rondonópolis está localizada na região sudeste do Estado do Mato Grosso, a uma latitude 16º28’15” sul, longitude 54º38´08” oeste e altitude de aproximadamente 227 metros. Situa-se a uma distância de 215 km da capital e representa cerca de 0,48% da área total do estado, com uma área de 4.159,122 Km² (IBGE, 2010).

A área de estudo se encontra na região nordeste do município, entre as coordenadas 16° 6'57.91"S e 54°29'3.69"O; 16° 7'1.04"S e 54°29'42.50"O, com área de aproximadamente 77 hectares (Figura 18).

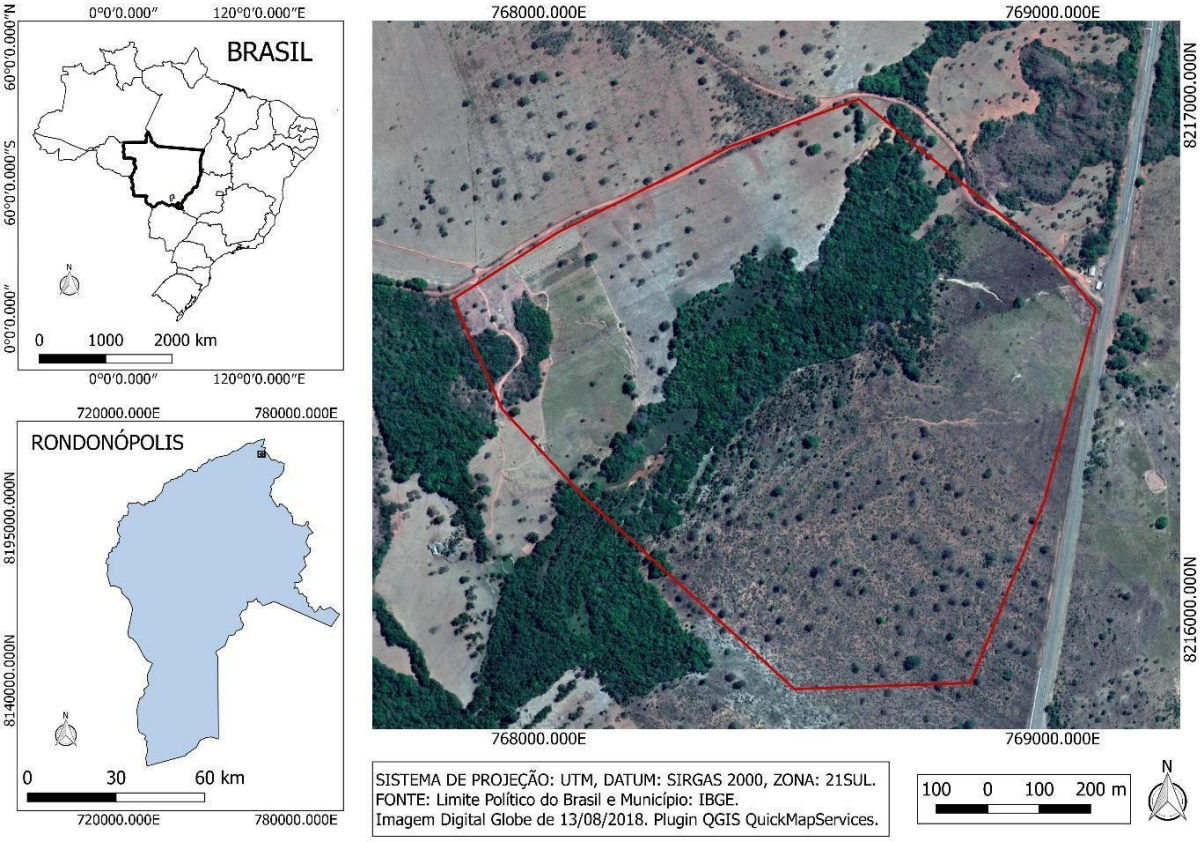

Figura 19. Carta imagem da área de estudo.

O Bioma predominante no município é o Cerrado. O município se encontra na Depressão Rio Paraguai, que se caracteriza por extensas superfícies territoriais aplainadas (IBGE, 2010).

Os dados da região de estudo foram obtidos por meio de levantamento realizado com Aeronave Remotamente Pilotada – ARP modelo Phanton 4. A ARP possui um sistema de geolocalização do tipo GNSS, sensores anticolisão, uma câmera de 20 megapixels de resolução, tendo autonomia de voo de aproximadamente 25 minutos. A missão foi planejada e executada no software DroneDploy. Também foram coletados seis pontos de apoio na área com o objetivo de melhorar a acurácia dos produtos gerados a partir das imagens obtidas.

Processamento de imagens

O processamento das imagens se deu em duas etapas, a primeira foi a confecção do Modelo Digital de Terreno - MDT que seguiu como base a rotina apresentada no Capítulo 1, executada no software Agsoft Metashape.

A segunda etapa consistiu na confecção da rede de drenagem da área de estudo, utilizando as ferramentas de Spatial Analyst contidas no software ArcGis. O processamento de dados se deu de acordo com as etapas contidas no fluxograma da Figura 19.

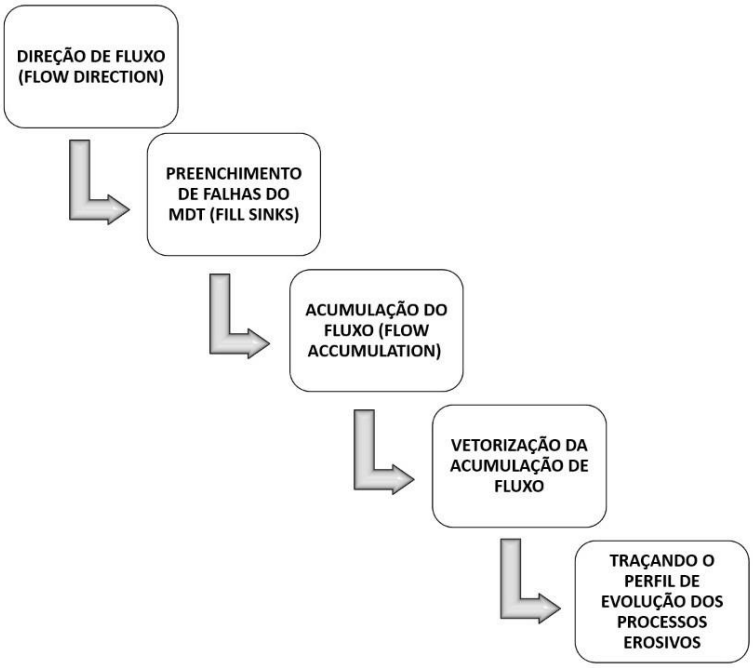

Figura 20. Fluxograma de trabalho para a rotina de confecção de rede de drenagem da área executado no software ArcGis.

Gerando a direção de fluxo

O primeiro passo para a delimitação de microbacias é a confecção da direção de fluxo de água da rede de drenagem na área de estudo. A direção de fluxo simula o caminho que a água e os sedimentos percorrem através da topografia da área de estudo (NARDI et al., 2008), sendo o dado base para trabalhos de modelagem hidrológica.

Para a confecção da direção de fluxo foi utilizada a ferramenta Flow Direction, contida na caixa de ferramentas Hidrology no menu Spacial Analyst.

Preenchimento de falhas do MDT

Mesmo sendo proveniente de um mosaico de imagens de altíssima resolução espacial, o MDT contém pequenas falhas que devem ser corrigidas. Segundo LUEDELING et al., 2007, essas falhas são originadas principalmente pelo relevo acidentado e pela ocorrência de corpos hídricos.

A correção dessas falhas se deu em duas etapas. Na primeira foi utilizada a ferramenta Sinks, responsável por identificar as falhas existentes no MDT utilizando como dado de entrada o produto gerado anteriormente na direção de fluxo.

Após a identificação das falhas é necessário preenchê-las, para isso utilizou-se a ferramenta Fill que deve ser executada diretamente no DEM, e não na direção de fluxo como anteriormente. Essa função terá gerado um novo DEM já corrigido, e é este produto que será usado nas próximas etapas de processamento.

Gerando a acumulação de fluxo

A acumulação de fluxo (ou fluxo acumulado) é também denominado área de captação, e segundo MENDES & CIRILO (2001) representa a rede hidrográfica ou rede de drenagem da área de estudo.

Para gerar o fluxo amumulado foi utilizada a ferramenta Flow Direction, o dado de entrada é o DEM já corrigido, e na opção tipo de dado deve-se mudar para inteiro (interger).

O produto de saída do fluxo acumulado é a rede de drenagem. Como a rede de drenagem é gerada a partir dos pontos de maior profundidade do relevo, a acumulação de fluxo nos mostra os processos erosivos contidos na área de estudo e, a partir disso, é possível individualizar cada processo erosivo e observar o seu comportamento, como por exemplo para onde esse processo vai evoluir.

Em seguida, o fluxo acumulado foi vetorizado utilizando as ferramentas de edição do software com o intuito de ser utilizado posteriormente na sobreposição de dados para uma melhor visualização dos mesmos.

Traçando o perfil de evolução dos processos erosivos

Para traçar o perfil de evolução dos processos erosivos da área utilizou-se o MDT, o fluxo acumulado e as curvas de nível geradas para a área de acordo com a metodologia utilizada no capítulo 1. Com os arquivos sobrepostos é possível identificar a direção de rescimento de cada processo erosivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos hidrológicos são importantes e determinates para um bom uso do solo. De acordo com Moraes (2003), o uso de modelagem hidrológica é tido como ferramenta de análise que nos dá como resultado um conhecimento mais detalhado e aprofundado dos fenômenos físicos de uma área, possibilitando a previsão de cenários para a mesma.

A partir deste preceito, Maidment (2002) diz que uma boa política de uso e ocupação do solo aliada ao gerenciamento adequado de recursos hídricos se faz fundamental para evitar ou amenizar impactos causados, principalmente em locais mais fragilizados como margens de rios.

Correia et. al. 2015 que utilizou-se de geotecnologias para modelagem hidrolígica com intuito de definir áreas propícias à inundação no município de Nova Friburgo, obtendo resultados satisfatórios.

Nesse contexto, pretende-se demonstrar que o uso de ferramentas hidrológicas, neste caso o fluxo acumulado, é eficiente para o estudo de processos erosivos. Como ainda

não existem estudos publicados relacionando esses fatores, os resultados expostos serão apresentados a seguir.

A figura 21 é o resultado obtido através da sobreposição das curvas de nível e do fluxo acumulado de água no MDT.

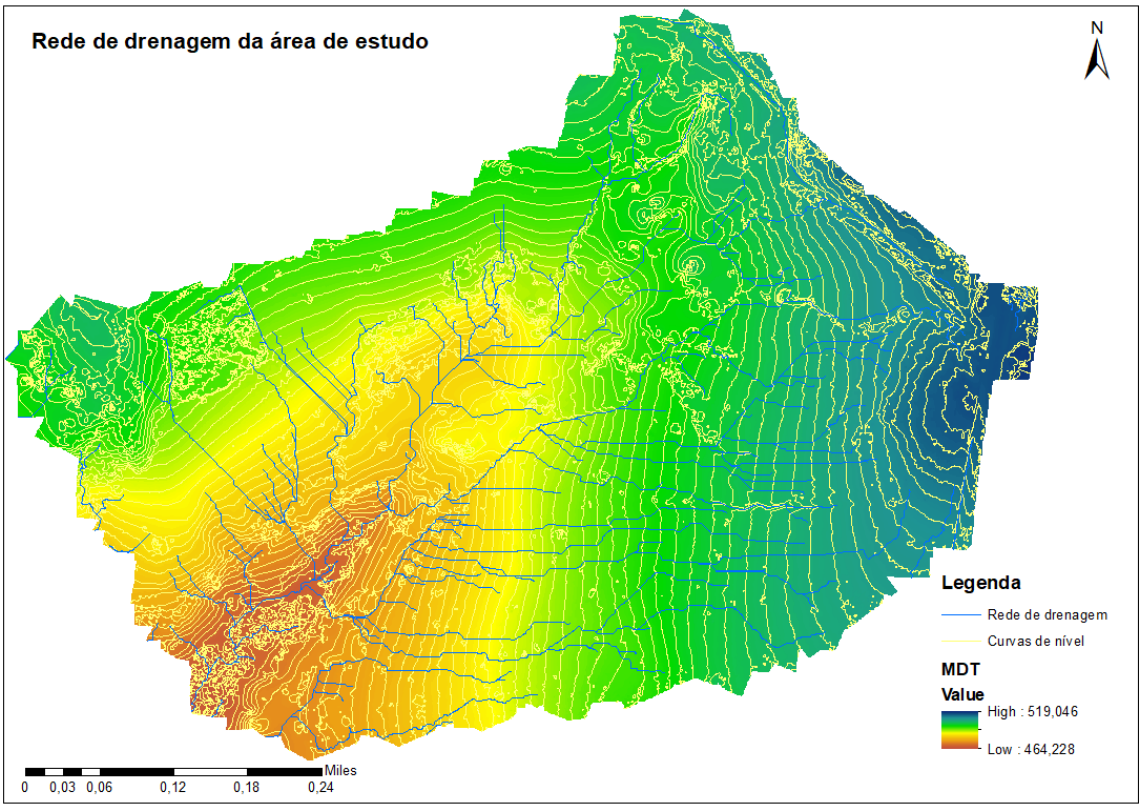

Figura 21. Mapa da área de estudo contendo o Modelo Digital de Terreno (MDT), as curvas de nível e o fluxo acumulado de água.

Para uma melhor visualização dos procesos erosivos da área, foi também feita uma carta imagem utilizando o ortomosaico de fotos sobrepondo no mesmo as curvas de nível e o fluxo acumulado (Figura 22).

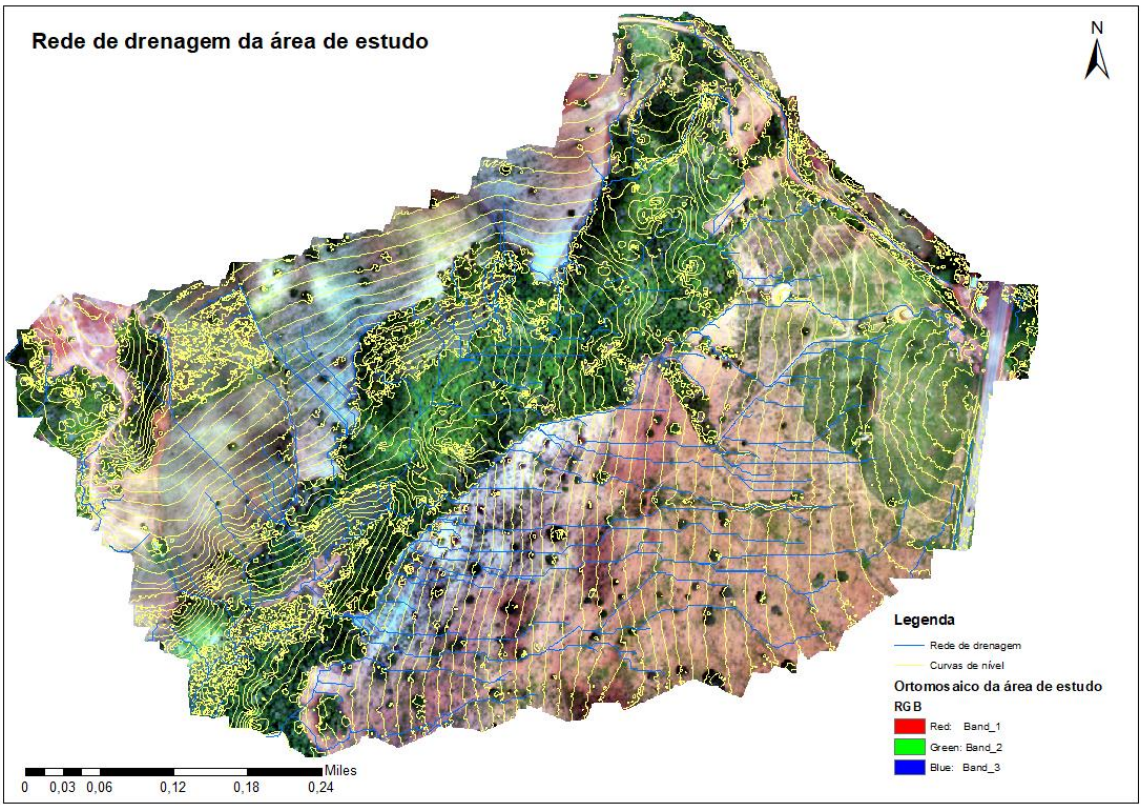

Figura 22. Carta-imagem da área de estudo contendo as curvas de nível e o fluxo acumulado de água.

Como exposto no primeiro capítulo deste trabalho, a área de estudo contém diversos processos erosivos. A seguir serão expostos alguns desses processos, demonstrando a possível direção de crescimento dos mesmos utilizando como base os produtos gerados no processamento.

Processos erosivos são fenômenos naturais, que ocorrem a partir do transporte e sedimentação do próprio solo. A ação antrópica, porém, pode intensificar tal processo ou mesmo causá-lo devido à utilização incorreta deste recurso, quando, por exemplo, ocorre a supressão da vegetação em terreno com declividade acentuada.

É possível observar que o fluxo acumulado de água se sobrepõe aos processos erosivos como era esperado, pois, segundo Nardi et. al. 2008, a direção de fluxo simula o caminho que a água e os sedimentos percorrem através da topografia da área de estudo.

O software delimitou cada processo eroviso como uma rede de drenagem, pois os mesmos possuem diferentes profundidades, servindo como rede de captação e transporte. Observa-se que, as curvas de nível da área também foram sensíveis a esses procesos, tendo em vista a profundidade diferente dos mesmos em relação ao terreno.

Quando sobreposto o fluxo acumulado sobre o MDT com as curvas de nível da área, torna-se possível a observação da provável direção de crescimento de cada processo erosivo isoladamente, levando em conta até onde vai o fluxo acumulado e a variação de altitude do terreno. Pode-se entender que, em geral, o perfil de crescimento desses processos se dará do ponto mais alto para o ponto mais baixo, tendendo a direção do maior fluxo de água encontrado na parte mais baixa da superfície.

Para confirmar esse perfil de crescimento, foram obtidas imagens da mesma área em abril de 2016 por meio do Google Earth, sendo possível identificar como eram esses processos erosivos antes da data do imageamento realizado em novembro de 2018.

Alguns processos erosivos da área de estudo foram analisados de maneira isolada e serão expostos nas figuras 23, 24, 25 e 26.

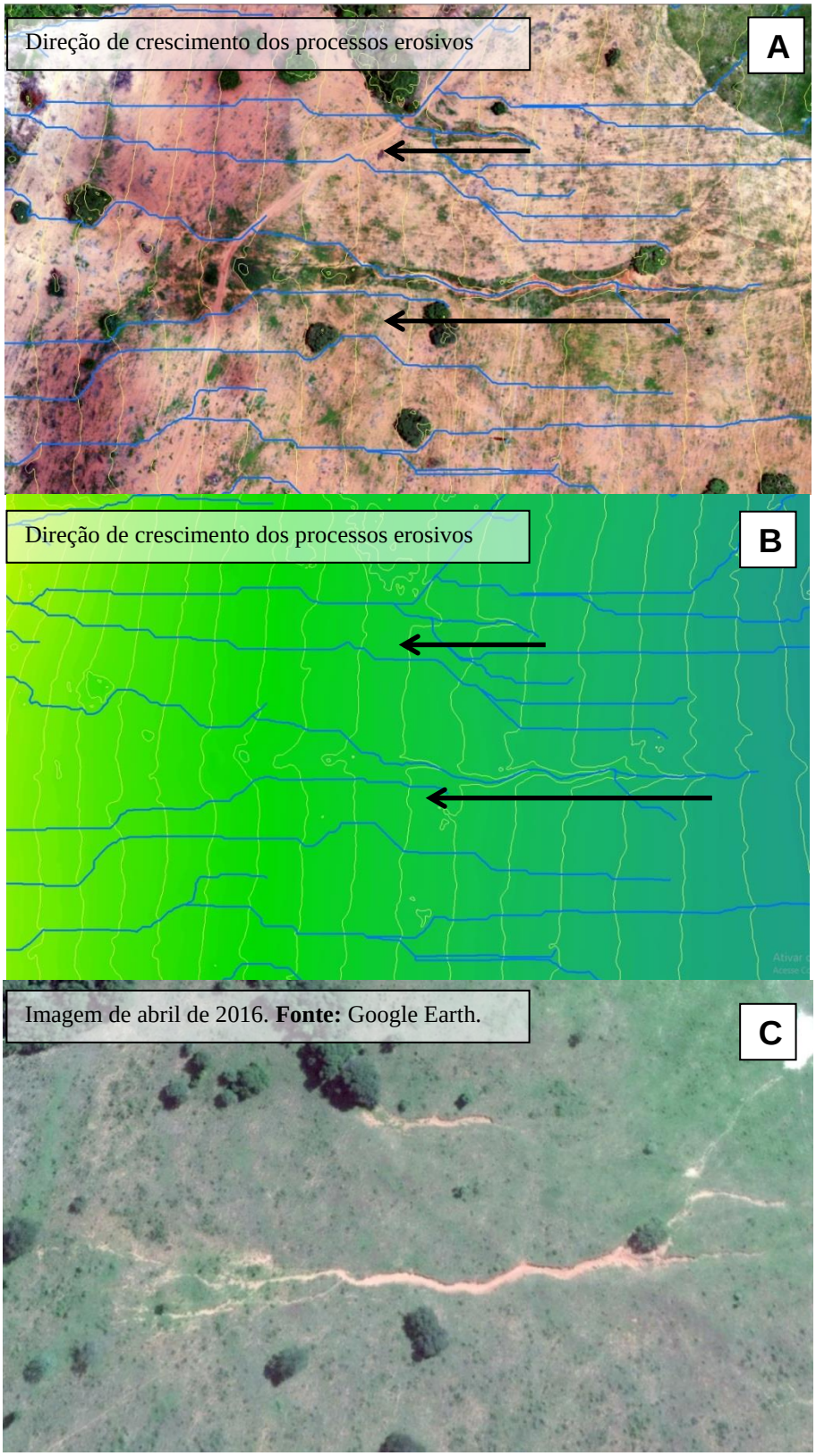

Figura 23. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A altitude aumenta da esquerda para a direita.

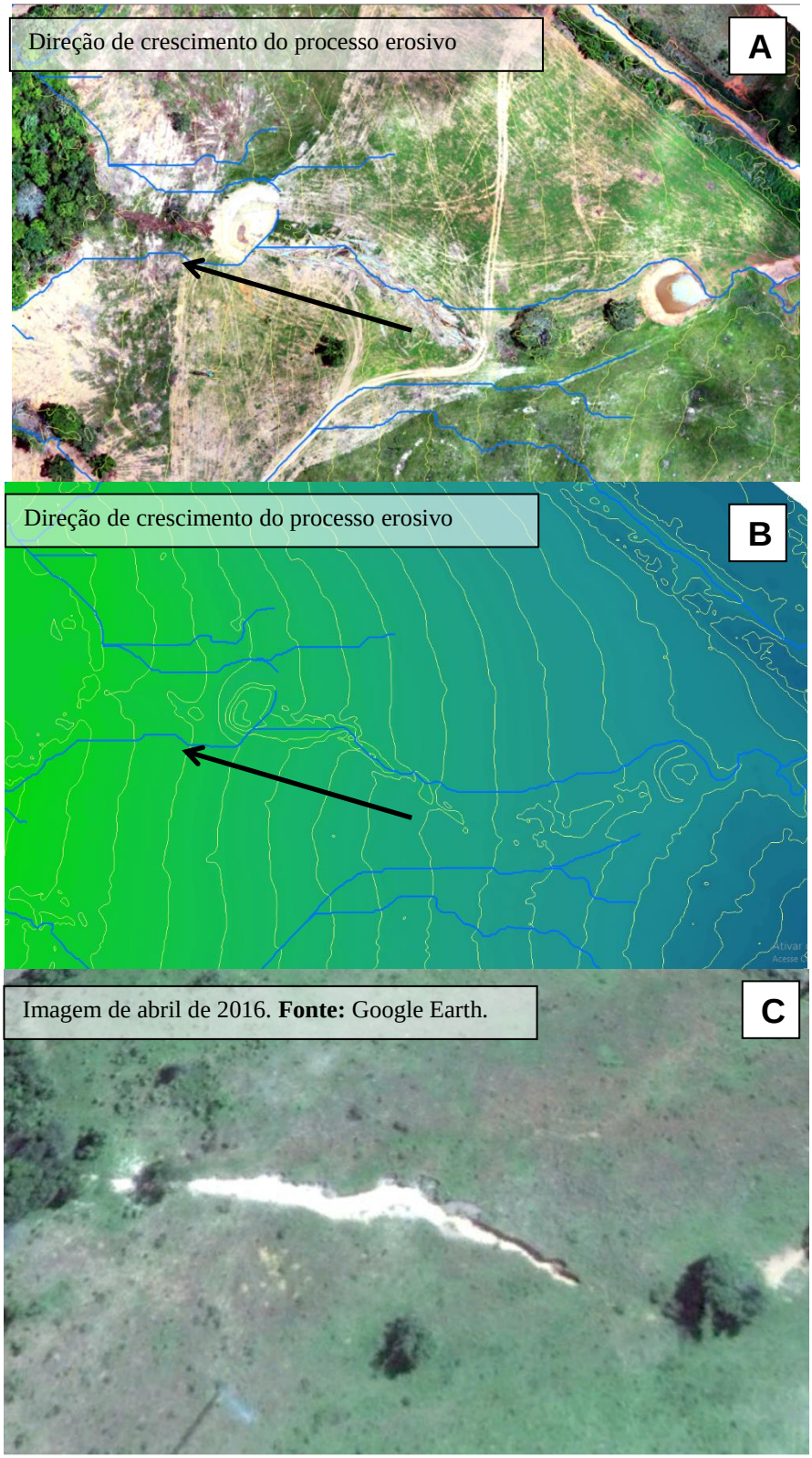

Figura 24. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A altitude aumenta da esquerda para a direita.

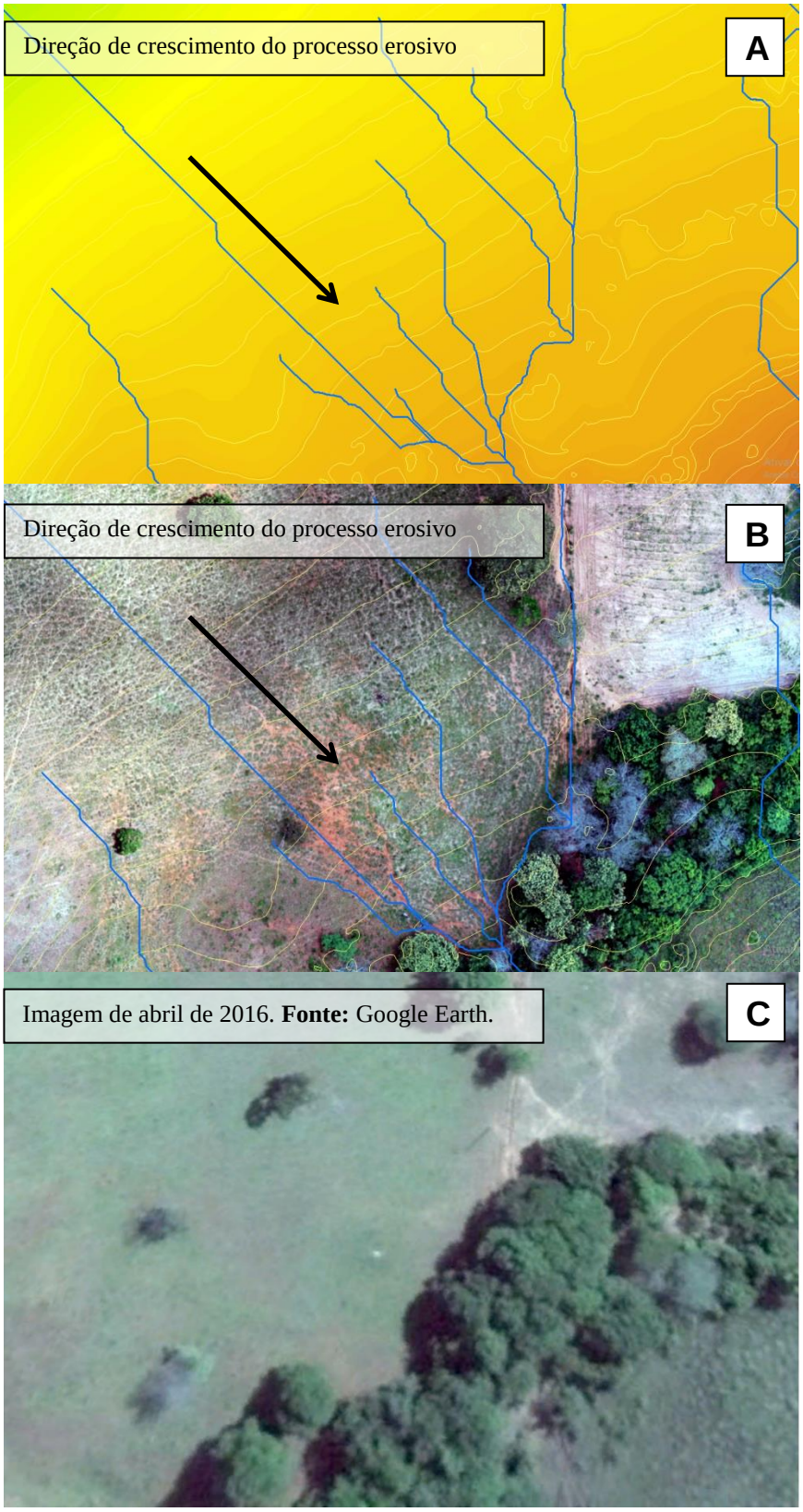

Figura 25. Direção de crescimento dos procesos erosivos em destaque. Na imagem (a) é possível observar os processos erosivos no ortomosaico com as curvas de nível sobrepostas, na imagem (b) observa-se os mesmos produtos obrepostos no MDT, e a imagem (c) retrata a área em 29 de abril de 2016. A maior altitude encontra-se na cor verde e a menor altitude encontra-se na cor laranja.

Observa-se que é possível traçar um perfil de crescimento dos processos erovisos a partir do perfil de escoamento da água, concluindo que, ferramentas hidrológicas possuem aplicabilidade no estudo desses processos.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo individual de um processo erosivo com a proposta de medida mitigadora para o mesmo. Pode-se também realizar uma análise temporal por meio de imagens coletadas posteriores a data que foi realizada neste trabalho, visando contribuir nesse tipo de estudo.

CONCLUSÕES

O Modelo Digital de Terreno – MDT com a rede de drenagem, obtida pelo fluxo acumulado, e as curvas de nível da área sobrepostas demonstraram-se efetivos para observar o perfil de evolução dos processos erosivos.

O uso das ferramentas de hidrologia no processamento do MDT evidenciaram os processos erovisos da área, classificando-os como rede de drenagem, tendo em vista que os mesmos são formados a partir do transporte de água e sedimentos.

A junção desses produtos favorece uma análise individual de cada processo erosivo, facilitando assim o planejamento de medidas mitigadoras pontuais para os mesmos, como por exemplo as localidades e direção da construção de terraços.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, THIAGO & MARTINS, ANA & PEJON, OSNI. (2010). Estudo Comparativo do Uso de Fotografias Aéreas e Imagens de Satélite na Avaliação de Processos Erosivos; 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313347089_Estudo_Comparativo_do_Uso_de_Fotografias_Aereas_e_Imagens_de_Satelite_na_Avaliacao_de_Processos_Erosivos>

ANDRADE, R.G.; BOLFE, E.L.; VICTORIA, D.C.; NOGUEIRA, S.F. Geotecnologia - Recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis** (FGV), v.36, p.30-33, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/24/76693>. Acesso em 19 de fev. de 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Rondonópolis–MT**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/rondonopolis/panorama>.

INACIO, E. S. B; CANTALICE, I. J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R. A.; BARRETO, A. C. B. Quantificação da erosão em pastagens com diferentes declives na Bacia do Ribeirão Salomea. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 2007, vol.11, n.4, pp.355-360. ISSN 1415-4366. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000400002.

LUEDELING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, New York, v.62, n.4, p.283-294, 2007. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271607000433>

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: **ABRH**, 2001. 536 p.

MORAES, J.M. **Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8(1):61-70, 2003.

NARDI, F.; GRIMALDI, S.; SANTINI, M.; PETROSELLI,A.; UBERTINI, L. Hydrogeomorphic properties of simulated drainage patterns using digital elevation models: the flat area issue / Propriétés hydrogéomorphologiques de réseaux de drainage simulés à partir de modèles numériques de terrain: la question des zones planes**. Hydrological Sciences Journal**, v. 53, n. 6, p.1176–1193, 2008.

PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em regiões do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.3, p.655-661, 2004.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v.137, p.256-268, 2016. DOI:10.1016/j.catena.2015.10.004.