

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
EIXO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MELYSSA SOUSA DE LAVOR

**O uso da fotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana: o caso de
Salgueiro/PE**

Delmiro Gouveia, AL

2022

MELYSSA SOUSA DE LAVOR

O uso da fotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro/PE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do grau Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes.

Delmiro Gouveia, AL

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

L414u Lavor, Melyssa Sousa de

O uso da fotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro – PE / Melyssa Sousa de Lavor. - 2022.
82 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Odair Barbosa de Moraes.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2022.

1. Regularização fundiária. 2. Levantamento cartográfico. 3. Fotogrametria. 4. Geoprocessamento. 5. Imóveis urbanos. 6. Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT. 7. Salgueiro – Pernambuco. I. Moraes, Odair Barbosa de. II. Título.

CDU: 528:347.952.2

Folha de Aprovação

MELYSSA SOUSA DE LAVOR

O uso da fotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro/PE

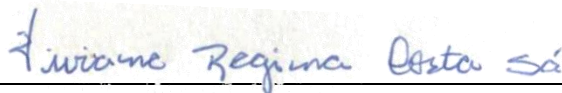
Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão e aprovado em 01 de abril de 2022.



Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes (UFAL – Campus Sertão)

(Orientador)

Banca examinadora:



Profa. Dra. Viviane Regina Costa Sá (UFAL – Campus Sertão)

(Examinador interno)



Msc. Julio César dos Santos (MDU/UFPE)

(Examinador externo)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Neide e Uilson, por cada sacrifício feito para me proporcionar as oportunidades que eles não tiveram – o que, para mim, é a mais pura manifestação do amor. Serei eternamente grata pelos valores que me ensinaram, pela fé que me foi depositada e pela luz que mantiveram no meu caminho com sua sabedoria e toda a dedicação a nossa família, sendo meus maiores exemplos e suportes desde quando a memória me permite lembrar.

Às minhas irmãs Monique, Maysa e Mikelly, com quem dividi uma infância feliz e por quem tenho enorme admiração e carinho. Sem elas a vida não teria graça! As mulheres que nos tornamos são fruto da nossa cumplicidade e pretendo preservá-la até o fim.

Ao meu noivo, amigo e incentivador, Demerson, que me ampara e me recorda da minha capacidade sempre que para mim fica difícil enxergá-la. Não há como expressar tamanha gratidão pelo amor, companheirismo, paciência e pela forma como acolhe até mesmo as minhas vulnerabilidades. Que sigamos compartilhando décadas de vida, sonhos e respeito.

A todos os colegas de turma e, em especial, aos meus amigos Jonas, Túlio, Gabriel, Kimberlly e Gustavo, que estiveram nas trincheiras ao meu lado – o que importa mais do que a própria guerra, como bem disse Ernest Hemingway. Foi com eles que dividi as angústias e alegrias de estar longe de casa e sou grata por toda a colaboração nos estudos e pelos momentos de diversão, que foram fundamentais para a nossa vitória nessa empreitada.

Ao irmão que escolhi, Thales, por ser meu abrigo e escudo durante a graduação, mesmo sem sequer termos estado no mesmo curso. Espero ter tocado a sua trajetória tão positivamente quanto ele tocou a minha com a conexão que tivemos.

À GeoSensori, nas pessoas de Tiago e Amanda, que me apresentaram ao mundo do sensoriamento remoto e que enxergaram em mim um potencial que nem eu mesma conhecia, enriquecendo a minha jornada acadêmica e profissional com um compartilhamento de saberes atencioso e gentil.

Ao professor Odair, pela orientação, paciência e compreensão em meio às dificuldades que enfrentei durante a produção deste trabalho.

E, por fim, à Universidade Federal de Alagoas, que me proporcionou a possibilidade de ascensão social através de uma educação superior pública, gratuita e de excelência.

*Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas
tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em
ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra
larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?
(Fernando Pessoa)*

RESUMO

O acelerado crescimento das cidades, somado às mudanças socioeconômicas em curso no país, consolidou no Brasil a problemática da regularização fundiária urbana, que tem incentivado os governos a empenhar esforços no monitoramento e caracterização do espaço urbano, haja vista que este é um passo fundamental para reverter a irregularidade. Nesse sentido, o trabalho propõe a aplicação da fotogrametria com drone atrelada ao geoprocessamento para promover a regularização fundiária de imóveis urbanos. A intenção da abordagem foi proporcionar à administração pública municipal informações sobre áreas de interesse de forma precisa, ampla e facilitada pelo uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Para tanto, realizou-se o mapeamento do bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE, obtendo-se o levantamento topográfico da área e o ortomosaico digital, que permitiu efetuar análises espaciais ao contrapor os dados do levantamento com os constantes nos cadastros imobiliários da Prefeitura. Foi identificada no bairro a existência de 338 imóveis carentes de regularização, estando 107 situados em vias não pavimentadas e, dentre eles, 14 já avançando a faixa de Preservação Permanente. Além do ortomosaico, foram obtidos os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Superfície (MDS); as curvas de nível da área; e os cursos drenantes de água – elementos de grande serventia à gestão de projetos urbanísticos e ao sucesso dos programas de regularização. A acurácia posicional dos produtos gerados foi aferida em 2,40 cm na planimetria e 2,78 cm na altimetria, enquadrando o levantamento na Classe A do Padrão de Exatidão para Produtos Cartográficos Digitais. O GSD (*Ground Sample Distance*) do ortomosaico digital foi aferido em 2,97 cm, valor que atesta uma resolução espacial 10 vezes superior à de um imageamento de satélite referente a mesma área de estudo.

Palavras-chave: Regularização Urbana; VANT; Fotogrametria; Geoprocessamento; Levantamento Cartográfico.

ABSTRACT

The accelerated growth of cities, added to the socio-economic changes taking place in the country, has consolidated the problem of urban land regularization in Brazil, which has encouraged governments to make efforts to monitor and characterize the urban space, given that this is a fundamental step towards reverse the irregularity. In this sense, the research proposes the application of drone photogrammetry linked to geoprocessing to promote land regularization of urban properties. The intention of the approach was to provide the municipal public administration with information on areas of interest in a precise, broad and facilitated way by the use of Remotely-Piloted Aircrafts (RPAs). For this purpose, the mapping of the Divino Espírito Santo neighborhood, in Salgueiro/PE, was carried out, obtaining the topographic survey of the area and the digital orthomosaic, which allowed to perform spatial analyzes by contrasting the survey data with those contained in the real estate records of the City Council. The existence of 338 properties in need of regularization was identified in the neighborhood, 107 of which are located on unpaved roads and, among them, 14 are already advancing the Permanent Preservation Area. In addition to the orthomosaic, Digital Terrain Models (DTM) and Surface Models (DSM) were obtained; the contour lines of the area; and the draining water courses – elements of great use in the management of urban projects and the success of regularization programs. The positional accuracy of the generated products was measured at 2.40 cm in planimetry and 2.78 cm in altimetry, placing the survey in Class A of the Accuracy Standard for Digital Cartographic Products. The GSD (Ground Sample Distance) of the digital orthomosaic was measured at 2.97 cm, a value that attested to a spatial resolution 10 times higher than that of a satellite image of the same interest area.

Keywords: Urban Regularization; RPA; Photogrammetry; Geoprocessing; Cartographic Survey.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Etapas e atividades básicas referentes à regularização fundiária. | 19 |
| Figura 2 – Interrelação entre as disciplinas do SIG. | 22 |
| Figura 3 – Mosaico de fotografias com balão de Veneza. | 25 |
| Figura 4 – Receptor GNSS e o uso do método RTK. | 29 |
| Figura 5 - Demonstração da superfície terrestre e os modelos altimétricos geoidal e elipsoidal. | 30 |
| Figura 6 – Esquema em vista de topo para ilustração das sobreposições lateral e longitudinal. | 31 |
| Figura 7 – Projeção cônica de fotografias aéreas combinadas para obtenção da projeção ortogonal do modelo. | 33 |
| Figura 8 – Ilustração de um Modelo Digital de Terreno e de Superfície. | 34 |
| Figura 9 – Conjunto RTK GEOMAX ZENITH-15. | 36 |
| Figura 10 – Controladora <i>smartphone</i> Caterpillar S31. | 37 |
| Figura 11 – Alvos marcados em solo com estênceis e tinta spray na cor preta. | 37 |
| Figura 12 – Drone DJI Phantom 4 Pro. | 38 |
| Figura 13 – Etapas metodológicas do trabalho. | 39 |
| Figura 14 – Mapa de localização do município de Salgueiro/PE. | 42 |
| Figura 15 – Delimitação do bairro Divino Espírito Santo sobre imagem de satélite consultada no Google Earth. | 43 |
| Figura 16 – Receptor base instalado sobre a laje de uma residência. | 44 |
| Figura 17 – Indicação dos pontos de checagem implantados em solo. | 44 |
| Figura 18 – Obtenção das coordenadas posicionando equipamento sobre o centro do alvo. | 45 |
| Figura 19 – Trajetória do voo. | 46 |
| Figura 20 – Alinhamento das fotos no Agisoft Metashape. | 47 |
| Figura 21 – Processo de marcação do centro dos alvos referentes aos pontos de checagem nas ortofotos. | 47 |
| Figura 22 – Nuvem densa de pontos referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE. | 48 |
| Figura 23 – Ortomosaico referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE. | 49 |
| Figura 24 – Demarcação dos novos imóveis a serem regularizados (em magenta), imóveis regularizados (em verde) e limite da Área de Preservação Permanente (em amarelo). | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 – Modelo Digital de Superfície referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE..... | 51 |
| Figura 26 – Modelo Digital do Terreno referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE..... | 52 |
| Figura 27 – MDT, curvas de nível e cursos drenantes de água (talwegues) referentes ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE. | 52 |
| Figura 28 – Visão geral do ortomosaico obtido pelo satélite WorldView-3 para o município de Salgueiro/PE com indicação do local de estudo..... | 54 |
| Figura 29 (a) – Qualidade de imagem em um trecho da área levantada por aerofotogrametria. | 55 |
| com uso de VANT..... | 55 |
| Figura 29 (b) – Qualidade de imagem em um trecho da área com imagem de satélite WV03..... | 55 |

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador, em português)

GLONASS – *Global Orbiting Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação Global por Satélite, em português).

GNSS – *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite, em português)

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global, em português)

GSD – *Ground Sample Distance* (Distância da Amostra do Solo, em português)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital do Terreno

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

PEC-PCD – Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais

PPK – *Post Processed Kinematic* (Cinemático Pós-Processado, em português)

PPP – Posicionamento por Ponto Preciso

RMS – *Root Mean Squared* (Erro Médio Quadrático, em português)

RPA – *Remotely Piloted Aircraft System* (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, em português)

RTK – *Real-Time Kinematic* (Correção em Tempo Real, em português)

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SITIM – Sistema de Tratamento de Imagens

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. | Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.2. | Objetivos Específicos..... | 15 |
| 1.3. | Estrutura Do Trabalho..... | 15 |
| 2. | REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA NO BRASIL E AS CONTRIBUIÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO | 16 |
| 2.1. | Desenvolvimento Urbano e Regularização Fundiária | 16 |
| 2.2. | Os Sistemas de Informações Geográficas e o Geoprocessamento como ferramentas de monitoramento da dinâmica urbana..... | 20 |
| 3. | AEROFOTOGRAMETRIA COM VANT | 25 |
| 3.1. | Regulamentação, classificação e tipos de VANTs..... | 27 |
| 3.2. | O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e os receptores RTK.... | 29 |
| 3.3. | Bases para a execução de um aerolevanteamento | 30 |
| 3.3.1. | Planejamento e execução do voo | 30 |
| 3.3.2. | Processamento dos dados..... | 32 |
| 3.4. | Os produtos da aerofotogrametria..... | 33 |
| 3.5. | Padrão de Exatidão para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)..... | 34 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 4.1. | Materiais..... | 36 |
| 4.2. | Método | 39 |
| 4.2.1. | Planejamento da distribuição dos pontos de checagem | 40 |
| 4.2.2. | Montagem do conjunto RTK, materialização dos pontos de checagem e aferição das coordenadas | 40 |
| 4.2.3. | Planejamento e execução do voo | 40 |
| 4.2.4. | Processamento dos dados de campo | 40 |
| 4.2.5. | Análise da qualidade dos produtos gerados | 41 |
| 5. | ESTUDO DE CASO..... | 42 |
| 5.1. | Etapa de campo | 43 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2. | Processamento dos dados | 46 |
| 5.3. | Produtos planimétricos gerados | 49 |
| 5.4. | Produtos altimétricos gerados | 51 |
| 5.5. | Classificação do levantamento segundo o PEC-PCD | 53 |
| 5.6. | Viabilidade em comparação ao uso de imagens de satélite | 53 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| | REFERÊNCIAS..... | 57 |
| | APÊNDICE 1..... | 62 |
| | APÊNDICE 2..... | 64 |
| | ANEXO 1..... | 66 |
| | ANEXO 2..... | 68 |
| | ANEXO 3..... | 70 |
| | ANEXO 4..... | 73 |

1. INTRODUÇÃO

Segundo Abramo (2003), a construção das cidades modernas nos países latino-americanos é resultado não somente da lógica de mercado e do Estado, mas também de uma terceira: a lógica da necessidade. Esta última é a principal responsável por mover todo o conjunto de ações individuais e coletivas que constrói cidades informais a partir de um ciclo de ocupação/autoconstrução/urbanização precária e culmina com a consolidação de assentamentos populares informais.

Esse contexto, além de conduzir cidadãos de baixa renda à ilegalidade, ainda os insere em um ciclo difícil de ser interrompido, já que as famílias em situação de ocupação de terrenos ou imóveis dos quais não possuem títulos de propriedade estão sempre às margens do sistema bancário de financiamento, de serviços urbanos de saneamento, transporte, saúde e educação, por exemplo, devido à situação de irregularidade. Nesse sentido, urge a necessidade de promover a regularização desses assentamentos no espaço urbano.

A luta pela terra urbana é apenas uma das facetas da luta por moradia nas cidades brasileiras. Devido à sua transversalidade, esta temática, ligada a questão habitacional, ainda não é consensual. A habitação é uma definição multidisciplinar e diz respeito a diversas áreas do conhecimento, já que circula entre questões sociais, humanas e físicas.

Martucci e Basso (2002) propõem diferentes definições aos conceitos de habitação e moradia, entendidos por vezes como sinônimos pelas grandes massas. Na literatura, habitar transcende morar, já que abrange o sistema de transportes, a mobilidade, o acesso às atividades de lazer e serviços públicos, como educação, saúde e infraestrutura. A definição de moradia, por outro lado, é delimitada pela unidade construtiva - a casa.

Do ponto de vista de Scarlato (1993), a moradia é uma necessidade básica da condição humana, já que viver é ocupar espaço. Sob esta mesma ótica, é também de comum saber a inerência do trabalho ao homem. Neste ponto, as duas premissas se cruzam e justificam a histórica divisão de um mesmo imóvel para se morar e trabalhar.

Nos primórdios da sociedade, a atividade profissional do morador era comumente exercida em um cômodo reservado dentro da residência. Nascimento (2008) discute que, com a transformação na dinâmica de trabalho e com a industrialização, os empregados passaram a ser alocados em vilas operárias no entorno das fábricas para que se mantivessem sempre próximos e disponíveis para a labuta.

A expansão das cidades e os movimentos migratórios decorrentes da revolução industrial - na contramão do que estava posto - estenderam as distâncias entre o homem e os

postos de trabalho. As indústrias tomaram os centros urbanos e afastaram a população de baixa renda para as periferias e assentamentos irregulares devido à alta especulação imobiliária. Conforme Bonduki (2002), a falta de acesso às formas tradicionais de moradia levou a população trabalhadora a erguer alojamentos ou assentarem-se em locais de infraestrutura urbana precária ou inexistente, a exemplo das favelas e loteamentos na periferia, que começaram a ampliar a área ocupada da cidade.

Diante desse cenário, consolidou-se no Brasil a problemática da irregularidade fundiária urbana, que tem incentivado a administração pública a elaborar medidas multidisciplinares que garantam às moradias o caráter de uma boa habitação e aos moradores o direito pleno à propriedade na qual se estabeleceram, favorecendo, por conseguinte, a arrecadação tributária municipal.

Essa questão lançou aos governos o desafio de construir uma metodologia rápida e eficaz na efetivação da regularização destas áreas, haja vista o acelerado crescimento populacional e habitacional e as consequências trazidas por ele. Para tanto, faz-se necessário vencer inúmeros obstáculos técnicos, legais e burocráticos até que se alcance uma solução prática que ofereça à população a titularidade da propriedade nestas áreas, uma vez que os processos socioeconômicos em curso no país tornam ainda mais complexa a gestão do espaço urbano. Isso faz da regularização fundiária uma ferramenta essencial na garantia do direito à terra urbana e na promoção de cidadania e inclusão social.

No entanto, para inverter a irregularidade, é fundamental que a administração pública gerencie o espaço urbano considerando as particularidades de sua ocupação – conhecimento que decorre da obtenção de grande quantidade de informações sobre o espaço geográfico.

Neste sentido, a aplicação do geoprocessamento por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado um promissor instrumento de apoio à tomada de decisões, subsidiando a análise dos dados e da situação de cada propriedade e permitindo a criação de modelos digitais que representem a realidade espacial dos locais em estudo, ao passo que viabiliza ainda a integração dos dados espaciais com informações de cunho demográfico e social, por exemplo.

Atreladas aos SIGs, técnicas cada vez mais modernas de caracterização do território tem ganhado espaço, destacando-se a obtenção de imagens aéreas com satélites ou com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) – popularmente conhecidos como drones. A praticidade garantida por esses métodos promove monitoramento e atualização de informações com mais constância e confiabilidade.

Sendo assim, este trabalho dedica-se a apresentar o emprego da fotogrametria aérea com drone aplicada ao geoprocessamento como aliado nos processos de regularização fundiária, utilizando para tal o estudo de um bairro no município de Salgueiro/PE, onde há ocupações irregulares e desatualização da base cadastral presente nas informações da Prefeitura Municipal.

1.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade do uso da fotogrametria com VANT para regularização fundiária urbana através de breve comparativo com um imageamento orbital e classificação segundo o Padrão de Exatidão para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar os imóveis em situação de irregularidade fundiária no bairro Divino Espírito Santo, localizado em Salgueiro/PE, a partir de fotogrametria com uso de VANT;
- Gerar os produtos cartográficos planialtimétricos da área levantada;
- Indicar aplicações práticas para os produtos cartográficos obtidos.

1.3. Estrutura Do Trabalho

Além desta introdução ao tema e das considerações finais, este trabalho está estruturado em 4 capítulos principais: Regularização Fundiária no Brasil e as contribuições do geoprocessamento; Aerofotogrametria com Drone; Materiais e Métodos; Estudo de Caso.

No Capítulo 2 está reunida a pesquisa bibliográfica que contextualiza a questão da regularização fundiária no Brasil e o desenvolvimento urbano.

Já no Capítulo 3, parte-se para uma abordagem mais técnica, desta vez voltada à aerofotogrametria como ferramenta contribuinte para a gestão do problema anteriormente apresentado.

Em seguida, no Capítulo 4, expõe-se a metodologia e os materiais utilizados para a execução do levantamento com uso de drone para enfim apresentar, no Capítulo 5, a caracterização da área de estudo e os resultados obtidos, finalizando o trabalho com as considerações finais, em que são discorridas as sugestões para investigações futuras e a importância do tipo de levantamento proposto para monitorar o desenvolvimento urbano, constituindo valiosa base de dados.

2. REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA NO BRASIL E AS CONTRIBUIÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO

2.1. Desenvolvimento Urbano e Regularização Fundiária

Neste trabalho, a regularização será entendida como proposto por Alfonsin (1997), que a resume como o processo de intervenção pública norteadas por conceitos jurídicos, físicos e sociais, que visa garantir a permanência das populações residentes em áreas urbanas desconformes com as normativas que regem o uso e ocupação do solo, implicando em melhorias no ambiente urbano do assentamento, resgate da cidadania e da qualidade de vida dos envolvidos nessa dinâmica. Para tanto, faz-se necessário defini-la sob a perspectiva urbanística, edilícia e fundiária.

No que tange ao âmbito urbano, a regularização assume diferentes significados. Fernandes in Alfonsin (2002) ressalta que o termo pode estar relacionado às intervenções urbanísticas, às mudanças construtivas nas unidades edilícias e à legalização fundiária de iniciativa do poder público.

Sendo assim, é possível definir a regularização urbanística de interesse social como o conjunto de ações dedicadas à melhoria das condições de ocupação do solo através de intervenções de infraestrutura que sejam capazes de prover aos assentamentos humanos instalações de esgoto e água encanada; garantia de acesso, ventilação e iluminação natural; coleta de resíduos sólidos; equipamentos públicos de saúde, transporte, educação, entre outros.

Por outro lado, a regularização fundiária tem seu enfoque na efetivação do direito à moradia, considerado pressuposto para a dignidade da pessoa humana segundo a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988). Em linhas gerais, como descrito por Nascimento (2008), ela promove a garantia da segurança de posse aos ocupantes de assentamentos irregulares, conferindo-lhes o título de proprietários, além de incluir os imóveis nos cadastros oficiais do município.

Há ainda o conceito da regularização edilícia, que possui escopo mais completo e objetiva adequar o imóvel à legislação construtiva local, obedecendo às normativas propostas pelos códigos de obras, de zoneamento e planos diretores dos municípios, por exemplo. Neste tipo de regularização, a unidade construtiva sofre intervenção direta, podendo ser submetida a alterações em seus recuos laterais e frontais, nas instalações de esgotamento sanitário e pluvial, nos sistemas de abastecimento de água e na qualidade e dimensões dos passeios, entre outros. Embora seja inegável a relevância deste tipo de adequação, poucos programas propõem-se a realizar, de fato, uma regularização edilícia, limitando-se – em sua grande maioria – apenas ao

fornecimento de assessoria técnica gratuita para elaboração de projetos de reforma ou de construção. (NASCIMENTO, 2008)

O entendimento do Governo Federal acerca da regularização fundiária de interesse social é expresso pela Lei nº 11.481 de 2007, que a define como aquela destinada a atender famílias com renda mensal igual ou inferior a cinco salários mínimos, promovida pelo poder público no território urbano ou rural da nação. (BRASIL, 2007)

Embora existam situações em que a regularização seja necessária apenas do ponto de vista fundiário e, do mesmo modo, ocasiões em que ela demande somente de intervenções urbanísticas e edificações para melhorar a habitabilidade, não se pode restringi-la apenas à concessão de títulos. Como aponta o Ministério das Cidades (2005) – atual Ministério de Desenvolvimento Regional –, a regularização fundiária deve estar em sintonia com os projetos de melhoria urbana, além de estar adequada à capacidade de equipe e de intervenção do município e aos princípios e diretrizes das políticas habitacionais, sociais e do Plano Diretor.

A ocorrência de programas muito pontuais e superficiais se deve, majoritariamente, à complexidade dos processos de regularização urbana. Uma vez que se faz necessário o desenvolvimento de diversas pesquisas; recuperação de documentos arquivados em más condições que dispõem de informação fundamental para a regularização; e respeito às questões sociais e legais de cada situação, o procedimento torna-se extenso e demanda a contribuição de diversos profissionais e áreas do conhecimento (NASCIMENTO, 2008).

Somado a isso, há também que preocupar-se com o embasamento jurídico da regularização. Dentre os instrumentos balizadores da temática, é possível citar o Código Florestal instituído pela Lei Federal nº 4.771/65; a Constituição de 1988; a Lei Federal nº 6.766/79, que versa sobre o parcelamento e ocupação do solo; o Estatuto da Cidade, instaurado pela Lei Federal nº 10.257/01; além da Resolução 369/06 do Ministério do Meio Ambiente, que dispõe sobre os casos excepcionais que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente - APP. Ademais, existe para este fim a legislação a nível municipal – como os Planos de Saneamento, de Habitação, Códigos de Obras, de Desenvolvimento Econômico e Social e Planos Diretores – que deixam ainda mais específica a discussão delimitando conceitos, condutas e outros aspectos para tornar a abordagem mais adequada às realidades locais.

Destaca-se entre as normativas de abrangência nacional o supracitado Estatuto da Cidade. Após sancionada, esta Lei deu aos municípios considerável autonomia no que se refere à regularização imobiliária, pois contribui com a garantia da função social da terra urbana e com a destinação de mais recursos para habitação. O Estatuto viabilizou, portanto, a

transferência da responsabilidade de grande parcela dos processos relativos a esta pauta para as Prefeituras, tornando-os mais ágeis e implantando instrumentos aplicáveis a nível municipal.

Entre as ferramentas regulamentares de cunho social presentes na referida Lei Federal nº 10.257/01, ressaltam-se – além dos Planos já mencionados – a proposição da assistência técnica e jurídica gratuita para a população de baixa renda, o incentivo à gestão orçamentária participativa e o IPTU progressivo no tempo, voltado à defesa da função social do território.

Da perspectiva ambiental, merece destaque a regularização de assentamentos precários que estejam situados a 15 m das margens de córregos e ribeirões, assegurada pela Resolução 369/06 do Ministério do Meio Ambiente. Ainda que a proposição seja controversa pelo fato de que as habitações são situadas dentro das Áreas de Preservação permanente definidas pelo Código Florestal, ela é um importante catalisador na regularização desses assentamentos. Regiões antes fadadas ao esquecimento devido à ausência de respaldo jurídico para intervenções do Estado puderam, quando da sanção da Resolução, desfrutar de garantia de permanência da população.

Embora reconhecida a importância do aparato jurídico exposto até aqui, ele pouco vale quando há ausência de recursos financeiros para desenvolver a regularização das áreas de interesse social irregularmente ocupadas. No Brasil, o principal fomento ainda advém das iniciativas do Governo Federal, podendo eventualmente requerer contrapartida do município. A exemplo, pode-se citar o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que lançou recursos na intenção de proporcionar intervenções relativas à regularização fundiária, segurança, salubridade e habitabilidade para a população residente em regiões inadequadas à moradia. Para tanto, o PAC propunha a execução de ações integradas de habitação, saneamento e inclusão social visando a permanência ou realocação das famílias.

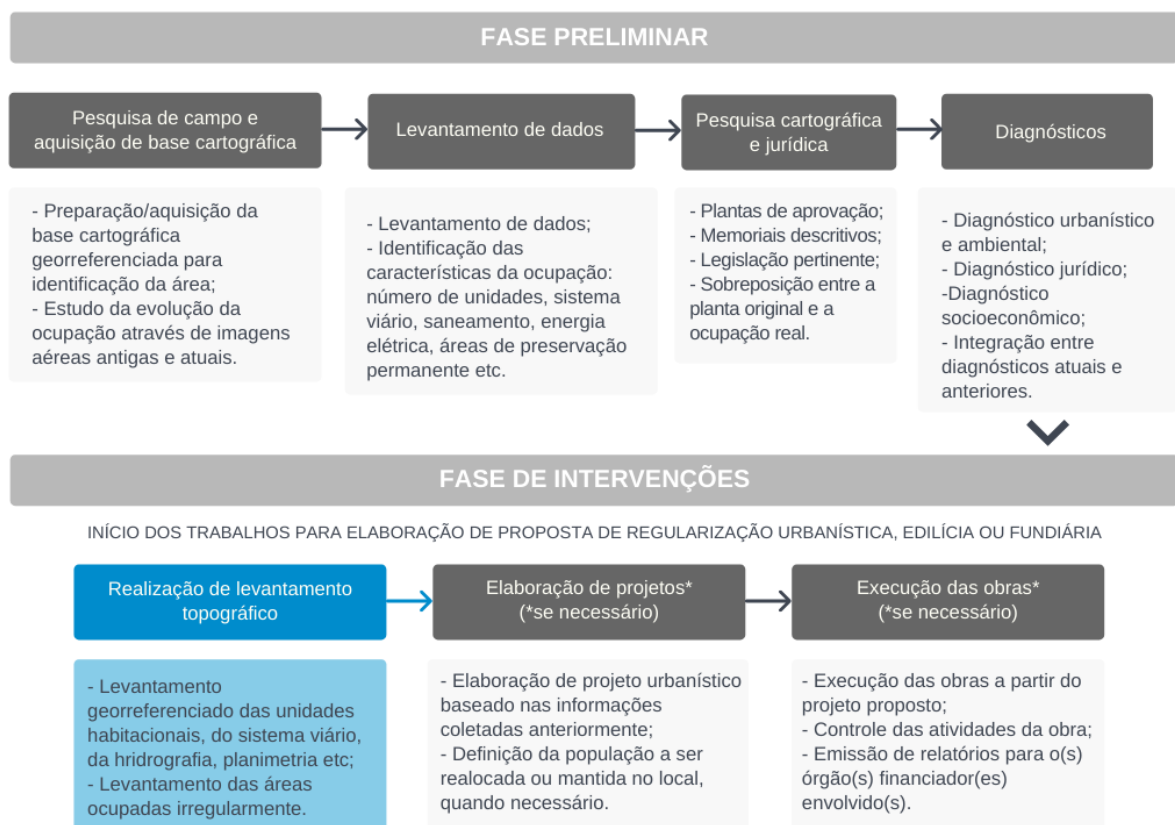
No que tange à regularização fundiária, são comuns as ações de caráter semelhante ao Programa Moradia Legal, uma iniciativa do Poder Judiciário de Pernambuco através da Corregedoria Geral da Justiça de Pernambuco (CGJPE) em parceria com a Presidência do Tribunal de Justiça de Pernambuco (TJPE). A ação leva orientação às prefeituras integrantes para que sejam regularizados – nos moldes da Lei 13.465/2017 que dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana e do Decreto 9.310/2018 – os núcleos urbanos informais ocupados por população de baixa renda. Nesse sentido, o Programa compromete-se a efetivar medidas jurídicas e administrativas junto aos cartórios de registro imobiliário e garantir o direito à posse e à propriedade plena para a população, configurando-se como uma iniciativa de Regularização Fundiária de Interesse Social (Reurb-S).

Os conceitos e ferramentas mencionados até aqui formam as bases para qualquer regularização que se deseje implementar, sobretudo quando há necessidade de requerer recursos financeiros externos à administração pública municipal. Esta é uma situação comum nas regiões em que é grande o número de setores irregulares ou pequena a receita interna local para financiar as ações. Nesses casos, para o sucesso da solicitação, é imprescindível a identificação e caracterização das áreas; a participação popular no planejamento da função social da propriedade; e a aprovação de Planos Diretores, de Habitação e de Saneamento, por exemplo.

Sendo assim, além de recursos humanos capazes de pesquisar e caracterizar as áreas candidatas aos recursos utilizando-se, inclusive, de embasamento jurídico para tal, ainda há a necessidade de sistematizar o conjunto de informações sobre o território. Essa organização de dados pode constituir a geração de gráficos, mapas, tabelas e outros instrumentos de análise e apoio à decisão.

Como aponta Bueno (2002), há etapas que compõem o processo de regularização fundiária. Areladas a cada uma delas, estão algumas atividades básicas, conforme listado por Nascimento (2008) e apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas e atividades básicas referentes à regularização fundiária.



No esquema apresentado na Figura 1, é possível perceber a multidisciplinaridade envolvida no processo de regularização e a importância de conduzi-lo de maneira integrada, sendo estas algumas das principais motivações de se aplicar técnicas de geoprocessamento baseadas em um Sistema de Informações Geográficas no trabalho com esta temática.

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas tende a diminuir o impacto dessa fragmentação e compartimentação das atividades, oferecendo informações variadas e acessíveis a todas as equipes por meio de um canal único e direto de comunicação, além de facilitar o estabelecimento de critérios de priorização entre as áreas.

A seção a seguir apresenta as definições de SIG e do geoprocessamento, abordando sua aplicação como ferramenta auxiliar na regularização fundiária urbana, por contribuírem com a identificação e localização das áreas de interesse, com a caracterização do espaço físico e socioeconômico, e com a gestão das informações levantadas e armazenadas de forma acessível e unificada para os diferentes setores e equipes envolvidos na administração do território urbano.

2.2. Os Sistemas de Informações Geográficas e o Geoprocessamento como ferramentas de monitoramento da dinâmica urbana

A teoria dos sistemas tem sua origem na década de 1940, no contexto da Segunda Guerra Mundial, quando Ludwig von Bertalanffy deparou-se com a necessidade de coletar e tratar dados à distância, em curto espaço de tempo, para viabilizar a tomada de importantes decisões operacionais. As técnicas analítico-sistemáticas desenvolvidas no pós-guerra avançaram para além do segmento militar, chegando ao cenário industrial e científico de modo que se tornaram base para as metodologias de análise de sistemas posteriormente desenvolvidas, como é o caso dos sistemas geográficos, que são entendidos como o conjunto de objetos ou atributos e de suas relações, combinados de forma esquematizada para executar uma função específica (CHRISTOFOLETTI, 1979, p.1).

Com o emergir da necessidade de caracterizações cada vez mais quantitativas do território, o uso de modelos ganhou espaço e tornou-se instrumento fundamental em trabalhos de campo e na análise de cartas e fotos. A ferramenta permitiu coletar informações e testá-las, estudando as hipóteses e sua viabilidade (CHRISTOFOLETTI, 1982. p.90).

Segundo Baily (1978) a aplicação de modelos ao estudo de cidades foi incentivada pela necessidade de compreensão do fenômeno urbano. O tema - antes passível de interpretação somente teórica - passou a demandar de uma observação mais prática, já que todas as pesquisas relativas a ele têm como meta uma aplicação concreta.

Em linhas gerais, a intenção do modelo é compreender o estado atual e suas tendências, antecipar cenários futuros e avaliá-los, para que seja possível simular as eventuais intervenções no sistema conceitual antes de levá-las à prática no sistema real. Esse artifício atende à preocupação crescente com a eficiência do processo de planejamento e permite diagnóstico prévio à elaboração de um plano, contribuindo com sua efetividade (GEDDES, 1994).

Somente na década de 1960 o termo “planejamento sistêmico” é consolidado, sendo a representação de toda a complexidade de um assunto ou tema através de sistemas e subsistemas que expressam as características e o comportamento do objeto de estudo. Essa abordagem é estruturada em quatro etapas, sendo elas: descrição do sistema e identificação do problema; análise e diagnóstico; tomada de decisão; e implementação e monitoramento (LEE, 1974).

No nível mais elementar, um sistema de informações é composto por um conjunto de dados e pelos instrumentos de análise dessas informações. Os dados podem estar disponíveis em formato analógico ou digital, e referem-se a fenômenos do sistema real. Depois de apresentados de maneira integrada, eles formam um conjunto que se configura como um modelo dos eventos ou fenômenos do mundo real.

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG – têm este mesmo propósito. Com o avanço da tecnologia, a ferramenta passa a cumprir novas funções além das proporcionadas pelos modelos convencionais de mapas, maquetes e outros arquivos. Com um SIG, novas perspectivas são acrescentadas às análises e projetos provenientes dos modelos do mundo real.

Em suma, um sistema de informações geográficas parte da informação espacial e a relaciona com a localização, gerando elementos gráficos – feições cartográficas representadas por pontos, linhas, áreas e redes – que podem ser exibidos e manipulados em computador. Atreladas a estas representações, podem estar dados econômicos, sociais, físicos etc, configurando uma informação temática que se apresenta por meio de elementos textuais e numéricos em tabelas. Estes dois conjuntos de dados são denominados de informações espaciais e não-espaciais e compreendem uma maneira de esquematização de dados com significados associados a eles, tornando a informação gerada útil para um propósito pré-definido. (FONTES, 2001)

O estudo de aspectos espaciais da superfície da Terra provém de diversas áreas do conhecimento, como a hidrologia, a geologia, o uso e ocupação do solo, a vegetação etc. Quando identificada essa transversalidade, percebeu-se a necessidade de análises conjuntas destes fatores, abordando as questões territoriais de modo integrado e multidisciplinar.

Nesse contexto, os pesquisadores notaram a possibilidade de combinação de mapas por sobreposição a partir de técnicas simples, como a “mesa de luz”, que permitia a identificação

de zonas coincidentes através de materiais gráficos sobrepostos. Um dos pioneiros desta prática foi o arquiteto americano Ian McHarg, que produziu uma metodologia de planejamento ambiental fundamentada nesse princípio. Em seguida, na década de 1970, os grandes investimentos estatais nestas áreas incentivando a busca de aplicações militares possibilitaram o surgimento dos primeiros programas que dispunham desse artifício de cruzamento de dados de maneira computacional (McHARG, 1971, NERY, 1992).

Pode-se dizer que os Sistemas de Geoprocessamento são consequência da evolução tecnológica de diversos campos. Entre eles, ressalta-se a topografia, com o desenvolvimento dos Modelos Digitais de Terreno – MDT; a cartografia digital e a computação gráfica, com a criação dos sistemas de Desenho Assistido por Computador (CAD); e a Tecnologia da Informação, com os programas de Processamento Digital de Imagens (PDI) e os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), conforme ilustrado da Figura 2. Na perspectiva do planejamento urbano, estes instrumentos viabilizaram inicialmente o desenvolvimento de sistemas cadastrais para o gerenciamento de informações sobre uso e propriedade do solo, conhecidos na literatura como LIS – Land Information Systems. (KONECNY, 2003)

Figura 2 – Interrelação entre as disciplinas do SIG.



Fonte: Traduzido e adaptado de Konecny, 2003, p. 11.

A etimologia do termo Geoprocessamento está na união da palavra Geo – que deriva do termo grego *gaia* e significa Terra – com a palavra Processamento, referente à capacidade de processar informações. Nesse sentido, é possível definir o Geoprocessamento como o conjunto de métodos e tecnologias voltados ao tratamento digital de dados e informações geográficas.

Com o avanço contínuo da tecnologia, as atividades de gestão e planejamento urbano passam a dispor de novas possibilidades. Como a grande maioria das decisões tomadas neste

contexto são pautadas em, pelo menos, um aspecto geográfico, o geoprocessamento configura-se como importante ferramenta para uma moderna gestão da cidade. Entre as principais vantagens de SIG urbano, está a possibilidade de integração de dados de diversas fontes e formatos, além da geração de informação adicional pelo cruzamento destas informações (NASCIMENTO, 2008)

As primeiras experiências com geoprocessamento de cunho urbano no Brasil datam dos anos 70 e eram baseadas em modelos mais pontuais, como os projetos METROPLAN em Porto Alegre, FIDEM no Recife e PRODAM em São Paulo, que se comprometeram, basicamente, com a gestão cadastral urbana geocodificada. À época, as iniciativas não foram capazes de progredir porque as soluções propostas envolviam tecnologias muito caras e de operação muito centralizadora, além de envolver problemas econômicos, técnicos e culturais que as tornavam inadequadas para as aplicações às quais se destinavam. (PEREIRA E CARVALHO, 1999)

Esse contexto desestimulou o desenvolvimento de novos projetos, à exceção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que se manteve firme no desenvolvimento de *software* SIG e processamento digital de imagens com o projeto conhecido como SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens).

Ainda segundo Pereira e Carvalho (1999), somente no fim da década de 80 e início dos anos 90 os SIGs urbanos voltam a consolidar-se. O avanço se dá devido ao sucesso de outras experiências na Europa, Estados Unidos e Canadá, ao crescimento do mercado de *softwares* e desenvolvimento de *hardwares* mais adequados às aplicações e aos preços mais acessíveis das tecnologias.

Os sistemas pioneiros de geoprocessamento urbano no Brasil são recentes. Iniciaram em 1989 com os projetos de Belo Horizonte, Santo André e Curitiba, que tinham como objetivos mais imediatos a gestão administrativa e não o planejamento, propondo-se em primeiro momento a construir bases. A experiência de Belo Horizonte destaca-se devido à sua característica metropolitana e ao porte do projeto, que teve início com a execução de um levantamento aerofotogramétrico na intenção de produzir a base cartográfica digital, que foi incrementada em 1992 com a aquisição de equipamentos e *software* para mantê-la (BROIATO, et al., 1994; DAVIS JR., 1993).

Atualmente, os projetos de implantação de sistemas de geoprocessamento são mais comuns, mas tem seu principal gargalo na construção da base de dados digital que alimenta o sistema – uma realidade que decorre da ausência de uma cultura de manutenção de dados no Brasil, sejam eles cadastrais ou cartográficos. Por este motivo, é fundamental iniciar os processos de implementação com a contratação de levantamentos aerofotogramétricos e

restituição digital, atentando-se também para a elaboração da base de dados e atualização constante das informações cadastrais que compõem o SIG. (AZAMBUJA, SILVA, PINTO, 1998).

Diante do exposto, apresenta-se na seção seguinte as contribuições do advento da aerofotogrametria, suas bases teóricas e sua utilidade no geoprocessamento, sobretudo para a construção de cartogramas e geração de dados cadastrais do território urbano, servindo de ferramenta de apoio à decisão para a administração pública municipal.

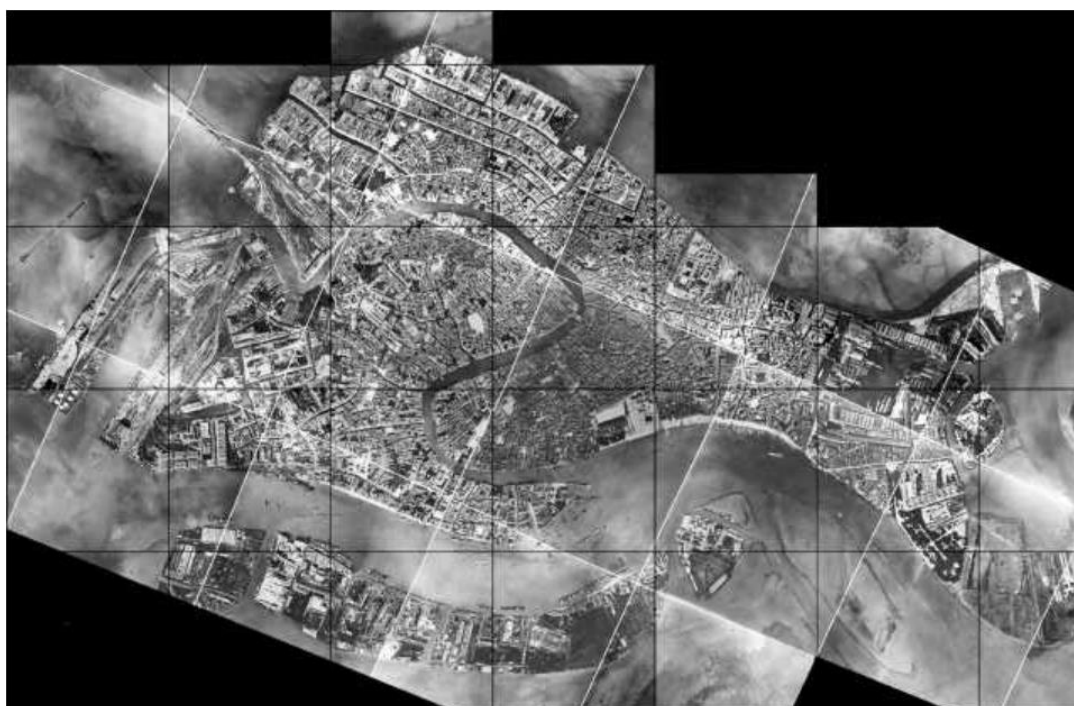
3. AEROFOTOGRAMETRIA COM VANT

Segundo Burtch (2008), a fotogrametria teve seu desenvolvimento tecnológico dividido em três fases: analógica, analítica e digital. Esse método teve início em 1848 com Aimé Laussedat (1819-1907), um oficial do Corpo de Engenheiros do exército francês que ficou conhecido como “Pai da Fotogrametria” após aplicar o princípio da câmera clara no desenho de vistas geometricamente exatas de áreas levantadas (ESPARTEL, 1973).

Mais adiante, em 1855, a ideia do uso de fotografias aéreas para mapeamento foi patenteada por Gaspard Felix Tournachon (1820-1910), conhecido como Nadar. A primeira experiência, no entanto, só ocorreu em 1858 quando ele obteve fotografias aéreas inclinadas do *Petit-Bicêtre*, próximo a Paris, ao voar com um balão a uma altura de aproximadamente 80 metros. (SLAMA, 1980).

A técnica veio a amadurecer de maneira mais significativa somente em 1911, quando o Capitão Cesare Tardivo (1870-1953) obteve um mosaico de fotografias de Veneza, apresentado na Figura 3. Tardivo era um oficial italiano da Seção Fotográfica do Corpo de Engenheiros da Itália. Devido a este levantamento e à apresentação de diversos trabalhos de uso civil e de natureza militar durante sua participação no 1º Congresso Internacional de Fotogrametria, em Viena, a literatura atribui a ele a primeira imagem aérea obtida com avião (GUERRA e PILOT, 2000).

Figura 3 – Mosaico de fotografias com balão de Veneza.



Fonte: GUERRA e PILOT (2000).

Silva (2015) aponta a intensa utilização deste tipo de imageamento com início da Primeira Guerra Mundial, quando as fotos aéreas foram especialmente úteis ao reconhecimento do território inimigo. Um exemplo desse uso é trazido por Slama (1980), que apresenta um mosaico de fotografias obtido pelas forças alemãs com câmera automática, resultando no mapeamento de aproximadamente 7.000.000 km² de áreas da França, Bélgica e Rússia.

Ainda segundo Silva (2015), ao fim da Primeira Guerra as câmeras e equipamentos de restituição estavam mais aperfeiçoados e mais produtivos, vantagem que incentivou o investimento de empresas privadas na fotogrametria para mapeamento.

Nesse contexto, a *Fairchild Aerial Survey* assinou em 1920 um dos primeiros contratos para aerolevanteamento, referente ao estado de Connecticut, nos EUA. Mais adiante, entre 1927 e 1929, o Serviço Topográfico da Alemanha experimentava o mapeamento aplicado ao cadastro topográfico de parcelas na ilha de Amrum (JORDAN, 1944; SLAMA, 1980).

Esta fase de desenvolvimento foi caracterizada principalmente pela inexistência de computadores aptos a realizar os cálculos necessários às várias etapas do levantamento fotogramétrico, demandando assim de instrumentos analógicos, motivo pelo qual recebe esse nome. Em 1960, com a introdução dos computadores cada vez mais baratos e potentes, a participação instrumental no processo fotogramétrico foi reduzida, resultando em aumento na precisão e na sofisticação nos modelos matemáticos, constituindo a fase analítica da fotogrametria. Dos anos 90 até a atualidade, a tecnologia atingiu maturidade suficiente para suplantarem as técnicas analógicas. Com o advento de câmeras modernas, a captura de imagens ocorre de maneira direta e os computadores já realizam aplicações gráficas com autonomia, sendo estas as principais características da fotogrametria digital (TOMMASELLI, 2009).

O avanço tecnológico vivenciado pela fotogrametria permitiu a obtenção de imagens aéreas não somente através de aviões, mas também por meio das chamadas Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft System - RPA*) ou Veículos Aéreos Não Tripulados – popularmente conhecidos como drones. Quando aplicados à aerofotogrametria, esses equipamentos reduzem de maneira considerável o trabalho em campo das equipes responsáveis pela identificação do terreno, já que reduzem a necessidade de contato direto com a área a ser levantada e apresentam grande produtividade se comparados aos métodos tradicionais de mapeamento (SANTOS et al., 2011).

Além do uso dos VANTs, ressalta-se o imageamento por satélite. Segundo Amorim *et. al.* (2013), o surgimento de imagens orbitais de alta resolução espacial entre a década de 90 e o início dos anos 2000 foi especialmente favorável ao monitoramento do território urbano. Por outro lado, Turner *et. al.* (2012) afirmam que, embora fotografias aéreas de alta qualidade

geradas por satélites e aeronaves possam ser facilmente adquiridas em plataformas *on-line*, sua resolução temporal é limitada por restrições de disponibilidade das próprias aeronaves e pelas características de órbita de satélites. Além desses fatores, Manyoky *et al.* (2011) apontam que a grande altitude da captura e as altas despesas inerentes aos levantamentos por avião ou satélite ainda configuram limitações à aplicação destes produtos na delimitação de imóveis urbanos.

Diante dessas desvantagens, Maurice *et al.* (2015) defendem que os RPAs permitem a geração de imagens em resoluções iguais ou superiores às obtidas em voos tripulados, com a vantagem adicional de não haver a presença de nuvens e de ser um levantamento de baixo custo se comparado às outras metodologias.

Independente do equipamento utilizado na captura de imagens, a aerofotogrametria deve estar aliada à fotointerpretação, abordagem em que os profissionais envolvidos nos projetos de estradas, áreas urbanas e áreas de drenagem, por exemplo, examinam os objetos das fotografias captadas para atribuir a eles uma significação, gerando dados qualitativos a partir de imagens (ALMEIDA e GIONGO, 2014).

Como defendido por Meneses e Almeida (2012), as aerofotografias fornecem também dados quantitativos, pois são matrizes compostas de linhas e colunas que constituem pixels, sendo cada pixel composto por três principais atributos: coordenada X, coordenada Y e um terceiro atributo, que pode ser a radiância, temperatura ou altitude, a depender do sensor utilizado no levantamento. A radiância mensura a Radiação Eletromagnética (REM) que é refletida por um objeto em determinado intervalo de comprimento de onda, o que significa dizer, por exemplo, que as câmeras RGB apresentam para cada pixel, além de suas coordenadas, três outros valores, que correspondem à radiância dos canais do vermelho (R - Red), verde (G - Green) e Azul (B - Blue). (ROSALEN et al., 2017).

3.1.Regulamentação, classificação e tipos de VANTs

Os VANTs presentes no mercado podem ser de asas fixas – similares às de um avião, com sustentação aerodinâmica garantida pelo fluxo de ar entre suas asas – ou rotativas, semelhantes a um helicóptero, cujas principais características são o seu tamanho compacto, a fácil operação e o baixo custo. Neste segundo tipo, o equipamento conta geralmente com um motor para proporcionar a rotação das palhetas em cada um dos seus vértices, motivo pelo qual é também conhecido como drone multirrotor.

Os multirrotores, como apresentado por Medeiros (2007), apresentam vantagens para fins de trabalho e de recreação, dentre as quais é possível destacar: a capacidade de pousar e

decolar de qualquer lugar; melhor desenvolvimento em voos operados durante ventos fortes, se comparados aos de asa fixa; médio custo de aquisição e fácil transporte.

Além da classificação supracitada, a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2021) agrupa os drones quanto ao seu peso máximo de decolagem, podendo ser de classe 1, 2 ou 3, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos drones quanto ao peso máximo de decolagem.

| Classe | Peso máximo de decolagem |
|---------------|---|
| Classe 1 | Acima de 150 kg |
| Classe 2 | Acima de 25 kg e abaixo ou igual a 150 kg |
| Classe 3 | Abaixo ou igual a 25 kg |

Fonte: Adaptado da ANAC (2021).

Para os VANTs de Classe 1, a Agência determina que é necessária certificação semelhante à de aeronaves tripuladas, enquanto que os equipamentos de até 250 gramas de peso máximo de decolagem não precisam de cadastro ou registro no órgão, independentemente de sua finalidade.

Os componentes de um drone multirrotor são, em suma: a carga ou *payload*; a câmera; as baterias e o GPS, que atuam como sensores do equipamento. Costa (2008) apresenta a recente capacidade de os equipamentos câmeras digitais de pequeno formato com imageamento de baixo custo, realidade trazida pelo avanço do setor. Ainda neste contexto, Rosalen et al. (2017) ressaltam que o uso de câmeras digitais comuns, dotadas de um sistema de cores com sensores RGB já passam a dar espaço aos sensores do tipo LiDAR (Light Detection And Ranging), escâneres à laser que permitem modelar a superfície terrestre tridimensionalmente. Além deles, há também as câmeras térmicas, que permitem medir temperaturas superficiais e por isso são bastante úteis na agricultura para realizar detecção de áreas irrigadas; e as câmeras multiespectrais, que permitem realizar modelagem na estrutura das copas das árvores (JORGE, 2003).

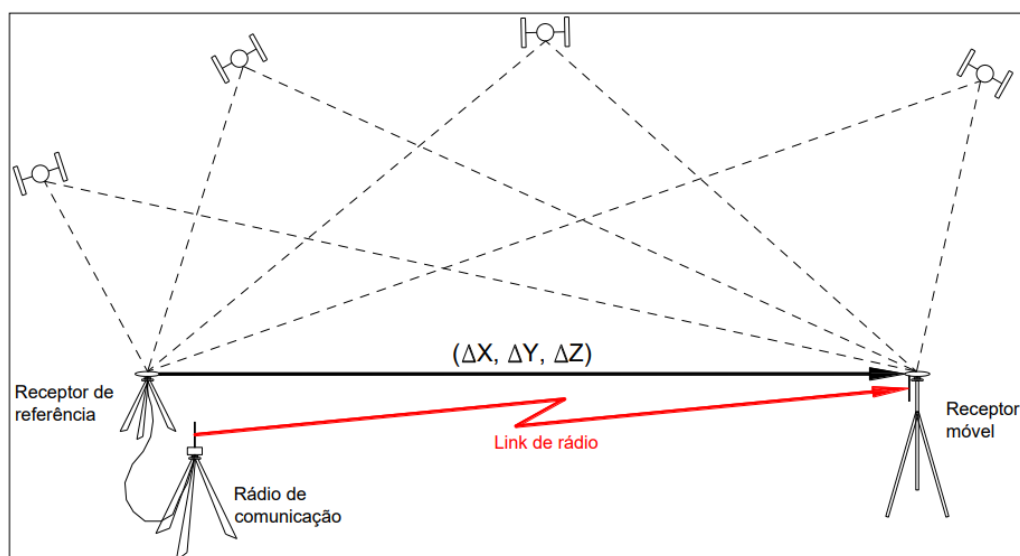
As baterias, em geral, são recarregáveis e compostas de *Lithium-Polymer* (LiPo) com alto rendimento e duração de até 30 minutos, constituídas de um conjunto de duas a oito células de 3,7 V (CANGUSSU; CAMPANO JUNIOR, 2015). Além destes componentes, há o controle remoto da aeronave, que opera sob supervisão humana ou de maneira pré-programada com o uso de softwares computacionais.

3.2. O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e os receptores RTK

Para obtenção das coordenadas de um ponto no espaço, utiliza-se comumente a metodologia GNSS, do inglês *Global Navigation Satellite System*. A determinação da posição acontece rapidamente, através de sistemas de navegação por satélites artificiais. Entre eles, pode-se mencionar o GPS (*Global Positioning System*) e o GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), desenvolvidos pelos Estados Unidos e pela União Soviética, respectivamente, durante o período da Guerra Fria. Além desses e de outros, há também o sistema de posicionamento desenvolvido pelo governo chinês, que recebe o nome de Beidou. O GNSS é, portanto, um termo genérico utilizado para se referir a todos esses sistemas de navegação por satélite, funcionando como uma constelação que compõe a tecnologia de posicionamento global (SANTOS, 2012).

Os receptores RTK (*Real-Time Kinematic*), por outro lado, são equipamentos que corrigem em tempo real as coordenadas dos pontos coletados em GNSS. Conforme descrito por Diniz (2016), o procedimento envolve o uso de dois receptores, sendo um deles estacionário – denominado “estação base” e responsável por receber os sinais codificados da constelação de satélites – e outro móvel, utilizado para obter as coordenadas de cada ponto, cujo esquema de funcionamento está representado na Figura 7. Essas informações de posição dos pontos são corrigidas em tempo real pelo receptor de referência que, por sua vez, tem suas coordenadas ajustadas pelo Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE (IBGE-PPP).

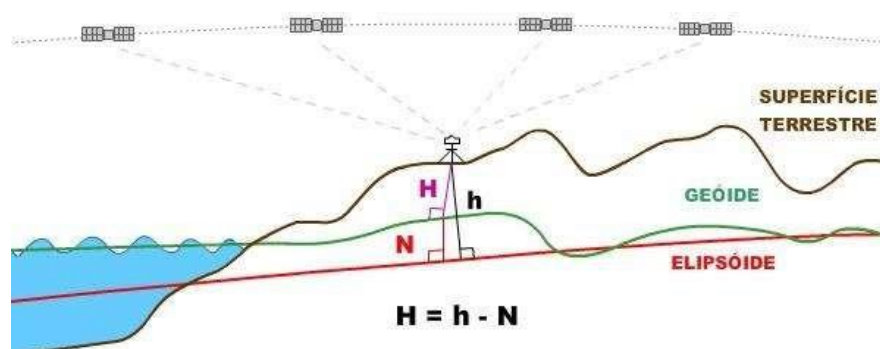
Figura 4 – Receptor GNSS e o uso do método RTK.



Fonte: INCRA (2013).

A informação posicional em X e Y captada pelos receptores GNSS é fornecida ao usuário no Sistema de Coordenadas por ele especificado ao configurar o receptor, podendo ser um Sistema Geodésico ou Plano, a exemplo do Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM). A coordenada Z, no entanto, é disponibilizada considerando o modelo do elipsóide, cujos parâmetros são balizados pelo *Datum WGS84*. A altitude ortométrica, que representa a cota real do ponto, deve ser adequada ao modelo geoidal da terra. Como ilustra a Figura 5, a altitude elipsoidal (h) é convertida em altitude ortométrica (H) através da separação geoidal (N), que é a diferença entre o elipsóide e o geóide, calculada por um modelo de ondulação geoidal (IBGE, 2019).

Figura 5 - Demonstração da superfície terrestre e os modelos altimétricos geoidal e elipsoidal.



Fonte: IBGE, (2019).

3.3. Bases para a execução de um aerolevantamento

Essencialmente, são três as etapas de um levantamento aerofotogramétrico: planejamento de voo, execução do voo e processamento dos dados obtidos com a aeronave.

3.3.1. Planejamento e execução do voo

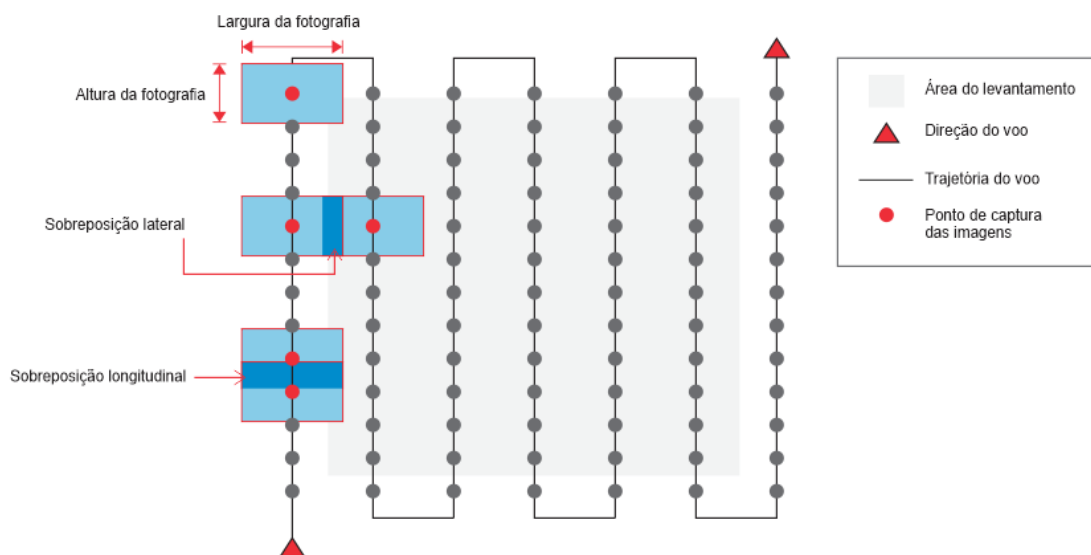
No planejamento de voo, conforme recomendado por Silva e Botelho (2017), é de suma importância considerar as propriedades da aeronave. Ao conhecer os sensores, a automação do sistema de baterias e a sobreposição de imagens, pode-se determinar de maneira prévia as características dos produtos cartográficos que se pretende gerar. Como levantado por Ferreira *et al.* (2013), além dos aspectos do equipamento, faz-se necessário examinar alguns fatores em campo que podem ser determinantes para o sucesso da operação, como a segurança do local, a existência de torres e linhas de transmissão, a proximidade de áreas urbanas ou aeroportos etc. Características ambientais também precisam ser observadas: tipo de vegetação, dimensão da

copa das árvores e se o céu está nublado, por exemplo, são fatores que exercem influência sobre a luminosidade das fotografias e a qualidade do resultado.

Ademais, deve-se ainda atentar-se para a distância à amostra de solo, ou GSD (do inglês, *Ground Sample Distance*), fator imprescindível para prever a qualidade das imagens geradas. Este parâmetro leva em conta o tamanho do pixel da imagem; a distância focal da câmera e a altura de voo. Segundo Luz (2015), o GSD tem importante papel na fotogrametria por nortear o nível de detalhamento do levantamento, contribuindo diretamente para a resolução espacial do mapeamento.

Na etapa de planejamento, também são determinadas as sobreposições lateral e longitudinal do voo. Estes percentuais indicam a incidência de uma foto sobre a outra e contribuem para a qualidade do ortomosaico gerado. Em outras palavras, quanto maior for a sobreposição, maior será a quantidade de pontos em comum detectados pelo algoritmo computacional. A recomendação, segundo Ferreira *et al.* (2013), é de que o voo seja executado de modo a garantir pelo menos 60% de sobreposição lateral e 70% de sobreposição longitudinal. O esquema da Figura 6 ilustra cada tipo de sobreposição.

Figura 6 – Esquema em vista de topo para ilustração das sobreposições lateral e longitudinal.



Fonte: A autora (2022).

Também contempla o plano de voo a identificação de pontos de controle ou checagem no solo, cujas coordenadas possam ser obtidas com alta precisão. Normalmente, esses pontos são coletados através de um receptor GNSS geodésico e a aferição de suas coordenadas é imprescindível para assegurar uma boa acurácia ao levantamento. Embora todos os RPAs

disponham de GPS embarcado, eles são apenas receptores de navegação de baixo custo, capazes de decodificar somente o código C/A da onda portadora emitida pelo satélite, o que implica numa precisão de 3 a 5 m, como identificado por Saraiva (2019). Por este motivo, a obtenção das coordenadas dos pontos em solo através de receptores geodésicos é tão fundamental. Diferentemente do GPS que vai a bordo do drone, o receptor GNSS decodifica o código P de maior precisão e possui, geralmente, dupla frequência, sendo capaz de detectar duas faixas de comprimento de onda ou ondas portadoras. As principais são as fases L1 e L2, que possibilitam acurácia centimétrica depois de efetuado o pós-processamento dos dados, vantagem que reforça sua aplicação na coleta de pontos em levantamentos topográficos e georreferenciamento de imóveis.

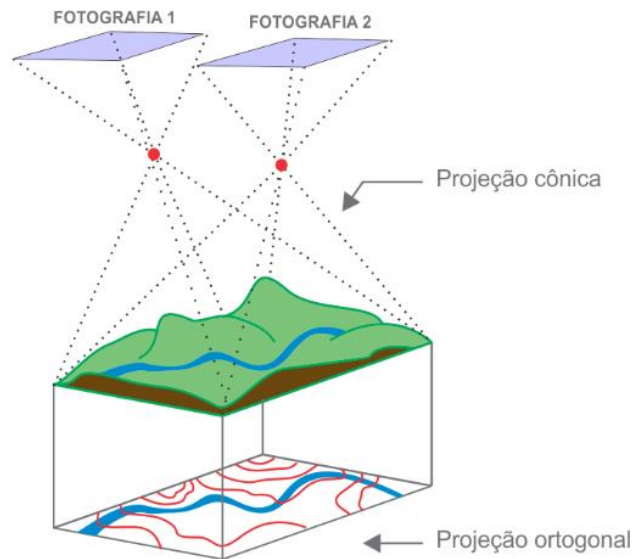
No que se refere à quantidade de pontos de controle a serem materializados no solo, Brito (2007) aponta que ela dependerá da extensão da área que se deseja mapear e que quanto maior for número de pontos de controle, melhor será o produto cartográfico produzido. No entanto, é preciso verificar a viabilidade econômica e operacional de instalar tantos pontos de controle. Quanto à visualização, os pontos devem ser facilmente identificáveis, e podem ser artificiais ou naturais.

Findada a etapa de planejamento, a sinalização dos marcos no solo e a análise de questões ambientais no local a ser mapeado, parte-se para a execução do voo, momento em que são capturadas as imagens aéreas. Saraiva (2019) aponta o curto tempo de exposição em campo como uma das principais vantagens do levantamento topográfico com uso de drone, sendo o processamento de dados, na maioria dos casos, a fase mais demorada.

3.3.2. Processamento dos dados

Em se tratando da fase de processamento de dados, destaca-se a importância da aerotriangulação. Segundo Aguiar e Mitishita (2002) a função deste procedimento fotogramétrico é identificar pontos homólogos em diferentes imagens, relacionando-as conforme ilustrado na Figura 7 na intenção de converter a projeção cônica das fotografias para a ortogonal, utilizada em mapas. É a partir daí que são construídos os ortomosaicos, sendo este o principal motivo pelo qual se faz necessária uma alta sobreposição entre as imagens capturadas, já que essa prática se permite que o algoritmo computacional seja capaz de definir mais pontos comuns entre as fotos.

Figura 7 – Projeção cônica de fotografias aéreas combinadas para obtenção da projeção ortogonal do modelo.



Fonte: A autora (2022).

Outra técnica aplicada ao processar os dados de campo é a estereoscopia, procedimento baseado na observação de mais de uma imagem sobre diferentes ângulos. O fenômeno é semelhante ao realizado pelos nossos olhos e permite reconstruir o espaço em uma perspectiva tridimensional (TOMOYOSE, 2010).

Na aerofotogrametria, os modelos tridimensionais de superfície são resultado do processamento da nuvem de pontos, que se baseia em pares de imagens estereoscópicas. Silveira et al. (2008) argumentam que a exatidão do modelo depende da identificação de pontos similares nesses pares de forma automática ou manualmente, quando é realizada ponto a ponto.

Consecutivamente aos processos de aerotriangulação, estereoscopia e georreferenciamento, o terreno mapeado pelo aerolevanteamento é enfim caracterizado com a geração dos modelos digitais e curvas de nível.

A depender do propósito do levantamento, o ortomosaico obtido pode ser submetido à fotointerpretação e para realizar vetorização de elementos de interesse vetorizados em ambiente SIG, resultando em cartogramas mais detalhados com indicação de lotes, quadras, postes de iluminação pública e cursos d'água, por exemplo.

3.4. Os produtos da aerofotogrametria

O produto primeiro de um aerolevanteamento são as ortofotos, que resultam da conversão da projeção cônica das fotografias aéreas para a representação cartográfica ortogonal. Esta segunda é obtida a partir da correção das distorções decorrentes da rotação da câmera, procedimento chamado de ortorretificação. O ajuste é executado pelos programas de

processamento, que realizam a sobreposição das fotografias georreferenciadas (ortofotos) integrando-as em um só produto, o ortomosaico (LIMA, THOMAZ, SEVERO, 2010).

Do ortomosaico, obtém-se a nuvem de pontos, que pode ser definida como um conjunto de pontos georreferenciados, produzidos matematicamente por triangulação, como um modelo de toda a área levantada. Representando a nuvem densa como uma malha, tem-se uma visualização tridimensional que combina as dimensões X, Y e Z dos pontos.

Também são produzidos Modelos Digitais de Elevação (MDE), que podem ser de Terreno (MDT) ou de Superfície (MDS). Enquanto o MDS contempla todas as elevações conhecidas (árvores, edificações etc.), o MDT representa somente aquelas referentes ao solo, desconsiderando quaisquer outros objetos presentes no trecho mapeado. Deste último modelo, surgem as curvas de nível, que resultam da análise das coordenadas do eixo Z referente a cada pixel de solo. Os pontos de mesma altitude vão compondo o traçado da curva e gerando a representação do relevo do terreno em planta. A Figura 8 ilustra as diferenças entre o MDS e o MDT.

Figura 8 – Ilustração de um Modelo Digital de Terreno e de Superfície.



Fonte: A autora (2022).

3.5. Padrão de Exatidão para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)

Com a evolução da tecnologia, os métodos tradicionais de produção de cartogramas sofreram mudanças significativas. Essas mudanças eliminaram muitas fontes de erro inerentes às antigas metodologias utilizadas na aerofotogrametria, que se baseavam principalmente em processos ópticos-mecânicos-manuais, como levantado por Silva (2015).

Ainda que tenham sido contornados os erros decorrentes dos processos manuais anteriormente aplicados, ainda havia a necessidade de estabelecer limites para os erros posicionais que, embora menores, persistem nos levantamentos. Assim, o Governo Nacional estabeleceu critérios para classificação de cartas quanto à sua exatidão e distribuição de erros a partir de um indicador estatístico da qualidade posicional por meio do Decreto-Lei nº 89.817

de 1984, que versa sobre o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (BRASIL, 1984). Em linhas gerais, o documento define o PEC em seu Art. 8º como segue:

§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, p. 4).

Posteriormente, em 2010, o padrão foi atualizado pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) ao publicar as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), documento ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) para contemplar os Produtos Cartográficos Digitais, instituindo assim o PEC-PCD (DSG, 2010).

Em suma, a ET-ADGV apresenta os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) visando adequar os padrões para produtos gerados a partir da cartografia digital. Para tanto, o documento estabelece para as classificações exigências superiores às requeridas pelo PEC, mudança baseada nos estudos de Merchant (1982), ASPRS (1989) e Lopez (2002).

O Quadro 2 apresenta os erros admitidos na planimetria e na altimetria segundo o PEC e o PEC-PCD.

Quadro 2 – Valores de PEC e de EP referentes a cada Classe, conforme Decreto-Lei nº 89.817/84 e ET-ADGV.

| Classe segundo o PEC | Classe segundo o PEC-PCD | Planimetria | | Altimetria | |
|----------------------|--------------------------|---|--|---|--|
| | | PEC [m] | EP (RMS) máximo admitido [m] | PEC [m] | EP (RMS) máximo admitido [m] |
| - | A | (0,28 x Fator de escala do cartograma)/1000 | (0,17 x Fator de escala do cartograma)/1000 | 0,27 x Equidistância entre as curvas de nível [m] | 1/6 x Equidistância entre as curvas de nível [m] |
| A | B | (0,50 x Fator de escala do cartograma)/1000 | (0,30 x Fator de escala do cartograma)/1000 | ½ x Equidistância entre as curvas de nível [m] | 1/3 x Equidistância entre as curvas de nível [m] |
| B | C | (0,80 x Fator de escala do cartograma)/1000 | (0,50 x Fator de escala do cartograma)/1000 | 3/5 x Equidistância entre as curvas de nível [m] | 2/5 x Equidistância entre as curvas de nível [m] |
| C | D | (1,00 x Fator de escala do cartograma)/1000 | 0(0,60 x Fator de escala do cartograma)/1000 | ¾ x Equidistância entre as curvas de nível [m] | ½ x Equidistância entre as curvas de nível [m] |

Fonte: A autora (2022).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Na intenção de avaliar e apresentar o emprego da aerofotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana, esta pesquisa valeu-se de dados relativos ao imageamento de um voo realizado no município de Salgueiro-PE, no bairro Divino Espírito Santo, pela empresa GeoSensori, com a qual a autora deste trabalho está vinculada. Incluindo-se o serviço de processamento dos dados e geração do cartograma, o levantamento teve um valor comercial de R\$ 4.173,40 e levou cerca de 15 dias úteis para ser concluído.

Para fins de análise, também foram considerados os dados cadastrais imobiliários do referido bairro, disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Salgueiro através da sua Secretaria de Finanças – Diretoria de Tributação, atualizados pela última vez em 2016. Os termos de concessão de dados para a realização dessa pesquisa estão apresentados nos Anexos 1 e 2.

4.1. Materiais

Para obtenção das coordenadas dos pontos de checagem implantados em solo para garantir maior exatidão ao levantamento, utilizou-se de receptor GNSS geodésico, sendo o conjunto constituído de base e *rover*, do tipo RTK GEOMAX ZENITH-15, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Conjunto RTK GEOMAX ZENITH-15.



Fonte: SPGeo (2022).

O equipamento é integrado às bases L1 e L2, com 120 canais de aproximação paralela, e a aquisição das coordenadas de cada ponto se dá através de uma controladora *smartphone* Caterpillar S31, como a que segue apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Controladora *smartphone* Caterpillar S31.



Fonte: A autora (2021).

Os pontos foram materializados no solo utilizando-se de marcação em tinta spray preta nos locais pavimentados, como mostra a Figura 11, ou de alvos em material plástico nos trechos sem pavimentação, sendo nestes casos fixados à superfície com pregos telheiros posicionados em seu centro e em cada um dos vértices.

Figura 11 – Alvos marcados em solo com estêncéis e tinta spray na cor preta.



Fonte: A autora (2021).

As imagens aéreas foram capturadas com o drone DJI Phantom 4 Pro, que possui 1388 g e opera em câmera 4K, sendo capaz de realizar voos de até 30 minutos sem substituição de bateria. O equipamento é o mostrado na Figura 12 e suas principais características estão

descritas no Quadro 3. O voo do drone foi planejado e monitorado através do aplicativo DJI Ground Station PRO, disponível para iPad.

Figura 12 – Drone DJI Phantom 4 Pro.



Fonte: DJI (2022).

Quadro 3 – Características técnicas do drone Phantom 4 Pro.

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Autonomia de voo | 30 minutos |
| Alcance máximo | 7 km |
| Velocidade máxima | 72 km/h |
| Dimensão | 350 mm (diagonal) |
| Peso | 1388 g |
| Altura máxima | 6 km |

Fonte: Adaptado de DJI (2016).

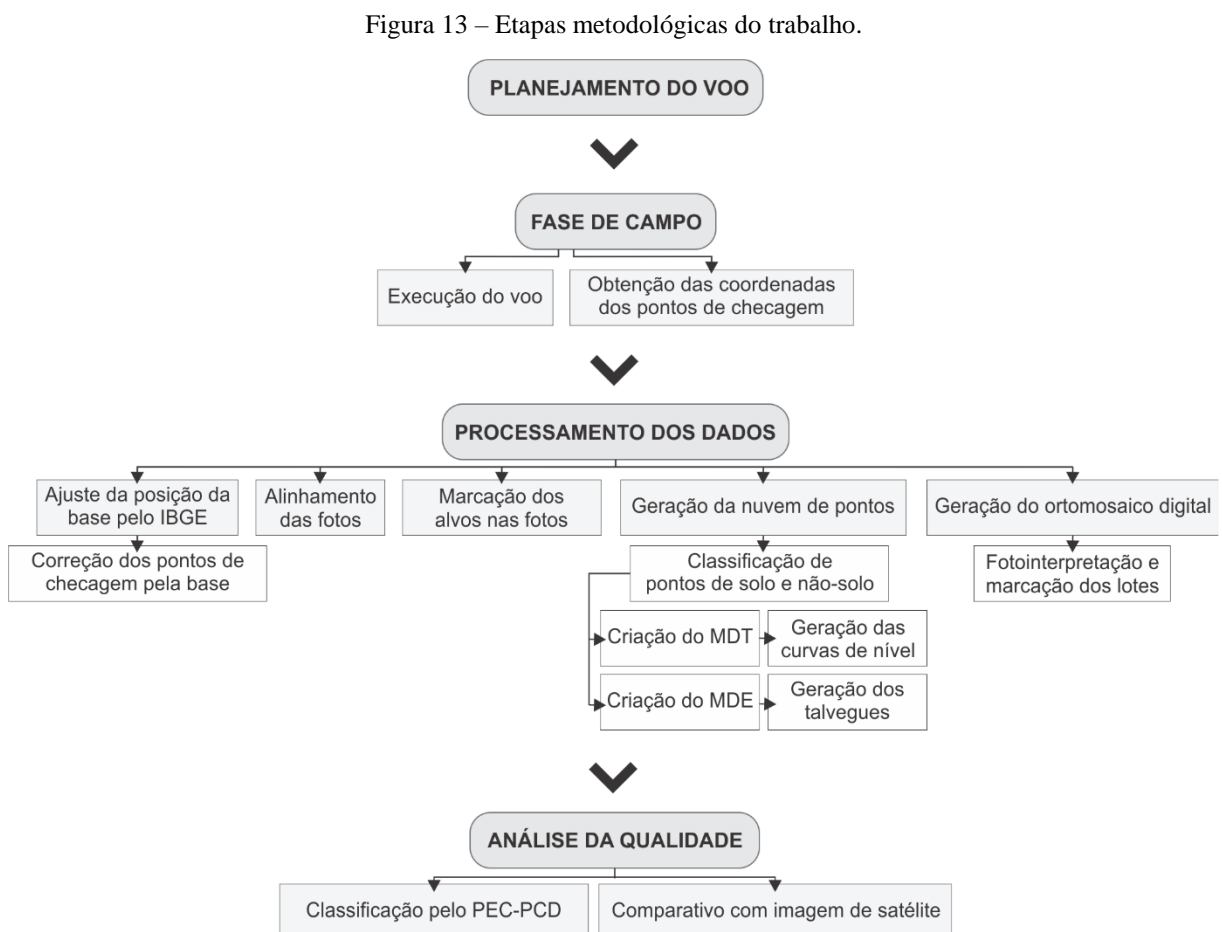
No processamento dos dados de campo, foram utilizados – através de computador em sistema operacional Windows 64, de processador Intel (R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz – os softwares: Agisoft Metashape para tratamento das imagens e Global Mapper para vetorização do ortomosaico e geração dos modelos digitais, talwegues e curvas de nível em plataforma SIG.

4.2. Método

O levantamento aerofotogramétrico ao qual se refere este trabalho partiu da determinação prévia dos locais de implantação dos pontos de checagem. Em seguida, iniciou-se o serviço de campo com a materialização dos pontos na posição planejada. Cada alvo implantado teve suas coordenadas aferidas com o RTK GEOMAX ZENITH-15, que forneceu os dados nos eixos X, Y e Z. Findada esta etapa de medição, realizou-se o voo com o drone de modelo DJI Phantom 4 Pro. Os dados de imagens aéreas e posição dos pontos foram, por fim, tratados em escritório com uso de softwares de processamento. Com os produtos gerados, foi realizada a vetorização do ortomosaico indicando quadras, lotes e cursos d'água.

Os resultados foram analisados sob duas perspectivas: a necessidade de atualização de dados cadastrais e sua contribuição na regularização fundiária urbana; e o potencial do levantamento em constituir uma base integrada de dados.

O esquema da Figura 13 sintetiza as etapas metodológicas às quais a pesquisa foi submetida.



Fonte: A autora (2022).

4.2.1. Planejamento da distribuição dos pontos de checagem

O bairro Divino Espírito Santo teve seus limites determinados para o presente levantamento através de consulta aos mapas municipais e imagens de satélite disponíveis em plataforma SIG. Levando-se em conta a configuração das ruas e a geometria da poligonal que o delimita, determinou-se a necessidade de 15 pontos de checagem fotoidentificáveis para serem distribuídos uniformemente sobre o solo.

4.2.2. Montagem do conjunto RTK, materialização dos pontos de checagem e aferição das coordenadas

Para evitar a ocorrência de interferência no sinal de rádio dos receptores GNSS, buscou-se dentro da área um local elevado e distante de copas de árvores ou edifícios para inicialização do receptor base. Sendo assim, o equipamento foi instalado em local considerado propício, onde permaneceu até que as coordenadas de todos os pontos fossem coletadas com o receptor móvel, conhecido como *rover*.

Com o receptor móvel, cada um dos pontos planejados foi materializado e teve suas coordenadas aferidas em seguida. A materialização dos pontos ocorreu aplicando tinta spray em estênceis de papel ou fincando sob o solo os alvos plásticos, sendo o *rover* posteriormente posicionado e nivelado sobre o seu centro para aferição da posição em X, Y e Z.

4.2.3. Planejamento e execução do voo

A poligonal que delimita a área a ser levantada foi carregada no aplicativo DJI Ground Station PRO, onde foram determinadas pelo operador do VANT a altura do voo e a sobreposição das imagens. Em modo automático, a aeronave sobrevoou a área em faixas paralelas de voo, capturando as imagens georreferenciadas necessárias ao processamento tridimensional posterior.

4.2.4. Processamento dos dados de campo

Ao fim da etapa de campo, os dados obtidos pelos receptores GNSS/RTK e pelo VANT foram tratados em escritório com auxílio de algoritmos computacionais. A princípio, as coordenadas do receptor GNSS de referência (base) passaram por correção planimétrica através do sistema de Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP). Do mesmo modo, a informação altimétrica também foi ajustada, sendo convertida de altitude elipsoidal para geoidal utilizando-se do interpolador `hgeoHNOR_IMBITUBA` de autoria do IBGE.

As imagens – extraídas do cartão de memória do drone em formato .jpeg – foram importadas no software Agisoft Metashape, sendo em seguida combinadas às informações posicionais de cada ponto de checagem coletado pelo RTK. Esse cruzamento de dados ocorreu ao marcar de maneira manual o centro de cada alvo fotoidentificável.

Este procedimento garante o georreferenciamento das fotografias e prepara os dados para a etapa seguinte, em que se constrói o ortomosaico retificado e a nuvem densa de pontos, constituindo um modelo tridimensional do terreno.

No programa Global Mapper, a nuvem de pontos produzida foi importada para ser classificada entre pontos de solo e não-solo. Essa diferenciação é necessária para criar, em seguida, os Modelos Digitais. Com o MDT – que considera apenas a elevação dos pontos de solo –, foram produzidas as curvas de nível do terreno. Do MD, que contempla todos os pontos, obtiveram-se os talwegues, que indicam os principais cursos drenantes de água na área levantada.

Paralelamente, o ortomosaico foi submetido à fotoidentificação. Observando-o, foi possível traçar os limites dos lotes do bairro, vetorização importante para analisar a situação cadastral dos imóveis.

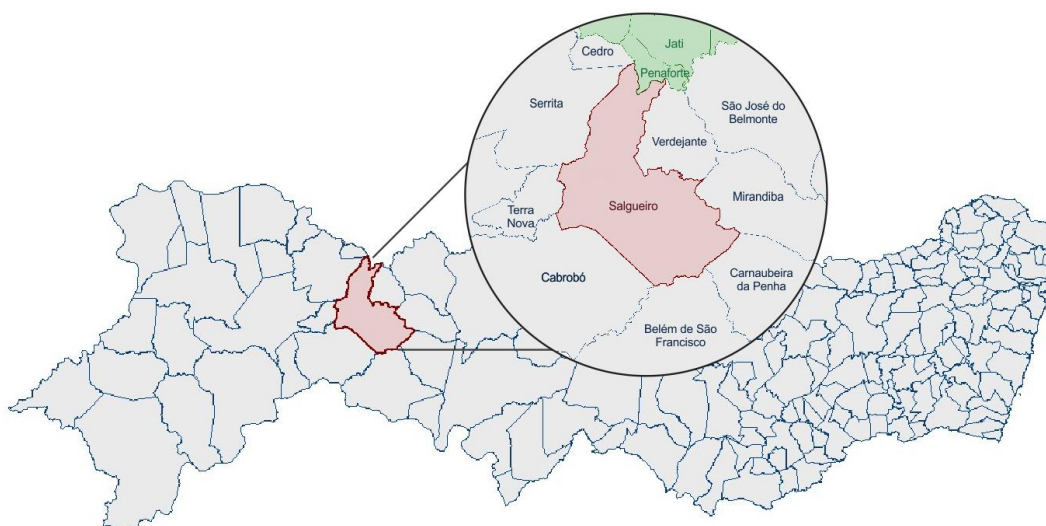
4.2.5. Análise da qualidade dos produtos gerados

Como forma de avaliar a qualidade dos produtos cartográficos obtidos através da aerofotogrametria, realizou-se para o levantamento a classificação segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Além disso, para fins de comparação, obteve-se em plataforma *on-line* uma imagem de satélite referente à área de estudo.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo foi realizado no bairro Divino Espírito Santo, situado em Salgueiro, que se localiza na mesorregião do Sertão Central Pernambucano e possui área territorial de 1.678,564 km² (IBGE, 2021). O município é posicionado geograficamente entre 8° 04' 27" de latitude e de 39° 07' 09" de longitude, a uma altitude de 420 m e limita-se ao Norte pelo município de Penaforte/CE, ao Sul por Belém de São Francisco/PE, a Leste por Verdejante/PE, Mirandiba/PE e Carnaubeira da Penha/PE, e a Oeste por Cabrobó/PE, Terra Nova/PE, Serrita/PE e Cedro/PE, como indicado na Figura 14.

Figura 14 – Mapa de localização do município de Salgueiro/PE.



Fonte: A autora (2022).

A população estimada de Salgueiro é de 61.561 pessoas (IBGE, 2021) e o Censo de 2010 contabilizou no município um total de 15.033 domicílios, estando 12.245 na zona urbana e 2.788 na zona rural, o que indica valores percentuais de, respectivamente, 81,4% e 18,6%.

O bairro ao qual se refere este estudo está sinalizado pela Figura 15 e é localizado na zona urbana de Salgueiro, margeado por um corpo hídrico conhecido como “Açude Velho”. A ocupação nessa região é majoritariamente residencial e se deu de maneira informal no decorrer dos anos, ocorrendo à medida que os limites da cidade avançavam. Atualmente, suas habitações são de baixo padrão construtivo e algumas já invadem a faixa de domínio natural do Açude.

Figura 15 – Delimitação do bairro Divino Espírito Santo sobre imagem de satélite consultada no Google Earth.



Fonte: A autora (2022).

5.1. Etapa de campo

Após planejamento utilizando-se das imagens de satélite disponíveis no Google Earth e da delimitação da área a ser levantada, teve início em 03 de setembro de 2021 a fase de coleta de dados em campo. Para tanto, foi preciso implantar, inicialmente, o receptor GNSS (base) em área aberta, elevada e sem obstruções que viessem a interferir no sinal de rádio do equipamento (Figura 16) –, cujas coordenadas foram obtidas com GNSS de dupla frequência (L1/L2) para pós processamento.

Figura 16 – Receptor base instalado sobre a laje de uma residência.



Fonte: A autora (2021).

Em seguida, 15 pontos fotointerferíveis foram marcados no solo, dispostos conforme apresentado na Figura 17, com espaçamento entre eles não inferior a 85 m, para auxiliar a aferição da acurácia do levantamento.

Figura 17 – Indicação dos pontos de checagem implantados em solo.



Fonte: A autora (2021).

As coordenadas desses alvos foram capturadas com GNSS RTK posicionando o equipamento nivelado sobre seu centro, conforme indicado na Figura 18, para serem posteriormente ajustadas mediante correção da base em plataforma *on-line* do IBGE.

Figura 18 – Obtenção das coordenadas posicionando equipamento sobre o centro do alvo.



Fonte: A autora (2021).

Ao fim da coleta de dados posicionais em campo, teve início a fase aérea do levantamento, em que o VANT equipado com ferramenta de Posicionamento Cinemático pós-processado (PPK, do inglês *Post Processed Kinematic*), capturou 566 imagens georreferenciadas de solo, em 24 faixas paralelas de voo, com vista de topo. A trajetória do drone é a representada na Figura 19 e o resumo dos dados gerados pelo equipamento ao fim do voo são expressos no Quadro 4.

Quadro 4 – Resumo geral dos dados obtidos pelo drone.

| | |
|--|----------|
| Área sobrevoada | 46,21 ha |
| Distância percorrida | 16,86 km |
| Velocidade máxima | 10,0 m/s |
| Duração do voo | 31min25s |
| Quantidade de baterias utilizadas | 2 |
| Número de imagens | 566 |

Fonte: A autora (2021).

Figura 19 – Trajetória do voo.



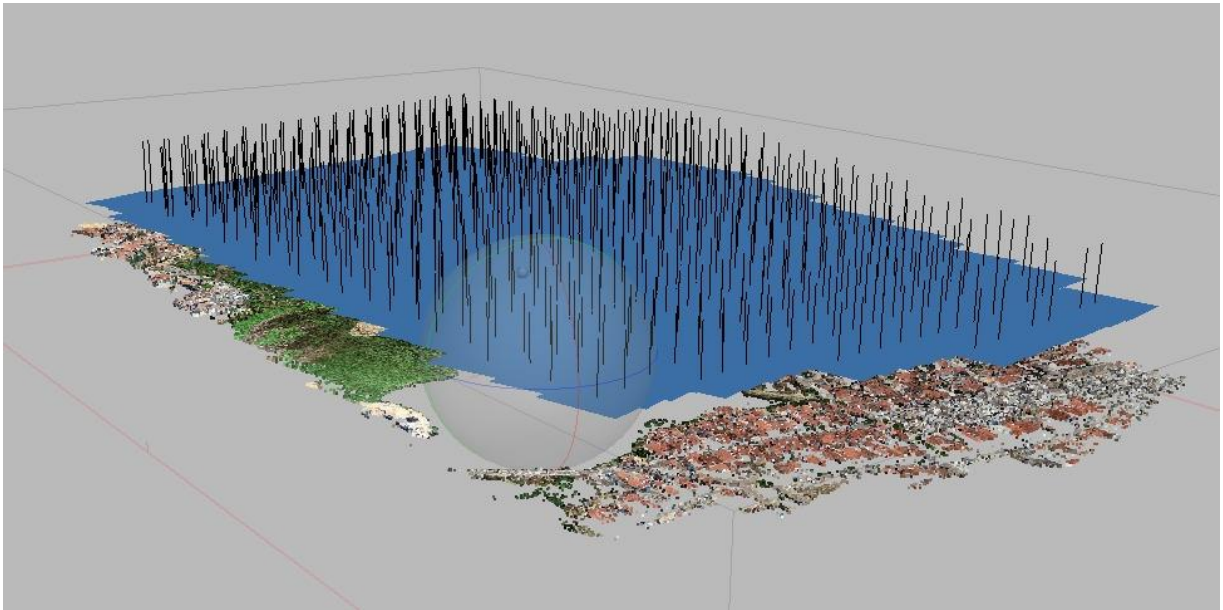
Fonte: DJI Ground Station Pro (2021).

5.2. Processamento dos dados

Primeiramente, as coordenadas X e Y do receptor GNSS (base) implantado foram corrigidas através do método de Posicionamento de Ponto Preciso (PPP) do IBGE, mediante plataforma *on-line* disponibilizada pelo órgão, estando o relatório de processamento disponibilizado no Anexo 3. A cota Z do ponto em que foi implantada a base também passou por ajuste, sendo acrescida de 10,21 m para convertê-la em altitude geoidal, valor referente ao desnível entre o modelo matemático e o físico no local do levantamento. Em seguida, os dados alterados da base foram inseridos na coletora do GNSS RTK, possibilitando que as coordenadas dos pontos de checagem fossem ajustadas automaticamente por ela para serem enfim exportados.

Feita a correção dos dados topográficos, partiu-se para o processamento tridimensional das fotografias aéreas, que também tiveram suas posições ajustadas utilizando-se de *software* do kit PPK embarcado no drone. Depois de importadas no programa de processamento fotogramétrico Agisoft Metashape, as imagens foram alinhadas conforme apresentado na Figura 20. O alinhamento submete as fotografias a um processo de aerotriangulação, referenciando-as entre si para materializar o sistema de coordenadas do terreno através de *tie points* – também conhecidos como pontos fotogramétricos.

Figura 20 – Alinhamento das fotos no Agisoft Metashape.



Fonte: A autora (2021).

Daí, foram inseridos os arquivos de posição dos pontos de checagem, que passaram a ser marcados nas múltiplas imagens em que aparecem, como ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Processo de marcação do centro dos alvos referentes aos pontos de checagem nas ortofotos.



Fonte: A autora (2021).

Após o alinhamento e amarração das imagens com os pontos coletados com RTK, a malha de *tie points* é densificada e dá origem à nuvem densa de pontos (Figura 22) e ao ortomosaico (Figura 23), produtos de grande importância na conferência e marcação dos elementos presentes no local.

Figura 22 – Nuvem densa de pontos referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE.



Fonte: A autora (2021).

Figura 23 – Ortomosaico referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE.



Fonte: A autora (2021).

O ortomosaico retificado foi a base para a vetorização dos lotes e quadras, enquanto que a nuvem de pontos embasou a geração dos modelos digitais de terreno e superfície (MDT e MDS), das curvas de nível e dos talwegues.

5.3. Produtos planimétricos gerados

De posse do ortomosaico gerado e das demarcações constantes no acervo da Prefeitura Municipal de Salgueiro, foi realizada a vetorização de 338 novos imóveis no bairro Divino Espírito Santo. Entre eles, 231 situam-se em ruas pavimentadas e 107 em vias sem calçamento. Nesta segunda condição, há ainda um subgrupo: 14 destes imóveis estão localizados em Área de Preservação Permanente, a menos de 15 m do Açude Velho que margeia o local de estudo.

Contrapondo os dados que já estavam presentes nos registros da administração pública municipal com os provenientes deste levantamento, pode-se afirmar que somente 73% dos

imóveis do bairro possuem cadastro, haja vista que o total observado foi de 1240 e somente 902 já faziam parte do acervo.

A Figura 24 mostra o resultado obtido na planimetria do levantamento, incluindo-se ortomosaico e vetorização dos elementos. Na cor magenta estão os lotes que ainda não constavam nos cadastros municipais, e em verde os que já faziam parte dos registros.

Figura 24 – Demarcação dos novos imóveis a serem regularizados (em magenta), imóveis regularizados (em verde) e limite da Área de Preservação Permanente (em amarelo).



Fonte: A autora (2021).

O Anexo 4 apresenta o relatório de processamento fotogramétrico, em inglês, fornecido pelo software Agisoft Metashape, onde está atestada a acurácia planimétrica de +/- 2,40 cm do mapeamento. O GSD do ortomosaico digital é de 2,97 cm/pixel, o que confere ao produto uma excelente resolução espacial.

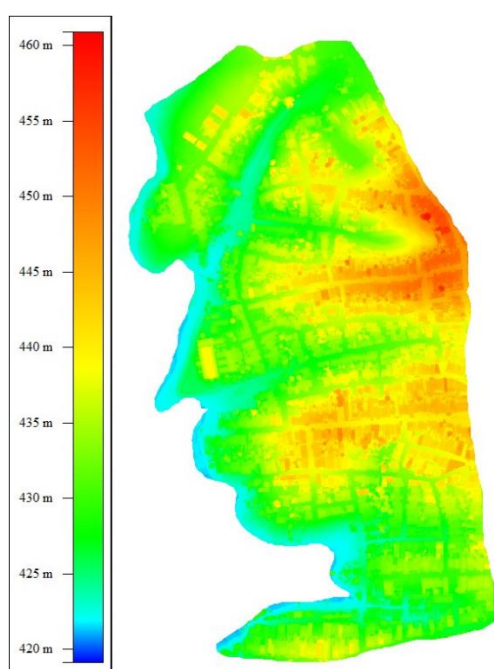
5.4. Produtos altimétricos gerados

A nuvem de pontos proveniente do processamento aerofotogramétrico no Agisoft Metashape apresentou densidade de 506 pontos/m², com espaçamento de 4 cm. Depois de importada no Global Mapper, ela foi submetida ao algoritmo de classificação de pontos de solo, necessário para separar os dados referentes ao terreno daqueles relativos à vegetação, calçadas e construções. Com essa categorização, foi possível gerar os Modelos Digitais de Terreno e Superfície, apresentados nas Figuras 25 e 26.

Do MDT, foram obtidas curvas de nível com 1 m de equidistância, estando as curvas mestras situadas a cada 10 m de elevação e as intermediárias a cada 5 m. Com o MDS, também foi determinado pelo programa o traçado dos talwegues. Todas essas representações estão reunidas na Figura 27.

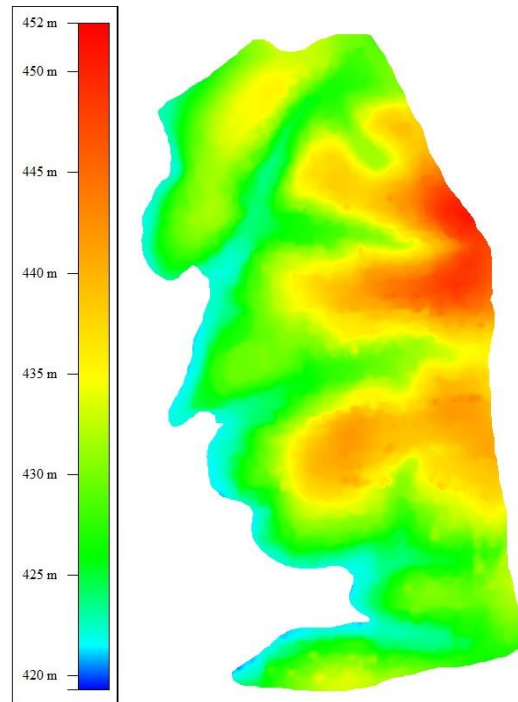
O Anexo 4 apresenta o relatório de processamento fotogramétrico, em inglês, fornecido pelo software Agisoft Metashape, onde está atestada a acurácia altimétrica de +/- 2,78 cm do mapeamento.

Figura 25 – Modelo Digital de Superfície referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE.



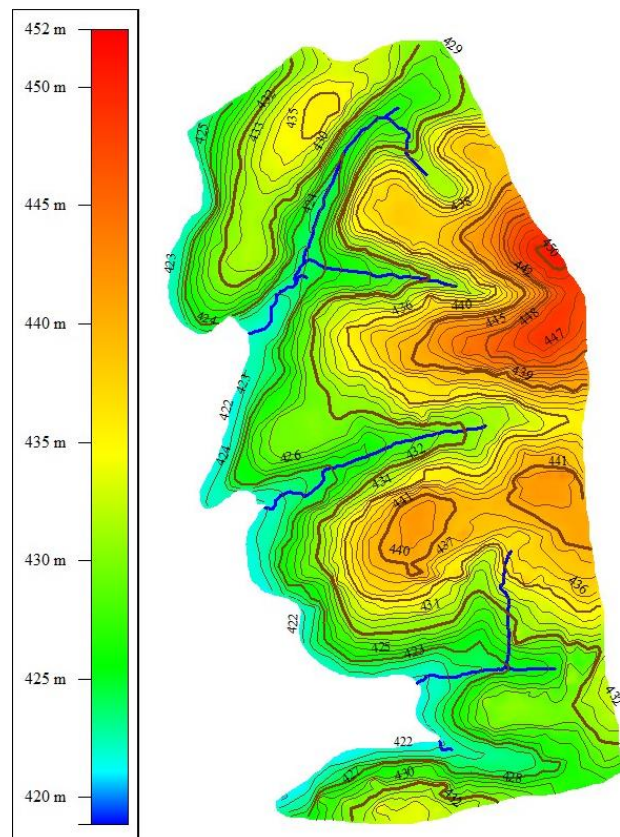
Fonte: A autora (2021).

Figura 26 – Modelo Digital do Terreno referente ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE.



Fonte: A autora (2021).

Figura 27 – MDT, curvas de nível e cursos drenantes de água (talwegues) referentes ao bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE.



Fonte: A autora (2021).

Os produtos provenientes do levantamento aerofotogramétrico com VANT do bairro Divino Espírito Santo foram reunidos em um cartograma, que está disponível no Apêndice 1 com ortomosaico e no Apêndice 2 sem ortomosaico.

5.5. Classificação do levantamento segundo o PEC-PCD

Assim como especificado no Capítulo 3, o erro altimétrico admitido pelo PEC-PCD varia de acordo com a equidistância das curvas de nível, enquanto que o erro planimétrico admitido é função da escala utilizada no cartograma.

Para o aerolevanteamento com VANT do bairro Divino Espírito Santo, foram produzidas curvas de nível com 1 m de equidistância e o cartograma gerado tem escala de 1:2000, como apresentado nos Apêndices 1 e 2. Isso indica que os erros máximos admitidos para que o produto seja de Classe A são de 34,00 cm na planimetria e 17,00 cm na altimetria. Por outro lado, os Erros Médios Quadráticos aferidos pelo Agisoft Metashape no levantamento são de 2,40 cm na planimetria e 2,78 cm na altimetria, o que atesta excelente qualidade posicional. O Quadro 5 resume a análise.

Quadro 5 – Análise do levantamento segundo o PEC-PCD.

| Fator de Escala | Equidistância das Curvas (m) | RMS Planimetria (m) | RMS Altimetria (m) | PLANIMETRIA | ALTIMETRIA |
|-----------------|------------------------------|---------------------|--------------------|---|---|
| | | | | EP (RMS) máximo permitido (m) para atender à Classe A | EP (RMS) máximo permitido (m) para atender à Classe A |
| 2000 | 1,00 | 0,024 | 0,0278 | 0,34 | 0,17 |

LEGENDA:

| |
|-------------------------|
| ATENDE À "CLASSE A" |
| NÃO ATENDE À "CLASSE A" |

Fonte: A autora (2022).

5.6. Viabilidade em comparação ao uso de imagens de satélite

No que se refere à resolução espacial, optou-se por comparar o GSD (*Ground Sample Distance*) do ortomosaico digital com uma imagem orbital equivalente (Figura 28), produzida pela Maxar Technologies através do satélite WorldView-3 (WV03) e disponibilizada na plataforma Google Earth. O Quadro 6 reúne as principais características deste produto, conforme indicado pela empresa.

Figura 28 – Visão geral do ortomosaico obtido pelo satélite WorldView-3 para o município de Salgueiro/PE com indicação do local de estudo.



Fonte: Maxar Technologies (2021).

Quadro 6 – Informações sobre o ortomosaico do município de Salgueiro gerado por imageamento orbital.

| | |
|-----------------------------|------------|
| Percentual de nuvens | 0,0 % |
| Data da varredura | 20/11/2021 |
| GSD | 0,33 m |

Fonte: Adaptado de Maxar Technologies (2021).

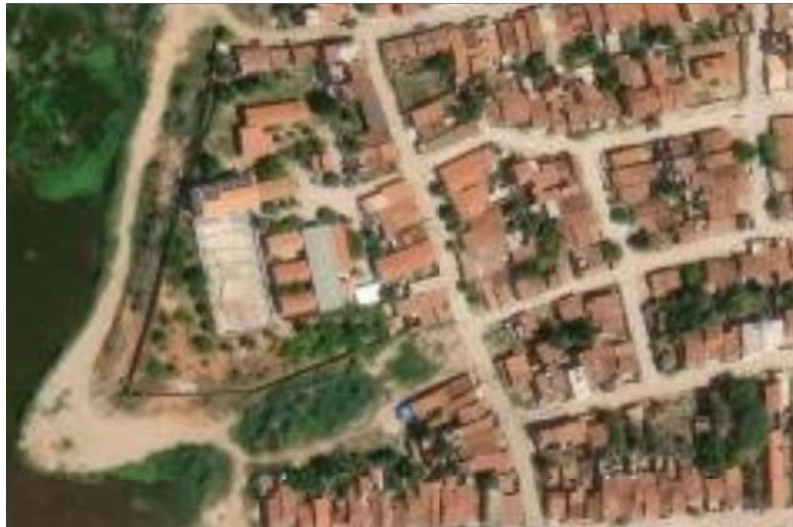
Assim como indicado no item 5.3, o GSD do ortomosaico digital decorrente deste estudo foi de 2,97 cm/pixel. Para a imagem de satélite, no entanto, este parâmetro é de 33,00 cm, realidade que atesta que a resolução espacial do ortomosaico digital obtido com drone é, neste caso, quase 10 vezes superior à oferecida por uma imagem orbital equivalente. Essa discrepância de resolução pode ser observada na Figura 29.

Figura 29 (a) – Qualidade de imagem em um trecho da área levantada por aerofotogrametria, com uso de VANT.



Fonte: A autora (2021).

Figura 29 (b) – Qualidade de imagem em um trecho da área com imagem de satélite WV03.



Fonte: Maxar Technologies (2021)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento aerofotogramétrico do bairro Divino Espírito Santo, situado no município de Salgueiro/PE, mostrou-se promissor como ferramenta de apoio à tomada de decisão no que tange à regularização fundiária urbana, principalmente pelo baixo custo e pela praticidade observada na aquisição de dados, que custou cerca de R\$ 90,31 por hectare sobrevoado.

Com o imageamento da área de estudo e comparação com os dados constantes no acervo da Prefeitura Municipal – cuja última atualização aconteceu em 2016 – foi possível visualizar e delimitar com facilidade os imóveis em situação de irregularidade, vantagem decorrente da alta resolução do ortomosaico gerado. O percentual consideravelmente alto de habitações que não constavam nos registros do município, calculado em 27%, reforça a necessidade de empreender esforços na regularização imobiliária para garantir o direito à terra urbana, sem preocupar-se somente com a arrecadação tributária.

Somado a isso, o estudo indicou a existência de um tímido avanço das moradias para Áreas de Proteção Permanente, fenômeno que pode ser contido com o constante monitoramento da ocupação do solo urbano, fiscalização e políticas de acesso à terra, instrumentadas através de procedimentos como os apontados neste trabalho.

Para além dessa finalidade, a tecnologia também permite uma gama de outras aplicações, que ficam aqui registradas como sugestão para trabalhos futuros. A acurácia centimétrica proporcionada por esse tipo de metodologia gera produtos altimétricos e planimétricos de grande confiabilidade, com potencial para compor uma base de dados multifinalitária para a administração pública, sendo passível de aplicação em estudos para eventuais obras de drenagem, pavimentação e urbanismo, por exemplo. Além disso, se atribuídas informações demográficas, econômicas, educacionais, de saúde e sociais às feições desenhadas sobre o ortomosaico, este material torna-se ainda mais completo e pode reunir em um único sistema inúmeros dados necessários à gestão municipal.

Em linhas gerais, pode-se concluir que a vantagem principal da aplicação da aerofotogrametria à regularização fundiária está na sua capacidade de levar a realidade para o meio digital com a criação de modelos que permitem a realização de projeções, a caracterização do espaço e a integração de dados qualitativos e quantitativos do território urbano e seus atores.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, Pedro. (ed.) (2003a). **A Cidade Informal**. Rio de Janeiro: Sette Letras.
- AGUIAR, Anderson A.; MITISHITA, Edson A. **Aerotriangulação de aerofotos digitais no sistema monorestituidor**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente – SP. 2002.
- ALFONSIN, Betânia de Moraes. **Direito à moradia: instrumentos e experiências de regularização fundiária nas cidades brasileiras**. FASE-GTZ-IPPUR/UFRJ-Observatório, 1997.
- ALFONSIN, Betânia de Moraes.; SERPA, Cláudia Brandão de; FERNANDES, Edésio; et al. **Regularização da terra e moradia: o que é e como implementar**. [S.l.: s.n.], 2002.
- ALMEIDA, Tainara Mendes; GIONGO, Pedro Rogério. **Fotointerpretação aplicada na identificação do uso do solo na região de Ribeirão Preto-SP**. Ribeirão Preto, 2014.
- AMORIM Amilton., MALAMAN Carolina Scherrer, SASS Glauca Gabriel. **A modernização dos processos de atualização cadastral e as análises temporais**. Revista Brasileira de Cartografia. 2013.
- ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial**. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@_@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- AZAMBUJA, Eduardo Boese; SILVA, Heloiza Helena da; PINTO, York Gay. Os alicerces da informação. In: PORTO PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **A necessária reeleitura da cidade**. Porto Alegre: Secretaria do Planejamento Municipal, 1998. P. 40-43.
- BAILY, Antoine. **La organización urbana: Teorías e Modelos**. Madrid: Instituto de Estudios de Administracion Local, 1978.
- BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil**. 3ª ed. São Paulo: Ed Estação Liberdade, 2002, 434p.
- BRASIL. Casa Civil, subchefia de assuntos jurídicos. **Lei nº 11.481 de 31 de maio de 2007**. Prevê medidas voltadas à regularização fundiária de interesse social em imóveis da União; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111481.htm>. Acesso em 20 fev. 2022.
- BRASIL. **Código Florestal Brasileiro**. Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm>. Acesso em 20 fev. 2022.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidente da República, 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 20 fev. 2022.
- BRASIL. **Lei Lehmann – Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1970-1979/lei-6766-19-dezembro-1979-366130-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em 20 fev. 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em 20 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 13.465 de 11 de julho de 2017**. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113465.htm>. Acesso em 20 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.310 de 15 de março de 2018**. Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9310-15-marco-2018-786319-publicacaooriginal-155038-pe.html>>. Acesso em 20 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em 20 fev. 2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Diretor Participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos**. Ministério das Cidades, Confea: Brasília, 2005. 2ª Edição, 160 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 369 de 28 de março de 2006**. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social de baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção de supressão de vegetação em área de preservação permanente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em 20 fev. 2022.

BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196 p.

BROIATO, Cibele, et. al. Santo André: **UM espaço para o SIG**. Fator GIS, Curitiba, v. 2, n. 5, 1994.

BUENO, Laura Machado de Melo. **Parâmetros para urbanização de favelas – apresentação de resultados de pesquisa**. In: Anais do SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS IPT. São Paulo: IPT, 2002, p81-92.

BURTCH, Robert. **History of Photogrammetry**. 2008. Disponível em: <www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/history.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

CANGUSSU, Adriano Aparecido Dias; CAMPANO JUNIOR, Maurílio. **Quadricóptero: um projeto de veículo não-tripulado**. Journal Of Exact Sciences, Maringá, n. 13, p.7-16, mar. 2015. Trimestral.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. (Org.) **Perspectivas da Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1982.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

COSTA, Glauber Carvalho. **Análise dos produtos obtidos com aerolevantamentos utilizando câmaras digitais não-métricas para elaboração de anteprojetos rodoviários**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DAVIS Jr. Carlos André. Belo Horizonte: **Geoprocessamento em três anos**. Fator GIS, Curitiba. V.1, n.1, 1993.

DINIZ, Émerson Andrade. **Avaliação de produtos aerofotogramétricos alternativos com câmeras digitais não métricas de pequeno formato em voo apoiado**. São Paulo, 2016. 109 p.

ESPARTEL, Lelis. Topografia. Porto Alegre: Editora Globo. 655 p. il. 1973.

EXÉRCITO BRASILEIRO, DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geospaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, 09 Agosto 2011.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin et al. **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial**. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2013.

FONTES, Aurélio Teodoro. **Sistemas de Informações Geográficas: Digitalização**. v. 2. São Carlos, EESC, USP, 2001.

GEDDES, Patrick. **Cidades em evolução**. Campinas: Papirus, 1994.

GUERRA, Francesco.; PILOT, Luca. **Historic Photoplanes**. In: IAPRS v. XXXIII, Part 5, Amsterdam. CD-ROM, p. 611-617. 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informações sobre posicionamento geodésico**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica.html>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília. 3ª Edição. 2013a.

JORDAN, Wilhelm. **Tratado General de Topografia Tomo II**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A. 1944.

JORGE, Lúcio André de Castro. **Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo: análise de imagens**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (Circular Técnica).

KONECNY, Gottfried. **Geoinformation: remoting rensing, photogrametry and geographic information systems**. London and New York, Taylor & Francis, 2003, 266p.

LEE, Colin. **Models in planning: an introduction to the use of quantitative models in planning**. Oxford: Pergamon Press, 1974.

LIMA, Elen Marten; THOMAZ, Thiago Alexandre Marques; SEVERO, Tiago Cavagnoli. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato**. 2010.

LUZ, Cristhyano Cavali. **Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de veículos aéreos não tripulados (SISVANT)**. Curitiba, 2015. 118f.

MANYOKY, Madeleine et al.. **Unmanned aerial vehicle in cadastral applications**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1, Zurich , Suíça, pp. 57-62, 2011.

MARTUCCI, Ricardo; BASSO, Admir. **Uma visão integrada de análise e avaliação de conjuntos habitacionais; aspectos metodológicos da pós-ocupação e do desempenho tecnológico**. In: ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. Inserção urbana e Avaliação Pós-Ocupação da Habitação de Interesse Social. Coleção Habitar-FINEP, v.1. São Paulo: FAU-USP, 2002.

MAURICE, Muneza Jean et al. **A photogrammetric approach for map updating using UAV in Rwanda**. In Proceedings of the GeoTech Rwanda -International Conference on Geospatial Technologies for Sustainable Urban and Rural Development. 2015.

MEDEIROS, Fabrício Ardais. **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.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao processamento de imagens e sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

NASCIMENTO, Luciana Dias. **O uso do geoprocessamento na regularização fundiária e urbanística: uma proposta de apoio à decisão aplicada ao município de Taboão da Serra – SP**. 181f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PEREIRA, Gilberto Corso; CARVALHO, S.S. (1999). **O uso de SIG em planejamento urbano nas grandes cidades brasileiras**. In: V CONGRESSO E FEIRA DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA - GISBRASIL, Salvador, 1999. Anafe. Salvador.

ROSALEN, David Luciano et al. **Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada**. 2017.

SANTOS, Erivanda Carvalho et al. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio–Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011.

SANTOS, Heberth Ribeiro. **Comparação entre os métodos GPS e imagem de satélite em levantamentos de áreas florestais**. Curitiba, 2012.

SARAIVA, David Harley de Oliveira. **Uso de produtos fotogramétricos obtidos de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) para a elaboração de projetos de engenharia.** Fortaleza, 2019.

SCARLATO, Francisco Capuano. **A problemática moradia e a cidade.** In: Revista Orientação. N. 10. Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 2001. 199p. Geosp – Coleção Novos Caminhos, volume 4.

SILVA, Daniel Carneiro. **Evolução da Fotogrametria no Brasil.** Revista Brasileira de Geomática, (v. 3, p. 90-105, 2015).

SILVA, João Edson Costa Ferreira; BOTELHO, Mosar Faria. **Cadastro Ambiental Rural utilizando imagem de drone aerofotogramétrico.** Revista Agrogeoambiental, 2017.

SILVEIRA, Marcelo Teixeira et al. **Um método híbrido para localização automática de pontos homólogos em pares de imagens estereoscópicas.** II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

SLAMA, Chester. (ed). **Manual of Photogrammetry.** 4th edition. American Society of Photogrammetry. 1056 p. 1980.

TOMMASELLI, Antonio M. G. **Fotogrametria Basica.** 1. ed. [S.l.: s.n.], 2009. cap. 1, p. 1-2. v. 1. Disponível em:
<http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2022.

TOMOYOSE, Alexandre Nascimento. **Comparação e classificação de técnicas de estereoscopia para realidade aumentada e jogos /** A.N. Tomoyose – São Paulo, 2010.

TURNER, Darren; LUCIEER, Arko; WATSON Christopher. **An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SFM) point clouds.** Remote Sensing, 2012.

APÊNDICE 1

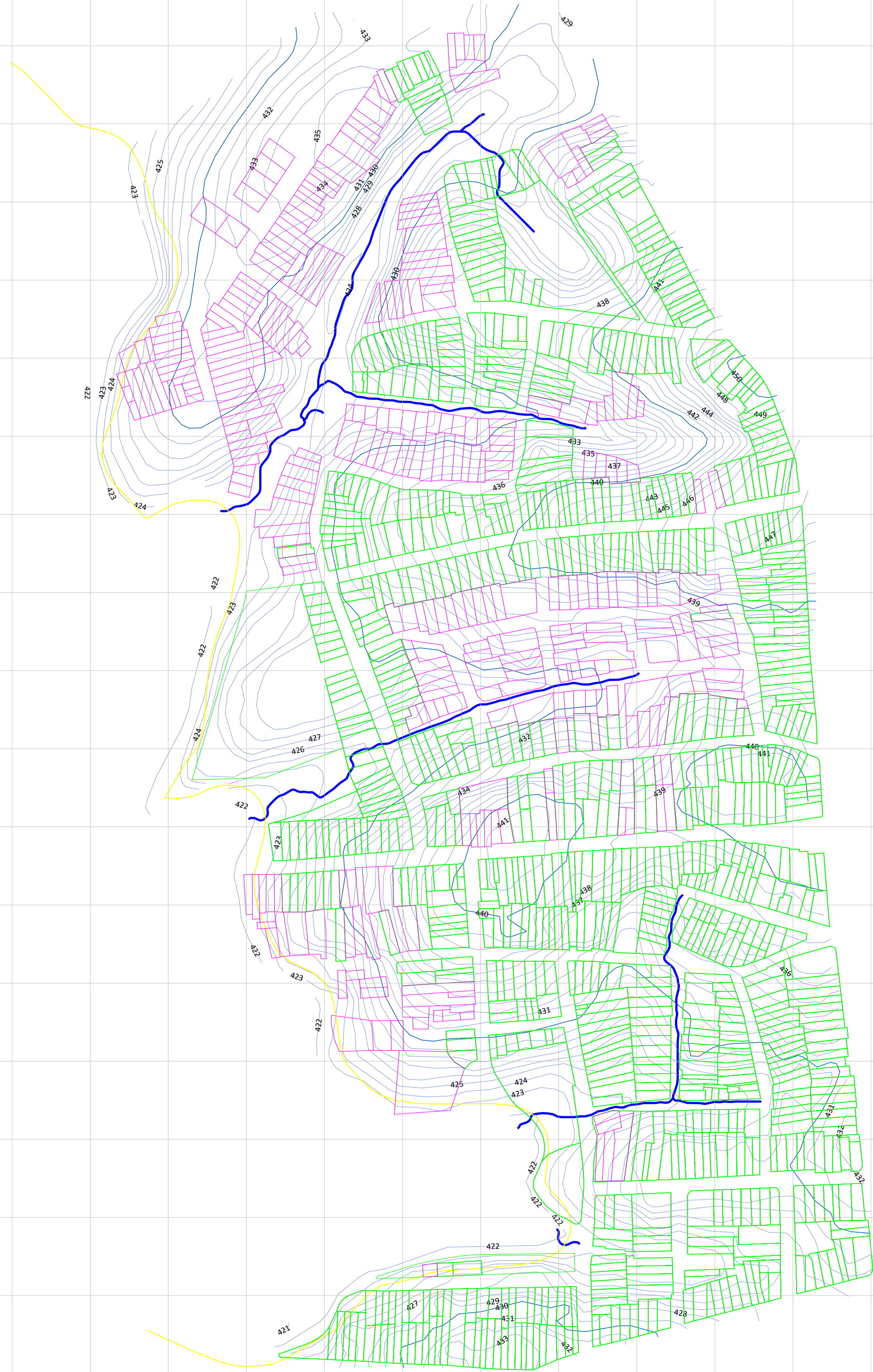


Legenda

- Curva de nível *Mestra*
- Curva de nível *Auxiliar*
- Imóveis Irregulares
- Imóveis Regularizados
- Talvegues
- Limite da Área de Proteção Permanente

| | | |
|---|-----------------------|----------------|
| CARIMBO: | | |
| CONTEÚDO: Levantamento planialtimétrico realizado com auxílio de DRONE. As medidas estão projetadas no sistema de coordenadas UTM. O GSD da ortofoto digital é de 2,97 cm. O erro de acurácia RMS do levantamento foi estimado em +/- 2,78 cm na altimetria e +/- 2,40 cm na planimetria. | | |
| OBSERVAÇÕES: Aerolevantamento georreferenciado. DATUM Sirgas2000, Zona 24S, Projeção UTM. Aquisição das imagens em 10/09/2021. Declinação magnética 22° 6' W. | | |
| PROPRIETÁRIO | | |
| ÁREA(s): - | PRANCHA: 1 / 1 | ORIENTAÇÃO: |
| LOCAL: - | | |
| LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO: GeoSensor (CREA-PE 659134) | | |
| RESP. TÉCNICO: Melyssa Lavor | | CREA: - |
| DESENHO: - | | |
| REVISÃO: V,1 | DATA: 23/03/2022 | ESCALA: 1:2000 |

APÊNDICE 2



Legenda

- Curva de nível *Mestra*
- Curva de nível *Auxiliar*
- Imóveis Irregulares
- Imóveis Regularizados
- Talvegues
- Limite da Área de Proteção Permanente

| | | |
|--|------------------|----------------|
| CARIMBO: | | |
| CONTEÚDO: Levantamento planialtimétrico realizado com auxílio de DRONE. As medidas estão projetadas no sistema de coordenadas UTM. O GSD da ortofoto digital é de 2,97 cm. O erro de acurácia RMS do levantamento foi estimado em +/- 2,78 cm na altimetria e +/- 2,40 cm na planimetria. | | |
| OBSERVAÇÕES: Aerolevantamento georreferenciado. DATUM Sirgas2000, Zona 24S, Projeção UTM. Aquisição das imagens em 10/09/2021. Declinação magnética 22° 6' W. | | |
| PROPRIETÁRIO | | |
| ÁREA(s): - | PRANCHA: 1 / 1 | ORIENTAÇÃO: |
| LOCAL: Salgueiro-PE | | |
| LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO: GeoSensori (CREA-PE 659134) | | |
| RESP. TÉCNICO: Melyssa Lavor | CREA: - | |
| DESENHO: - | | |
| REVISÃO: V,1 | DATA: 23/03/2022 | ESCALA: 1:2000 |

ANEXO 1

AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS

Declaro que a Prefeitura Municipal de Salgueiro, através da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Obras, autoriza Melyssa Sousa de Lavor a utilizar-se dos dados cadastrais imobiliários do bairro Divino Espírito Santo para execução do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **“O uso da fotogrametria com drone na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro/PE”**.

Os Dados serão usados apenas para fins acadêmicos, sendo proibido o seu uso para quaisquer outros fins.

Salgueiro, 14 de março de 2022.

MICHAEL KENNETH
FERREIRA
HAYDEN:51348748249

Assinado de forma digital por
MICHAEL KENNETH FERREIRA
HAYDEN:51348748249
Dados: 2022.03.14 09:08:21
-03'00'

Assinatura e/ou carimbo do emitente

ANEXO 3

AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS

Declaramos aos devidos fins que a GEOSENSORI SERVIÇOS LTDA autoriza Melyssa Sousa de Lavor a utilizar-se dos dados brutos de levantamento aerofotogramétrico do bairro Divino Espírito Santo, em Salgueiro/PE, para geração de resultados referentes ao Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**O uso da fotogrametria com drone na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro/PE**”.

Salgueiro, 14 de março de 2022.

GEOSENSORI SERVICOS LTDA

CNPJ: 27.919.688/0001-64
CREA/PE nº 659134

GEOSENSORI SERVICOS LTDA

CNPJ: 27.919.688/0001-64

Rua Joaquim Sampaio, 170 – Sala 01, N S DAS GRAÇAS – SALGUEIRO/PE

Contato: +55 (81) 2011-2021 / contato@geosensori.com.br

<http://www.geosensori.com.br>



ANEXO 3

Sumário do Processamento do marco: Base1divino

| | |
|---|------------------------|
| Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS | 2021/08/30 16:53:35,00 |
| Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS | 2021/08/30 21:07:38,00 |
| Modo de Operação do Usuário: | ESTÁTICO |
| Observação processada: | CÓDIGO & FASE |
| Modelo da Antena: | GMXZENITH25 NONE |
| Órbitas dos satélites:¹ | RÁPIDA |
| Frequência processada: | L3 |
| Intervalo do processamento(s): | 1,00 |
| Sigma² da pseudodistância(m): | 5,000 |
| Sigma da portadora(m): | 0,010 |
| Altura da Antena³(m): | 1,803 |
| Ângulo de Elevação(graus): | 10,000 |
| Resíduos da pseudodistância(m): | 0,55 GPS 0,57 GLONASS |
| Resíduos da fase da portadora(cm): | 1,04 GPS 1,14 GLONASS |

Coordenadas SIRGAS

| | Latitude(gms) | Longitude(gms) | Alt. Geo.(m) | UTM N(m) | UTM E(m) | MC |
|--|------------------|-------------------|--------------|-------------|------------|-----|
| Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴ | -8° 04' 22,0945" | -39° 06' 58,8961" | 415,92 | 9107651.709 | 487179.496 | -39 |
| Na data do levantamento ⁵ | -8° 04' 22,0864" | -39° 06' 58,8984" | 415,92 | 9107651.957 | 487179.426 | -39 |
| Sigma(95%)⁶ (m) | 0,001 | 0,003 | 0,004 | | | |

Coordenada Altimétrica

| | | |
|----------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Modelo: | hgeoHNOR_IMBITUBA | |
| Fator para Conversão (m): | -10,21 | Incerteza (m): 0,07 |
| Altitude Normal (m): | 426,13 | |

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

| Tipo de Receptor | Uma frequência | | Duas frequências | |
|---------------------|----------------|-------------|------------------|-------------|
| | Planimétrico | Altimétrico | Planimétrico | Altimétrico |
| Após 1 hora | 0,700 | 0,600 | 0,040 | 0,040 |
| Após 2 horas | 0,330 | 0,330 | 0,017 | 0,018 |
| Após 4 horas | 0,170 | 0,220 | 0,009 | 0,010 |
| Após 6 horas | 0,120 | 0,180 | 0,005 | 0,008 |

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

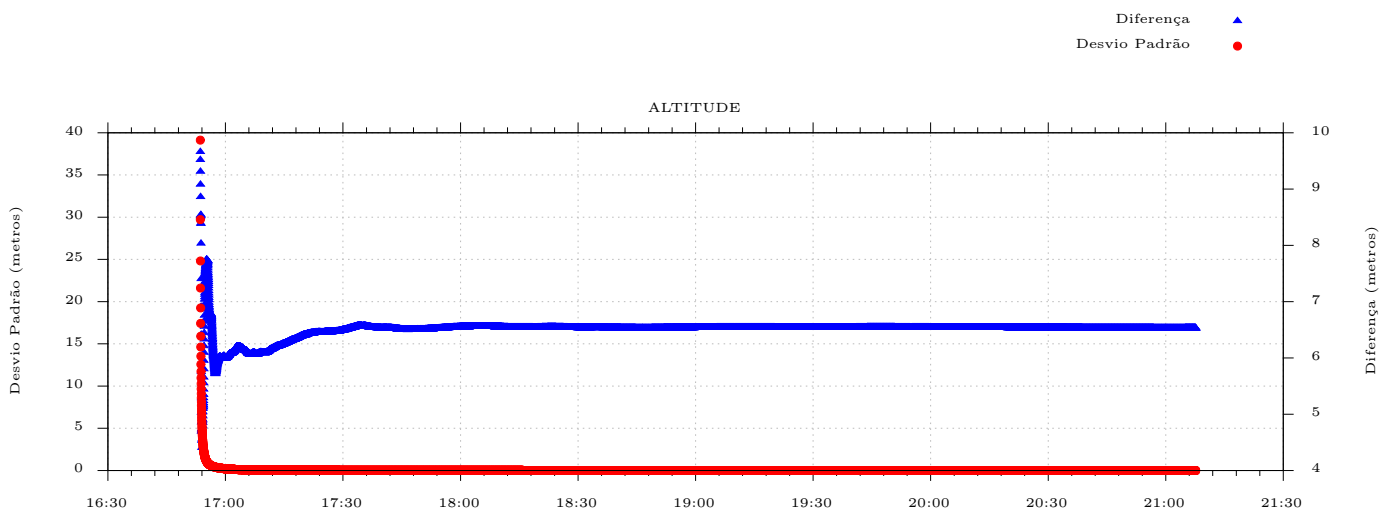
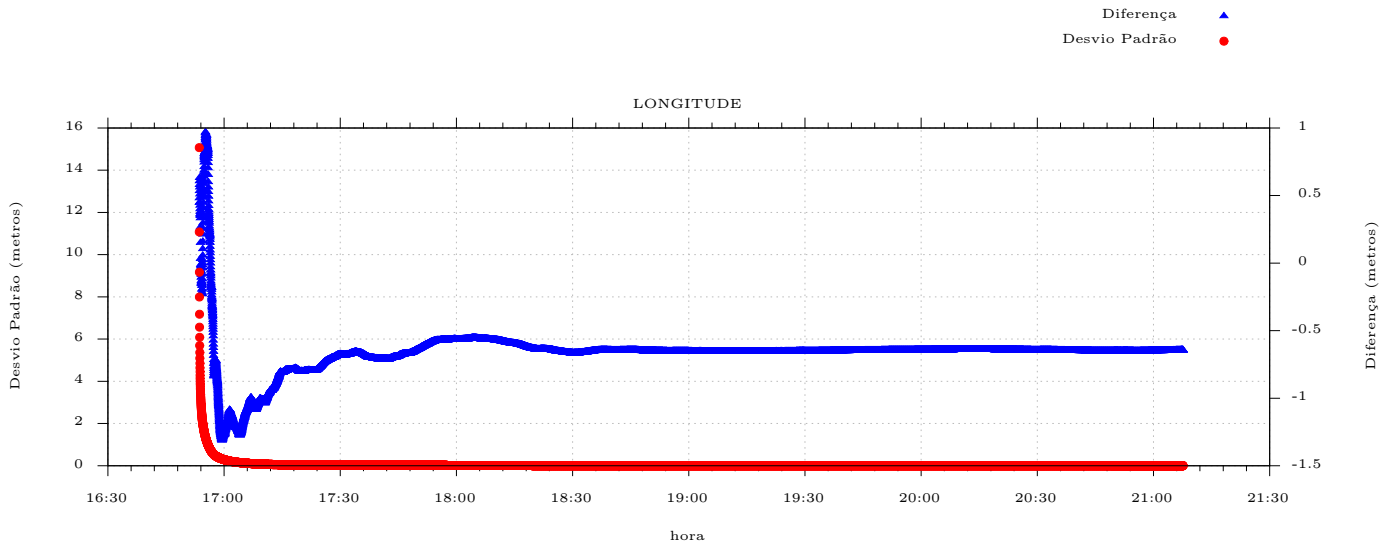
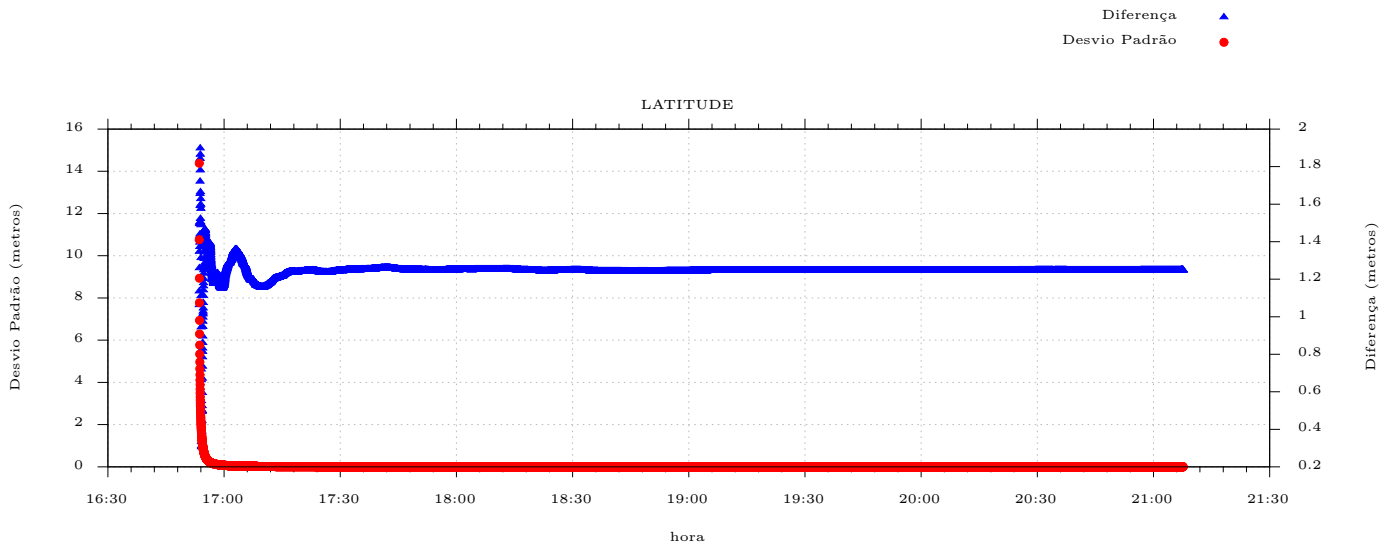
⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário.

Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181.

Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)



ANEXO 4

Prefeitura Salgueiro - Divino

Report_temp2
23 September 2021



Survey Data

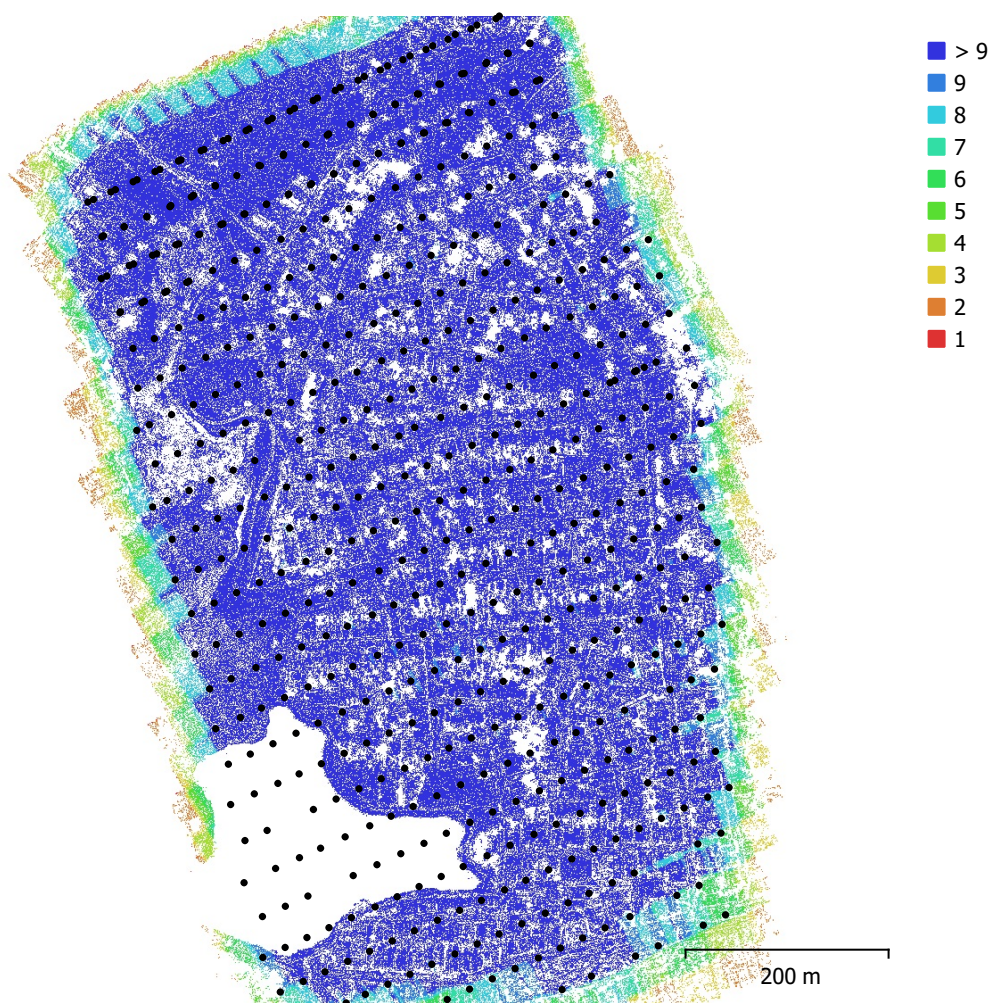


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

| | | | |
|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
| Number of images: | 566 | Camera stations: | 565 |
| Flying altitude: | 108 m | Tie points: | 1,226,649 |
| Ground resolution: | 2.97 cm/pix | Projections: | 3,563,608 |
| Coverage area: | 0.343 km ² | Reprojection error: | 0.49 pix |

| Camera Model | Resolution | Focal Length | Pixel Size | Precalibrated |
|----------------|-------------|--------------|----------------|---------------|
| FC6310 (8.8mm) | 5472 x 3648 | 8.7833 mm | 2.41 x 2.41 μm | No |

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

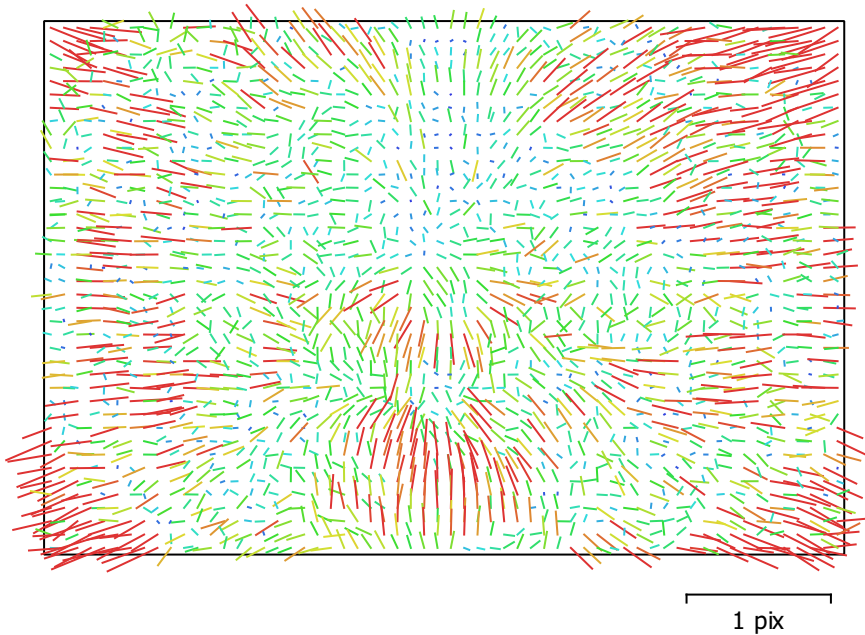


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

566 images

| | | | |
|--------------|--------------------|------------------|---|
| Type | Resolution | Focal Length | Pixel Size |
| Frame | 5472 x 3648 | 8.7833 mm | 2.41 x 2.41 μm |

| | Value | Error | Cx | Cy | B1 | B2 | K1 | K2 | K3 | K4 | P1 | P2 |
|-----------|--------------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F | 3641.08 | | | | | | | | | | | |
| Cx | 6.41156 | 0.008 | 1.00 | -0.05 | 0.01 | -0.01 | 0.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 0.04 |
| Cy | 11.7571 | 0.007 | | 1.00 | -0.02 | 0.02 | -0.05 | 0.04 | -0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.77 |
| B1 | 0.374174 | 0.0048 | | | 1.00 | 0.14 | 0.00 | -0.01 | 0.01 | -0.01 | 0.01 | 0.01 |
| B2 | 0.0880668 | 0.0046 | | | | 1.00 | -0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.00 | -0.00 | 0.02 |
| K1 | 0.0109279 | 2.5e-05 | | | | | 1.00 | -0.97 | 0.93 | -0.88 | 0.01 | -0.01 |
| K2 | -0.0675375 | 0.00012 | | | | | | 1.00 | -0.99 | 0.96 | -0.00 | 0.00 |
| K3 | 0.123764 | 0.00023 | | | | | | | 1.00 | -0.99 | 0.00 | -0.00 |
| K4 | -0.0748752 | 0.00015 | | | | | | | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| P1 | 0.000597472 | 8.8e-07 | | | | | | | | | 1.00 | 0.04 |
| P2 | -0.00159514 | 6.9e-07 | | | | | | | | | | 1.00 |

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

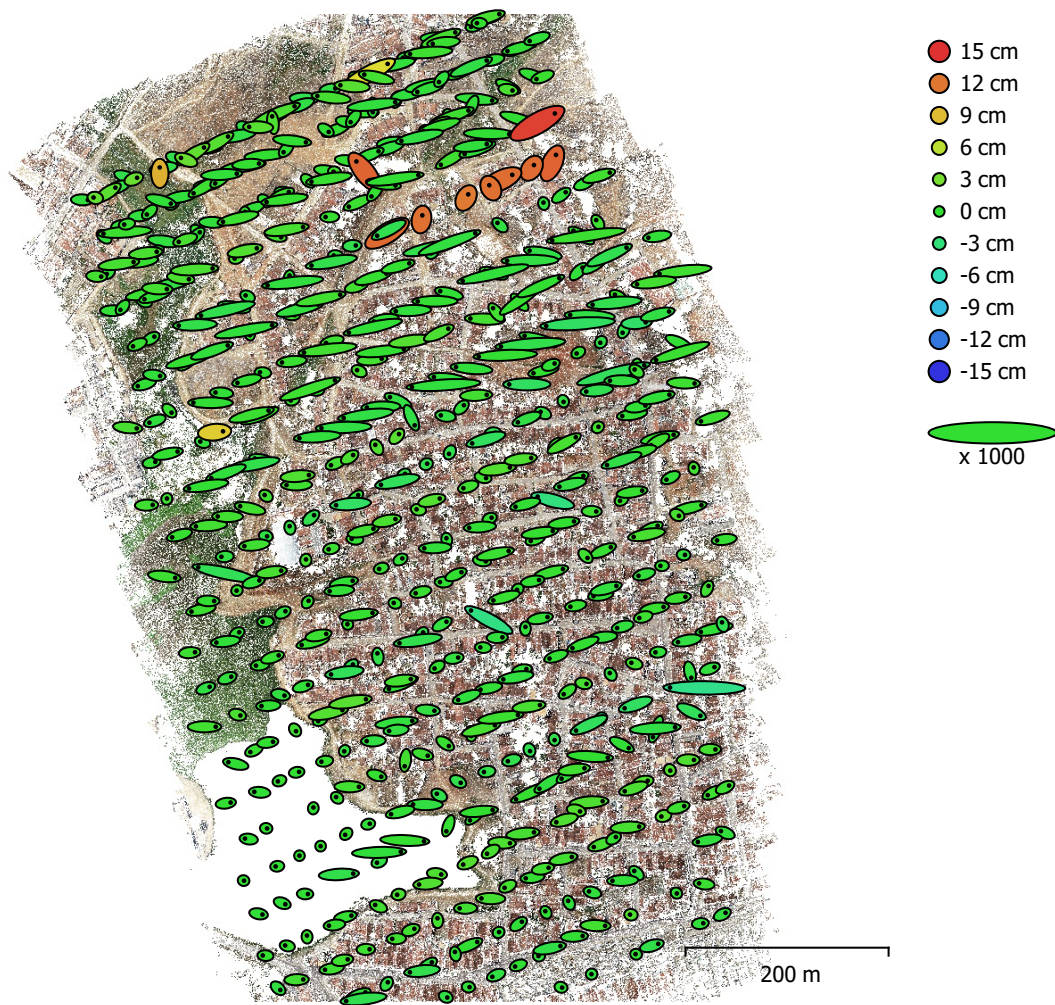


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

| X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | XY error (cm) | Total error (cm) |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| 2.02896 | 0.551546 | 1.89025 | 2.10259 | 2.82736 |

Table 3. Average camera location error.

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

Ground Control Points



Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

| Count | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | XY error (cm) | Total (cm) |
|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 14 | 0.897512 | 2.22347 | 2.7788 | 2.39778 | 3.6703 |

Table 4. Check points RMSE.

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

| Label | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | Total (cm) | Image (pix) |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| 3 | 0.497992 | 5.10379 | -7.11082 | 8.767 | 0.695 (17) |
| 4 | -0.112464 | 2.26703 | -4.76506 | 5.27806 | 0.481 (10) |
| 5 | 0.256588 | 1.50313 | 3.3374 | 3.66926 | 0.453 (14) |
| 6 | -1.19318 | 0.723158 | -0.658085 | 1.54263 | 0.726 (8) |
| 7 | -0.165633 | 1.37231 | 1.80933 | 2.27691 | 0.388 (12) |
| 8 | -0.115563 | 3.38336 | 1.47286 | 3.69185 | 1.607 (13) |
| 9 | 0.198966 | 0.248612 | -0.675518 | 0.746807 | 0.454 (14) |
| 11 | -0.153197 | 1.95932 | 1.72953 | 2.61796 | 0.506 (16) |
| 12 | 0.62762 | 1.4618 | 0.687434 | 1.73301 | 0.315 (11) |
| 13 | 0.0715643 | 1.50127 | -0.28389 | 1.52955 | 0.495 (10) |
| 15 | 0.0379865 | 2.06545 | 0.694784 | 2.17951 | 0.371 (17) |
| 16 | 1.89704 | 2.84764 | -0.682661 | 3.4891 | 0.353 (15) |
| 17 | 0.1261 | 1.10472 | 3.39559 | 3.573 | 0.431 (25) |
| 18 | 2.32557 | 0.161432 | -1.15789 | 2.60289 | 0.480 (12) |
| Total | 0.897512 | 2.22347 | 2.7788 | 3.6703 | 0.622 |

Table 5. Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

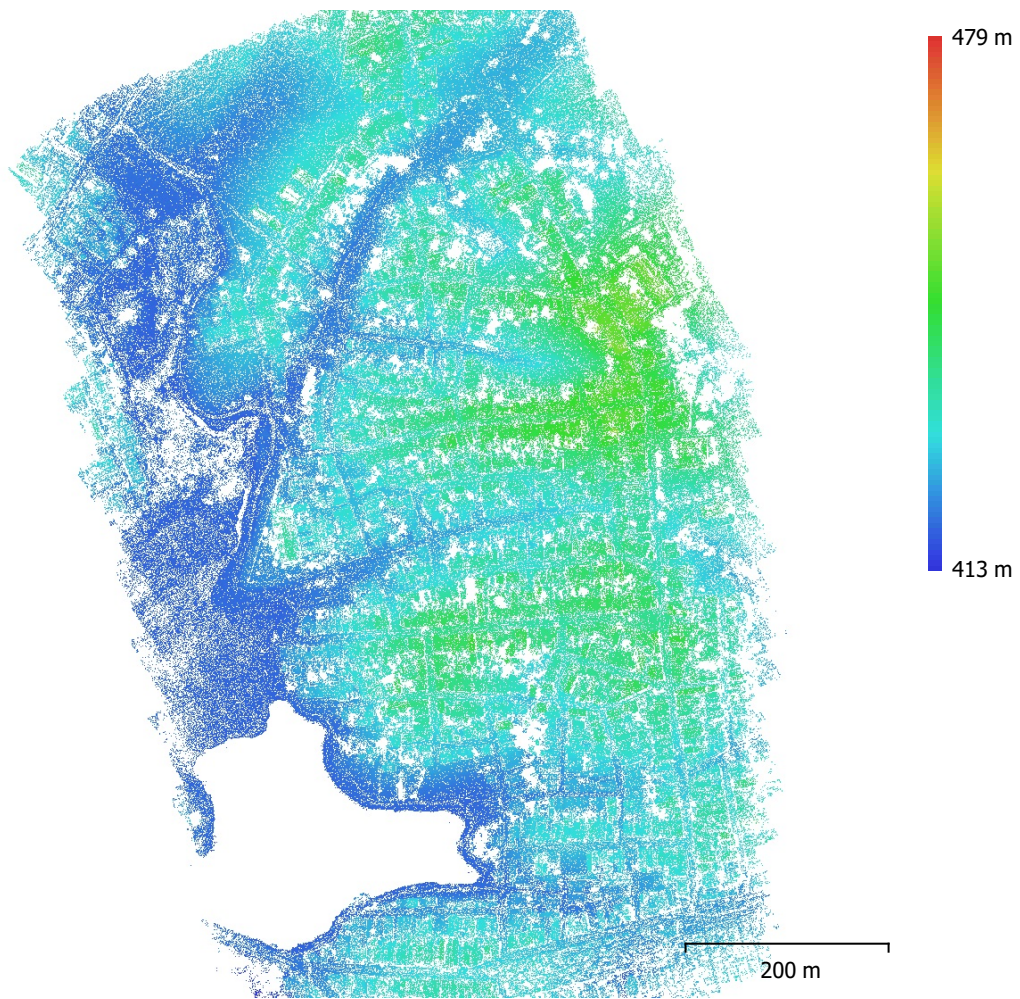


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

General

| | |
|-------------------|--|
| Cameras | 566 |
| Aligned cameras | 565 |
| Markers | 21 |
| Coordinate system | SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984) |
| Rotation angles | Yaw, Pitch, Roll |

Point Cloud

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Points | 1,226,649 of 1,654,030 |
| RMS reprojection error | 0.147233 (0.490385 pix) |
| Max reprojection error | 0.45003 (4.54937 pix) |
| Mean key point size | 3.32067 pix |
| Point colors | 3 bands, uint8 |
| Key points | 1.82 GB |
| Average tie point multiplicity | 3.22557 |

Alignment parameters

| | |
|-------------------------------|----------------------|
| Accuracy | High |
| Generic preselection | Yes |
| Reference preselection | Source |
| Key point limit | 40,000 |
| Tie point limit | 0 |
| Exclude stationary tie points | Yes |
| Guided image matching | No |
| Adaptive camera model fitting | Yes |
| Matching time | 2 minutes 49 seconds |
| Matching memory usage | 569.00 MB |
| Alignment time | 7 minutes 11 seconds |
| Alignment memory usage | 528.14 MB |

Optimization parameters

| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Parameters | b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2 |
| Adaptive camera model fitting | No |
| Optimization time | 13 seconds |
| Software version | 1.7.1.11797 |
| File size | 134.65 MB |

System

| | |
|------------------|--|
| Software name | Agisoft Metashape Professional |
| Software version | 1.7.1 build 11797 |
| OS | Windows 64 bit |
| RAM | 63.94 GB |
| CPU | Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz |
| GPU(s) | Radeon RX 580 Series (Ellesmere) Radeon RX 580 Series (Ellesmere) |