

Atualização cartográfica de área urbana com o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) quadrotor

Elias N N Elias^{*a}, Vivian O Fernandes^b, Mirele V Silva^c, Elaine G V Jesus^d

^a Universidade Federal do Paraná.

Rua XV de Novembro, 1299 - Centro, Curitiba - PR, 80060-000

^b Universidade Federal da Bahia.

Av. Adhemar de Barros, s/nº - Ondina, Salvador - BA, 40170-110

*elias_naim2008@hotmail.com

RESUMO: O objetivo desse trabalho consistiu na atualização cartográfica da área que contempla os campi de Ondina Federação e São Lázaro da Universidade Federal da Bahia utilizando dados provenientes de um aerolevante por meio de um VANT quadrotor. A metodologia empregada neste trabalho previu a análise e interpretação dos elementos presentes na área de estudo, planejamento dos voos correspondentes aos locais nos quais houve mudanças, aquisição das fotografias aéreas, calibração da câmera, identificação de feições homólogas entre os dados obtidos e o terreno e coleta de coordenadas por meio de rastreamento GNSS. Ao final pôde-se gerar o mapa atualizado a partir das ortofotos, classificá-lo de acordo com Padrão de Exatidão Cartográfica (Classe B na escala 1:2.000) e descrever as dificuldades encontradas a partir desta técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Atualização Cartográfica, Controle de Qualidade, VANT quadrotor.

ABSTRACT: The objective of this work was to update the cartography of the area that includes the campuses of Ondina Federação and São Lázaro of the Federal University of Bahia using a VANT quadrotor aerial survey data. The methodology employed in this work included the analysis and interpretation of the elements present in the study area, flight planning corresponding to locations where changes were made, acquisition of aerial photographs, camera calibration, identification of homologous features between the obtained data and the terrain and gathering of coordinates through GNSS tracing. At the end it was possible to bring forth an updated map from the orthophotos, classify it according to the Cartographic Correlation Standard (Class B in the scale 1: 2000) and describe difficulties encountered from this technique.

KEYWORDS: Cartographic update, quality control, quadrotor UAV.

1. INTRODUÇÃO

Cartografia é a ciência que trata da organização, apresentação, comunicação e utilização da geoinformação, sob uma forma que pode ser visual, numérica ou tátil, incluindo todos os processos de elaboração, após a preparação dos dados, bem como o estudo e utilização dos mapas ou meios de representação, em todas as suas formas [1].

Profissionais que atuam nos segmentos de Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Computação de Imagens têm realizado pesquisas no intuito de melhorar os processos de detecção de mudanças, utilizando imagens multitemporais [2].

De acordo com [3] e [4], pesquisas nesta vertente têm o objetivo de identificar mudanças físicas em objetos, a partir de imagens áreas obtidas ao longo do tempo. Neste sentido, muitas técnicas têm sido desenvolvidas e aplicadas por pesquisadores, relacionadas principalmente com o processamento digital de imagens.

Em linhas gerais, o conceito de atualização está voltado à alteração de elementos, sem que o dado anterior seja perdido. Dessa forma, os dados atuais são agregados ao Banco de Dados existente [2].

[5], em seu trabalho, aplicou técnicas fotogramétricas, utilizando câmeras convencionais e de pequeno formato no intuito de detectar e medir variações geométricas.

[6] abordam a viabilidade na utilização de imagens de Satélite QuickBird em atualizações de mapeamentos em escalas grandes, de acordo com as técnicas e os procedimentos utilizados na ortorretificação. Dessa forma, resultados de pesquisas revelam que estas imagens podem ser utilizadas na atualização de mapeamentos até a escala de 1:3000 a partir de um modelo digital de terreno obtido em restituição fotogramétrica na escala de 1:5000.

No que diz respeito ao Brasil, as crescentes mudanças no cenário geográfico ocasionadas por fatores socioeconômicos e pela urbanização requerem que sejam realizadas atualizações nos mapeamentos locais em curtos períodos de tempo, a fim de que se possam analisar tais mudanças. Tratando-se de mapeamento em escala grande, a criação de novas metodologias para a atualização cartográfica é de fundamental importância, uma vez que é inerentes às mudanças nos aspectos urbanos em períodos de tempo cada vez menores, como a construção de novas áreas edificadas, transformações no sistema viário, mudanças na vegetação, etc.

Diante das metodologias relacionadas à atualização cartográfica a partir de imagens aéreas e orbitais citadas, este trabalho objetivou realizar a atualização cartográfica com o uso do VANT quadrotor nos campi de Ondina, Federação e São Lázaro Universidade Federal da Bahia (UFBA), identificando a sua viabilidade e limitações para projetos de mapeamento em escala grande, aplicando o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) a partir de uma base cartográfica digital vetorial.

É válido ressaltar que o equipamento utilizado permite a obtenção de imagens aéreas em pequenas áreas em um menor período de tempo e custo quando comparadas às outras técnicas tradicionais (Fotogrametria, Levantamento Topográfico, Levantamento GNSS, etc.)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Base cartográfica digital de referência

Com o advento de novas tecnologias as bases cartográficas, que antes eram elaboradas por meio de processos analógicos passaram a ser elaboradas em meio

digital, permitindo avanços e melhorias no manuseio e disseminação das informações. [7] define uma base cartográfica digital como sendo o conjunto de documentos e registros cartográficos em formato digital, onde os elementos representam os componentes de um determinado local delimitado a partir de uma área de estudo.

A elaboração de documentos cartográficos que proporcionam dados que definem uma base cartográfica é realizada através de processos complexos. Deve ser gerada a partir de padrões e especificações técnicas únicas que garantam a comunicação cartográfica entre os elementos que a constituem e permitam o seu compartilhamento, interoperabilidade e distribuição, viabilizando e facilitando o nível de utilidade no uso da informação nos mais diversos parâmetros socioeconômicos definidos, tanto no setor público governamental quanto no setor privado [8].

No Brasil, as produções de dados cartográficos oficiais do mapeamento sistemático em nível nacional, com escala inferior a 1:25.000, estão a cargo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG). A DSG disponibiliza cartas topográficas matriciais e vetoriais, ortoimagens e modelos digitais de superfície, nas escalas de 1:25.000 a 1:250.000. O IBGE disponibiliza folhas em formato matricial ou raster em diversas escalas e ainda permite o acesso a bases contínuas do Brasil, produzidas nas escalas de 1:1.000.000 e 1:250.000 [9].

Em 2006 a CONCAR constituiu o Comitê Especializado para a Estruturação da Mapoteca Nacional Digital (CEMND), desenvolvendo a Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV). A Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), editorada pela DSG e homologada pela CONCAR em 2010, apresenta a estruturação do Mapeamento Sistemático Terrestre da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) para viabilizar o compartilhamento de dados, a interoperabilidade e a racionalização dos recursos em relação aos produtores e usuários [10].

A EDGV apresenta instâncias para a categorização de dados geoespaciais, representando classes como: Hidrografia, Relevo, Vegetação, Sistema de Transporte, Energia e Comunicações, Abastecimento de Água e Saneamento Básico, Educação e Cultura, Estrutura Econômica, Localidades, Pontos de Referência, Limites, Administração Pública e Saúde e Serviço Social [10].

2.2 Atualização Cartográfica

Atualmente as técnicas e métodos utilizados para mapeamento e atualização cartográfica têm sido cada vez mais estudados devido às intensas mudanças no cenário geográfico, principalmente em se tratando de variações urbanas, onde a ocupação, cada vez mais expressiva, desencadeia variações em períodos de tempo cada vez menores. Uma das principais dificuldades no processo de atualização cartográfica está relacionada aos níveis de detalhamento estabelecidos por meio da escala utilizada e à demanda de informações nos dados já disponíveis.

No Brasil, a desatualização de produtos cartográficos tornou prioritária a busca por métodos alternativos para realizar a atualização cartográfica. Esta permite obter uma base cartográfica sólida para realizar o planejamento urbano e o gerenciamento do território nacional [11].

[12] constataram que o Brasil só possui cobertura completa de mapeamento oficial nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000. Produtos cartográficos que sejam utilizados para fins de planejamento e ordenamento de áreas do espaço geográfico requerem que sejam desenvolvidos mapeamentos em escalas maiores, que possuam um menor grau de generalização, permitindo identificar determinados elementos que servem de subsídios para a ordenação e elaboração de uma base cartográfica.

[13] atribui às seguintes análises que são realizadas no desenvolvimento de mapeamentos em escala grande:

- Escala de 1:10000 - Utilizada para mapeamento de áreas urbanas e rurais;
- Escala de 1:2000 e 1:10000 – Utilizada para mapeamento e identificação de feições referentes a áreas urbanizadas.

Para implantação de uma atualização sistemática contínua é necessário que o fluxo de informações seja permanente, viabilizando a dinâmica do trabalho e permitindo que seja desenvolvido o processo de atualização cartográfica. Dessa forma, as informações que são indispensáveis para a atualização de um mapeamento na escala de 1:2000 são decorrentes da ação humana [13].

Para fins de atualização cartográfica a partir de imagens, além dos trabalhos realizados por [5] e [6], podem ser citados o de [11], que utilizou técnicas de Processamento Digital de Imagens a partir de uma Morfologia Matemática para analisar imagens dos satélites LANDSAT/TM e IKONOS e o de [14], que aplicou a técnica Radiometric Rotation Controlled by Nonchangeaxis (RCEM) para a detecção de alterações em imagens orbitais da mesma banda obtidas em diferentes épocas.

Outra forma de atualização cartográfica diz respeito à realização de um projeto de aerolevantamento, com a tomada e processamento de fotografias da área a ser mapeada. Apesar da eficiência desse método e garantia de boa qualidade posicional, principalmente para mapeamentos em escala grande, quando utilizado para projetos de atualização, nota-se que não é tão viável financeiramente.

Este ponto foi discutido por [13], que afirma que o ideal, para fins de atualização em escala grande, seria a realização de um recobrimento fotogramétrico anual de um determinado local.

Os avanços tecnológicos têm permitido a implementação de técnicas atreladas ao desenvolvimento da cartografia digital e, juntamente com isso, o desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs. Estes possibilitam obter fotografias aéreas a partir de programas específicos para processamento

digital de imagens e por meio destas é possível realizar o planejamento de pequenas cidades e, em alguns casos, re-lizar projetos de atualização em cidades médias, inserindo em outros produtos cartográficos os recortes espaciais.

2.3 Mapeamento com VANT quadrotor

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido utilizados para as mais diversas aplicabilidades civis, desde análises ambientais até o desenvolvimento de projetos de mapeamento. Tais equipamentos, quando acoplados a câmeras digitais de qualidade, permitem a aquisição de fotos aéreas e a aplicação de técnicas de fotogrametria [15].

Além das câmeras digitais, os VANTs possuem um GNSS acoplado e são utilizados para as mais diversas aplicações, servindo como foco de investigação em vários aspectos da superfície terrestre. A tomada de fotografias ocorre a partir de uma dada sobreposição que, a partir do conceito de estereoscopia, permite gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelo Digitais de Superfície (MDS) para realizar análises específicas, como estudos de expansão da ocupação urbana, identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais, etc.

[16] afirma que a navegação autônoma do VANT é realizada por meio do uso de sistema GNSS através do uso de tecnologia inercial de medição e uso de outros sensores. Para permitir que seja realizado um trabalho fotogramétrico com o uso de VANTs, é necessário que o mesmo seja programável, possibilitando o desenvolvimento da sistemática de mapeamento da região de interesse.

Os avanços relacionados às técnicas de engenharia e ciências dos materiais permitiu o desenvolvimento de pequenos VANTs quadrotoros, também chamados de microdrones, que podem ser equipados com câmeras e outros sensores, podendo estes serem operados a partir de uma estação de controle no solo. No que diz respeito a fins de uso civil, tais equipamentos podem ser utilizados para as mais diversas aplicações, onde, de acordo com [17], destacam-se:

- Imagens aéreas convencionais;
- Imagens aéreas convencionais em tempo real;
- Imagens de infravermelho;
- Modelos estereoscópicos para a fotogrametria.

O mesmo autor ainda ressalta o uso dos VANTs quadrotoros devido a sua simplicidade mecânica e às facilidades com que podem ser executadas manobras ao se fazer uso do mesmo, tornando-se aplicável nas mais diversas pesquisas desenvolvidas. A facilidade e operacionalidade permitida ao executar um determinado voo utilizando tal equipamento, viabilizam a obtenção de informações que antes não eram possíveis, uma vez que são atribuídas tecnologias que possibilitam a decolagem vertical, voo pairado, facilidade de aterrissagem em pouco espaço, sensores inerciais e presença de obstáculos. Além disso, permite-se obter uma ampla visão sobre variações no espaço territorial, no que diz respeito a

monitoramento ambiental, gestão de desastres e processos de urbanização.

De acordo com [18], a expressão VANT não diz respeito unicamente para a aeronave como sendo um equipamento físico, mas está relacionada também com outros elementos que são parte deste. Sendo assim, além da aeronave, compreende a estação de controle, o sistema de lançamento e de pouso e demais componentes operacionais. Dessa forma, é caracterizado por todos os elementos configuráveis que viabilizem, não só a execução do voo, mas também o objetivo a ser alcançado.

No que tange à regulamentação dos voos, nenhum VANT civil tem a permissão de operar em território nacional sem a autorização da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e determinados órgãos regulares, sendo um deles referente ao Ministério da Defesa.

A legislação referente ao uso de VANT's no Brasil foi estabelecida a partir da Portaria da Defesa Normativa nº 606, de 2004, que apresenta diretrizes para a obtenção de veículos aéreos não tripulados e as suas providências. Quanto à regulamentação do uso de VANT's no Brasil, até o ano de 2017, os documentos vigentes eram:

- Circular de Informações Aeronáuticas – AIC nº 21/10 – DECEA Setembro/2010: tal circular tem como finalidade estabelecer as informações necessárias para o uso de veículos aéreos não tripulados no Brasil;
- Decisão nº 127 – ANAC, Novembro/2011: autorização para operação aérea de Aeronave Remotamente Pilotada do Departamento de Polícia Federal;
- Instrução Suplementar nº 21-002 - Revisão A - ANAC, Outubro/2012: Orienta aplicação da seção 21.191 do RBAC 21 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) para emissão de CAVE (Certificado de Autorização para Voo Experimental) para SISVANT de uso experimental (pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e pesquisa de mercado).

No ano de 2017 a ANAC procedeu à regulamentação dos VANT's, estabelecendo regras para o uso civil e os requisitos mínimos para realizar operações a partir dos métodos de pilotagens.

O subitem 2.4 aborda características recentes ao algoritmo *Structure from Motion* (SfM), sendo um dos principais algoritmos utilizados nos *softwares* de equipamentos VANT.

2.4 Structure from Motion (SfM)

De acordo com [19] o SfM permite realizar a extração de feições tridimensionais (3D) a partir de imagens estáticas obtidas em duas dimensões (2D). Dessa forma, a partir de um conjunto de fotografias de uma determinada área, processadas por meio de um software específico, é possível obter uma estrutura 3D dos alvos capturados.

Os mesmos autores ainda afirmam que a aplicação desta técnica surgiu da simplicidade do seu uso e o baixo custo

em relação aos equipamentos utilizados para a sua obtenção, quando comparado em relação a outros métodos.

O SfM faz a reconstrução da posição das câmeras por meio da detecção de pontos de interesse em determinadas imagens, resultando numa nuvem esparsa de pontos [20].

A detecção de elementos em SfM é caracterizada pela detecção de *keypoints* que apresentam as seguintes características: textura inconfundível em relação a seus vizinhos, alta repetibilidade, invariância na iluminação, ruídos na imagem e transformações geométricas básicas como escala, translação e rotação [21]. Para a identificação de pontos homólogos nas imagens, utiliza-se o algoritmo Scale Invariant Feature Transform (SIFT), que permite determinar regiões comuns nas fotografias [22].

De acordo com [21], os algoritmos SfM permitem que ocorra a reconstrução da cena de captura de forma tridimensional e a partir do movimento da câmera, por meio de uma série de imagens bidimensionais obtidas ao realizar movimentações em torno da cena, permitindo que as imagens sejam alinhadas.

[23] afirmam que a diferença característica relacionada ao uso do algoritmo SfM em relação à Fotogrametria clássica diz respeito ao fato deste não necessitar de uma especificação inicial de uma série de dados de coordenadas 3D conhecidas em relação à cena capturada, posição das câmeras e as suas orientações. Sendo assim, estes dados são resolvidos de forma simultânea, por meio de um processo iterativo, com alta redundância de ajuste de conjunto, que se fundamenta em uma base de dados extraída automaticamente a partir de imagens sobrepostas.

[24] apresentam um método que explicita a reconstrução 3D, sendo dividida de acordo com as etapas a seguir:

- 1) Determinação de inúmeras feições características em cada imagem;
- 2) Identificação dos emparelhamentos (matching) das feições correspondentes;
- 3) Determinação de uma estimativa inicial da estrutura da cena e a movimentação relativa da câmera;
- 4) Calibração da câmera;
- 5) Adensamento da nuvem de pontos (dense cloud);
- 6) Geração do modelo tridimensional por meio de rede triangular.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada para a realização deste trabalho compreende a Universidade Federal da Bahia, nas dimensões que correspondem aos campi de Ondina, Federação e São Lázaro. A escolha deste local para a realização das atividades ocorreu devido às mudanças nos últimos anos em relação a equipamentos como edificações, praças, vias e áreas verdes.

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Físico e Ambiental da [25], tal universidade é uma instituição pública de ensino, pesquisa e extensão, sendo a maior do Estado da Bahia, com a sua sede localizada no município de Salvador- BA.

Tal instituição é caracterizada por possuir 112 cursos diferentes, sendo 94 destes correspondentes a cursos de graduação na sede de Salvador, seis nos campi de Vitória da Conquista e doze nos campi de Barreiras.

Os campi da UFBA em que foram desenvolvidos este trabalho contemplam as áreas correspondentes ao campus de Ondina, Federação e São Lázaro, possuindo uma área aproximada de 300.000m², com extensões que partem do bairro da Federação ao norte e pela Avenida Ademar de Barros ao sul. O plano diretor da UFBA, realizado em 2008, divide estes campi em cinco zonas diferentes, sendo estas caracterizadas como:

- Zona I – Ondina/Federação: Ciências e Tecnologias;
- Zona II – Ondina Centro: Artes / Comunicação / Letras / Informação;
- Zona III – Ondina Sul: Saúde Animal/Biodiversidade;
- Zona IV – Ondina/São Lázaro: Ciências Humanas e Sociais;
- Zona V – Ondina/Orla: Educação /Educação Física, Esporte e Lazer.

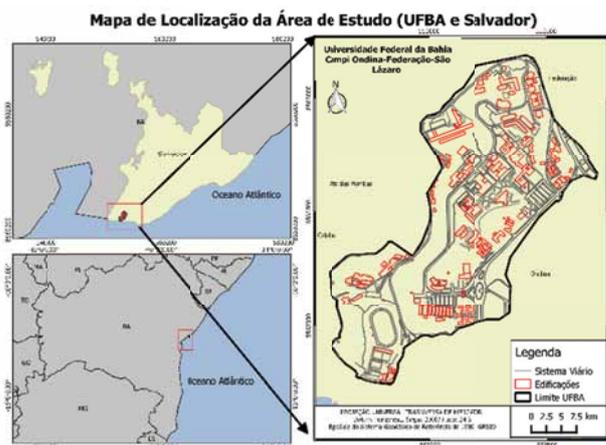


Fig. 1 – Mapa de Localização. Fonte: Autoria própria (2019).

4. METODOLOGIA

O trabalho realizado consiste na atualização cartográfica da área que compreende os *campi* da Universidade Federal da Bahia (UFBA), a partir dos elementos que compõem a base cartográfica do Sistema Cartográfico e Cadastral do Município do Salvador (SICAD), elaborado no ano de 2006, vigente até a presente data (2019).

Para a sua elaboração, o projeto foi dividido em cinco etapas principais. A primeira etapa consistiu na avaliação e identificação das principais mudanças na área de estudo e a elaboração dos planos de voos para estes locais. A segunda etapa constituiu nas atividades de campo realizadas, referentes à calibração manual câmera, tomada das fotografias com o uso de VANT quadrotor e à coleta das coordenadas de feições homólogas entre as fotografias obtidas e da base cartográfica do

SICAD em relação às identificáveis na área de estudo. A terceira etapa diz respeito às atividades realizadas em laboratório, caracterizadas pelo processamento das imagens. A quarta etapa caracteriza-se pela sobreposição das ortofotos geradas na base cartográfica e vetorização das feições modificadas. A quinta e última etapa consiste na finalização do projeto, permitindo a elaboração do mapa atualizado e determinação da acurácia posicional sua.

4.1 Identificação das regiões onde houve mudanças

Para a identificação das regiões que foram atualizadas, primeiramente houve a necessidade em avaliar regiões na UFBA em que ocorreram mudanças em relação à Base Cartográfica do SICAD. A análise prévia dos elementos modificados foi realizada a partir de imagens do *Google Earth* 2017 (Satélite *Astrium CNES*), uma vez que, a constante atualização das imagens que alimentam a sua base de dados, torna possível obter o cenário atual dos campi da UFBA em relação às feições existentes no local.

Primeiramente foi realizado um recorte das imagens do *Google Earth* em relação aos limites que contemplam a área de estudo. A imagem recortada foi georreferenciada com base nos arquivos vetoriais que alimentam o SICAD, com o auxílio do *software* QGIS 2.8.4. Com isso, foi possível obter a sobreposição da imagem com os arquivos vetoriais, viabilizando a análise visual e identificação de regiões nos campi que sofreram mudanças.

A partir da análise das mudanças ocorridas na área de estudo, foram localizadas alterações nas camadas que correspondem às áreas edificadas, vias e densidade vegetativa, utilizando as imagens do *Google Earth*. Dessa forma, foram realizadas visitas a campo no intuito de verificar as características das feições modificadas e a veracidade das análises.

No que diz respeito às vias e a vegetação, as análises em campo foram, em sua totalidade, visuais, ou seja, foram observados e avaliados estes elementos localizados na área de estudo e comparados em relação às análises feitas a partir da sobreposição dos arquivos vetoriais do SICAD em relação às imagens do *Google Earth*. Todavia, no que diz respeito às edificações, os métodos de verificação ocorreram de forma diferente, uma vez que, além da análise visual das mudanças ocorridas, houve a necessidade de consultar técnicos e funcionários dos locais sobre as características e tipos das edificações construídas ou demolidas. Dessa forma, foram consultados os seguintes aspectos: nomenclatura, estado acerca da edificação (edificações construídas ou demolidas), a operacionalidade e a funcionalidade.

4.2 Planejamento de voo

A partir da localização espacial das áreas onde ocorreram as mudanças, com o auxílio do *software* QGIS 2.8.4, foi realizada a vetorização prévia destas regiões, a fim de construir um esboço das áreas a serem sobrevoadas, permitindo estabelecer a localização geográfica e dimensões dos planos de voos criados.

No que diz respeito à etapa de elaboração dos planos de voo, a sua realização ocorreu com o auxílio do *software* *pix4d capture*, instalado no *Tablet Samsung GT - N8000*, que permitiu delimitar as faixas de voo, de acordo com os parâmetros previamente determinados. Dessa forma, os parâmetros principais que foram levados em consideração dizem respeito à altura de voo utilizada, quantidade de faixas, sobreposição lateral e longitudinal, a verticalidade do eixo da câmera e a escala de voo do imageamento gerado. A altura de voo utilizada para este trabalho foi de 60 metros e as sobreposições laterais e longitudinais foram, respectivamente, 80% e 60% entre as fotografias e a verticalidade do eixo da câmera, foi definida como sendo de 90°.

O uso deste *software* permitiu que tomadas das fotografias nas faixas de voo pudessem ser executadas de forma automática. A partir da delimitação da área a ser sobrevoada, o equipamento utilizado realiza o percurso de forma automática, retornando para local de origem após o término da execução do plano de voo. O cálculo da escala de voo em imagens digitais correspondeu à obtenção do GSD (Ground Sample Distance).

4.3 Calibração manual da câmera

A câmera utilizada para obtenção das fotografias corresponde a do quadrotor DJI Phantom 2 FC200, de até 14 Megapixels. De acordo com [1], esta câmera opera com 1 CCD (*Charge Coupled Device*), possui comprimento (w) de 5,714 mm e altura (h) de 4,286. A máxima resolução desta câmera é 4384 x 3288 (w x h).

Para a calibração da câmera, utilizou-se o *software* *Photomodeler Pro*. Neste processo de calibração da câmera, a grade de calibração foi posicionada no chão e foram tomadas imagens da mesma em quatro posições diferentes. Foram tiradas três imagens com ângulos variando de -90° a 90° em cada uma das posições, totalizando doze imagens.

A figura 2 exibe o posicionamento do VANT quadrotor e do alvo de calibração utilizados durante a realização do processo.

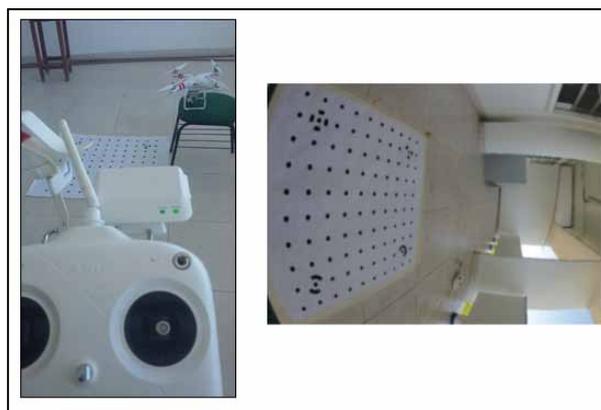


Fig. 2 – Calibração da câmera. Fonte: Autoria própria (2018).

4.4 Aquisição de imagens através do VANT quadrotor DJI Phantom 2

A partir da identificação das regiões onde ocorreram mudanças e o planejamento de voo nestas áreas, viabilizou-se a execução das atividades no intuito de adquirir as imagens das áreas especificadas.

Para a aquisição das imagens, foi utilizado o VANT quadrotor Phantom 2. Este equipamento possui quatro motores elétricos *brushless*, onde a velocidade de cada rotor determina a forma como será sucedido o voo. É equipado com recursos de segurança *go home* que permitem que o equipamento retorne ao local de origem, caso ocorra algum problema técnico ou perda de sinal.

O VANT quadrotor DJI Phantom 2 foi utilizado neste trabalho, uma vez que, em sua funcionalidade, é permitido que sejam atribuídas as seguintes características referentes à fotogrametria tradicional: estabilidade de voo por sensores inerciais e GNSS; altura constante; informações de toda a rota de voo; georreferenciamento de imagens e facilidade na programação e planejamento dos voos.

Além destas aplicabilidades, em sua programação, o equipamento possui a liberdade da realização dos voos de forma autônoma ou manual, ou seja, o operador pode executar uma rota de voo automática, já definida por programas em laboratório ou realizá-la de forma manual, utilizando o controlador do equipamento.

O VANT quadrotor DJI Phantom 2 possui as seguintes características: câmera não-métrica FC200 integrada 14MP com gravação de vídeo HD 1080p em um cartão micro SD; sistema a FPV embutido, que transfere vídeo no seu smartphone (iOS / Android) através de Wi-fi (300m); extensor Wi-fi incluído capaz de capturar até 980 pés acima; gimbal motorizado que permite controlar o ângulo de inclinação da câmera, manualmente controlável através do aplicativo Vision; tempo de voo até 25 minutos com uma única carga usando a bateria LiPo 5.200 mAh, que contém um circuito inteligente e um indicador de carga restante embutido. A figura 3 exibe uma fotografia do equipamento:



Fig. 3 – VANT quadrotor DJI Phantom 2. [26]

A câmera utilizada pelo VANT quadrotor DJI Phantom 2 é uma câmera não-métrica denominada de *Viewfinder*, comercialmente denominada *Action Cams* (Câmeras de ação) grande angular, a qual foi desenvolvida para filmagens e fotos. Por ela ter um ângulo de abertura grande 140°, apresenta grande distorção nas imagens. Possibilita enquadrar áreas maiores, apresentando muitas vezes fotos com aspecto arredondado.

4.5 Coleta das coordenadas dos pontos de controle

Para a realização desta etapa do trabalho, foram realizadas análises em campo a fim de avaliar feições que fossem facilmente identificadas nos produtos obtidos até então. Dessa forma, foram avaliadas feições homólogas no terreno em relação às fotografias e a base cartográfica do SICAD, ou seja, elementos da área de estudo facilmente identificados nestes produtos. Os pontos de controle escolhidos correspondem a feições como vértices de estacionamentos e esquinas, intercessões entre vias e meio fios, etc.

Antes de dar início a coleta das coordenadas destes pontos, foram realizadas pesquisas na plataforma online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na sessão que corresponde ao Banco de Dados Geodésicos, com o intuito de obter coordenadas dos vértices de referência pertencentes à Rede Geodésica Brasileira (RGB) localizados nas proximidades da área de estudo. Foram localizadas duas estações de referência do IBGE, sendo estas denominadas como: Salvador – INCRA (SAVO) e Salvador – Capitania dos Portos (SSA1), suas coordenadas estão referenciadas no Sistema de Referência SIRGAS 2000.

A partir destas estações de referência, foram determinadas as coordenadas dos pontos de controle que viabilizaram as demais análises neste trabalho.

Para isto foi utilizada a técnica de posicionamento relativo estático por meio do receptor GNSS *Promark 220*, utilizando a frequência L1 das ondas portadoras, máscara de elevação de 15° e taxa de gravação de 1 segundo. O tempo de rastreamento dos pontos de controle foi definido como sendo 20 minutos em cada ponto, em função do comprimento da linha de base, garantindo a eliminação dos erros de ambiguidade e solução fixa para os mesmos, uma vez que a distância média das estações de referência SAVO e SSA até os vértices de apoio é de, respectivamente, 10 Km e 3 Km. O *software* utilizado para o processamento e ajustamento destas coordenadas foi o *GNSS Solutions*.

A obtenção das coordenadas foi realizada com dois intuitos, sendo estes:

- a) Determinação dos pontos de controle para o processamento e geração das ortofotos digitais;
- b) Determinação da acurácia posicional do mapa atualizado.

Foram coletados 40 pontos de controle neste trabalho que serviram de subsídio para a execução das atividades. [27] criaram uma base de dados com coordenadas de pontos notáveis de feições coletadas na mesma região que contempla a área de estudo. Sendo assim, foram aproveitadas 14 destas coordenadas a fim de garantir que existissem dados suficientes para a execução das duas atividades. Dessa forma, para a área de estudo, em sua totalidade, foram utilizados 54 pontos de controle.

4.6 Processamento das imagens

Para o processamento e geração das ortofotos digitais por meio das imagens geradas, foi utilizado o software *Agisoft PhotoScan 1.3.0*.

Antes da inserção das imagens no software, primeiramente foi realizada uma primeira etapa que diz respeito à seleção e filtragem destas fotografias. Esse processo foi realizado manualmente. Foram excluídas as imagens que apresentaram problemas de qualidade relacionados à inclinação da aeronave no momento do imageamento, variação da altitude de voo em tomadas consecutivas e o arrasto provocado por ventos que alteraram o percurso do mesmo.

Após esta seleção, as imagens foram inseridas no software *Agisoft PhotoScan 1.3.0* e realizadas as etapas correspondentes ao processamento pelo software. As etapas foram realizadas, ordenadamente, da seguinte forma: alinhamento das fotografias tomadas; otimização do alinhamento; inserção dos pontos de controle; construção da nuvem de pontos densa; construção de modelos poligonais e de interpolação; edição da geometria; construção do modelo digital de elevação; texturação; construção das ortofotos.

Na etapa de alinhamento das fotografias, foram detectados os pontos homólogos nas regiões de sobreposição entre as imagens, permitindo criar uma nuvem espaçada de pontos e estimar a posição de cada fotografia em relação ao recobrimento geral das áreas. Os parâmetros utilizados nesta etapa dizem respeito ao grau de acurácia na definição dos pontos homólogos, modo de seleção dos pares e a quantidade limite de pontos utilizados para a ligação de faixas. Estes pontos limites indicam o quão fina é a varredura na imagem para determinar os pontos individualizados que serão utilizados para representar os pontos homólogos e entre as faixas de recobrimento.

A construção da nuvem densa de pontos corresponde à etapa de densificação dos pontos fotogramétricos onde se permite o refinamento dos parâmetros da posição da câmera no instante em que as fotografias são obtidas. A partir da nuvem espaçada de pontos, é criada uma nuvem densa. Nesta etapa foram inseridas as coordenadas dos pontos de controle coletados em campo nos respectivos elementos no terreno para que auxiliassem no georreferenciamento da área recoberta. Estes pontos também foram usados na identificação dos parâmetros referentes aos padrões do algoritmo utilizado para geração das ortofotos digitais.

A formação do modelo de interpolação TIN (Rede Irregular Triangular) corresponde à etapa que constrói a geometria da superfície baseada na construção de faces obtidas a partir da nuvem densa de pontos.

A partir da interpolação TIN, foi gerado o Modelo Digital de Superfície (MDS), onde são apresentadas as elevações de todos os elementos da área (relevo e topo de construções).

[28] afirma que a característica de um terreno referenciado diz respeito ao relevo que pode ser estimado de acordo com a sua cota ou altitude. Dessa forma, a expressão referente ao Modelo Digital de Elevação (MDE), relaciona-se com os modelos que consideram como característica do terreno, aspectos referentes à elevação em relação ao relevo.

O MDS se caracteriza por ser uma descrição que envolve a cota superior dos objetos acima da superfície, além do terreno [29]. Em seguida foram geradas as ortofotos derivadas da ortorretificação do recobrimento do bloco.

Segundo [30], as fotografias, em seu estado bruto, não

conseguem substituir determinados tipos de produtos oriundos de projetos de mapeamento, uma vez que a tomada da fotografia representa uma realidade gerada a partir de uma projeção cônica central, diferentemente de uma projeção ortogonal à superfície mapeada.

[28] afirma que o princípio básico relacionado à produção de uma ortofoto digital consiste no processo de eliminação dos deslocamentos devido à inclinação e ao relevo das fotografias em perspectiva que formam uma imagem única. Dessa forma, na ortofoto gerada, podem ocorrer variações na posição planimétrica dos elementos que compõem a área mapeada, como é o caso de edificações, camadas de relevo, desidade vegetativa, etc. Em escala, também podem ocorrer estas variações nos pontos que formam a ortofoto.

O modelo tridimensional foi gerado a partir de algoritmos do *Structure from Motion (SfM)*, utilizado pelo software *Agisoft PhotoScan 1.3.0*, a partir das fotografias 2D obtidas para área de estudo.

4.7 Geração do mapa atualizado

A sobreposição das camadas vetoriais selecionadas da base cartográfica do SICAD em relação às ortofotos, permitiu identificar as regiões atualizadas e iniciar o processo de representação destas mudanças por meio da vetorização destes elementos. No software *QGIS 2.8.4* foram criadas três novas camadas vetoriais, referenciadas em SIRGAS 2000 e nomeadas de meio fio, edificações e vegetação. No processo de vetorização da base cartográfica do SICAD, identificou-se que foi utilizada a primitiva gráfica do tipo linha para as três camadas.

Na atualização cartográfica realizada neste trabalho, para que o processo de vetorização coincidissem com a primitiva gráfica das feições representadas para as camadas de edificações e vegetação, utilizou-se a primitiva gráfica de polígono e, para a camada de meio-fio, foi mantida a de linha. Dessa forma, o processo de vetorização foi realizado, utilizando duas aplicações principais:

- a) Vetorização dos elementos novos a partir da visualização e interpretação das ortofotos obtidas;
- b) Exclusão das feições nas camadas vetoriais da base cartográfica do SICAD que não são mais evidentes nas regiões da área de estudo.

No que diz respeito às edificações, o processo de vetorização destas camadas foi realizado diretamente no software *Agisoft PhotoScan 1.3.0* e exportadas para o software *QGIS 2.8.4*. Este processo foi necessário, uma vez que as distorções geradas nas fotos fazem com que o topo das edificações não coincida com a base das ortofotos geradas, tendo em vista que estas são produzidas através do MDT (elevação do relevo), que corrige o relevo e não o topo destes elementos, alterando a qualidade posicional dos mesmos. A vetorização no software *Agisoft PhotoScan 1.3.0* permitiu realizar a vetorização diretamente no modelo tridimensional

gerado e vetorizar as edificações diretamente em suas bases, eliminando este problema.

Este processo permitiu obter as camadas vetoriais de meio-fio, edificação e vegetação atualizadas da área de estudo e gerar o mapa da mesma atualizado, avaliando as mudanças decorrentes nos últimos onze anos.

4.8 Controle de Qualidade Posicional

Com a elaboração do mapa atualizado referente à região que contempla a área de estudo, a próxima etapa constituiu na determinação da acurácia posicional do mapa atualizado, no qual foram escolhidas feições no terreno bem evidentes para a obtenção destas coordenadas. A realização desta etapa foi feita através da obtenção de dados por meio de parâmetros estatísticos que viabilizem a sua execução. Então, os passos realizados foram relacionados à obtenção da quantidade necessária de amostras para a referida área de estudo, identificação e obtenção destas coordenadas no local em relação ao produto cartográfico, cálculo das discrepâncias das coordenadas obtidas entre as coordenadas coletadas no terreno e seus homólogos no mapa atualizado, cálculo da média e desvio padrão destas discrepâncias, análises estatísticas de tendências e de precisão.

Para avaliação de dados cartográficos obtidos de acordo com as características e padrões de qualidade pré-determinados, foi criado o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC pelo [31], visando, assim, classificar os aspectos de determinado produto cartográfico de acordo com os fatores e métodos utilizados em sua obtenção.

O [31] atesta que a discrepância máxima que pode ser encontrada referente à disposição dos pontos em um produto cartográfico gerado no que diz respeito a acurácia das feições representadas é de que 90% dos pontos utilizados para esta análise não deverão apresentar discrepâncias superiores aos estabelecidos pelo PEC, tanto os referentes à altimetria quanto à planimetria. O Erro Padrão é determinado de acordo com as análises realizadas no produto cartográfico em conformidade com os métodos estatísticos utilizados em sua elaboração, na qual a probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro Padrão Isolado, seja por um ponto ou feição do projeto cartográfico, não deve ultrapassar 60,8% do PEC estabelecido.

Sendo assim, o Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico onde, a partir do gráfico probabilístico de distribuição normal, pode ser representado com uma probabilidade de 90% de acordo com a dispersão estatística considerada.

A ET-EDGV tinha o objetivo de atualizar os padrões vistos no [31], uma vez que a mesma já não atendia às necessidades atuais aplicadas em meio digital. Então, passou-se a considerar que os avanços tecnológicos eliminaram os erros gerados pelos processos realizados antigamente, inserindo os erros caracterizados pelos processos atuais.

Embora tais especificações abordem parâmetros de classificação de produtos cartográficos de acordo com o PEC, até o ano de 2016 ainda existiam metodologias padrões para o cálculo do mesmo. No referido ano foi estabelecida a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de dados Geoespaciais Vetoriais (ET-CQDG). Contudo, na época em que este trabalho foi realizado, a mesma ainda não havia sido homologada pela CONCAR. Dessa forma, os próximos itens abordam os métodos utilizados para a análise descrita.

4.8.1 Determinação do número de amostras

Embora seja de extrema importância determinar o tamanho da amostra para fins de análises cartográficas, a maioria dos métodos para controle de qualidade geométrica não apresenta recomendações para cálculo de amostra [32].

Conforme as características da referida área de estudo

utilizada neste trabalho, o tamanho mínimo de amostras a serem utilizadas foi calculado a partir da expressão (1) onde se determinou, por meio de uma população finita, a estimação da média populacional (μ) o erro máximo admissível (ϵ) e o nível de confiança ($1 - \alpha$) em que se deseja determinar os parâmetros.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N - 1)\epsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (1)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra;

Z = Intervalo de Confiança;

N = Tamanho da população;

σ = desvio padrão amostral;

ϵ = Erro Amostral Relativo.

De acordo com [33], a análise estatística para a determinação da acurácia posicional planimétrica é composta por duas fases, tendência e análise de precisão.

4.8.2 Análise de Tendência

De acordo com [32], em um determinado produto cartográfico, a análise de tendência dos seus elementos consiste nas análises estatísticas entre as coordenadas de referência do mundo real de determinadas feições obtidas por algum método de levantamento em relação as coordenadas da carta a ser avaliada). O principal intuito dessa análise é verificar a existência de tendência de erros em alguma direção da carta, avaliando se as discrepâncias obtidas podem ser consideradas estatisticamente iguais a zero.

A partir da obtenção das coordenadas dos pontos de controle, inicialmente foram calculadas as discrepâncias entre estas coordenadas conforme a equação 2.

$$\Delta X_i = X_i - X_{i_c} \quad (2)$$

É válido ressaltar que as discrepâncias entre as coordenadas e as análises estatísticas foram obtidas em relação aos dois elementos que formam o par (Latitude e Longitude), viabilizando, assim, a determinação da direção do erro na carta observada.

A partir do cálculo das discrepâncias entre as coordenadas, bem como a determinação do tamanho da amostra utilizada para as análises estatísticas, foram calculados a média ($\overline{\Delta X}$) e o desvio padrão ($S_{\Delta x}$) das mesmas a fim de que sejam parâmetros para determinar a tendência decorrente no mapa gerado

Para que seja realizado o teste de tendência, foram utilizadas as seguintes hipóteses:

$$H_0: \overline{\Delta X} = 0 \quad (3)$$

$$H_1: \overline{\Delta X} \neq 0 \quad (4)$$

Conhecendo as hipóteses a serem identificadas, foi realizado o cálculo da estatística amostral “t” com o intuito de verificar se o resultado está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula, ou seja, se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual a zero.

O valor de “t” amostral é obtido da seguinte maneira:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta x}} \sqrt{n} \quad (5)$$

Onde n é o número de amostras utilizadas.

Para a análise do valor encontrado para “ t ”, este foi associado a um valor tabelado, verificando, assim, a análise inicial de rejeitar ou não a hipótese nula. Dessa maneira, foi feita a análise *t student*, associada ao número de amostras (n) e ao nível de significância utilizado. O intervalo de confiança referente ao teste *t student* é dado da seguinte maneira:

$$|t_x| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (6)$$

Onde o valor de *t student* tabelado possui ($n - 1$) graus de liberdade e um nível de significância.

Dessa maneira, caso o módulo calculado para o “ t ” amostral tenha sido menor do que o valor de “ t ” tabelado, aceita-se a hipótese nula ($\overline{\Delta X} = 0$), ou seja, o produto cartográfico obtido pode ser considerado livre de tendências significativas. Contrariamente caso a desigualdade não seja satisfeita, rejeita-se a hipótese nula ($\overline{\Delta X} \neq 0$), o que significa que este apresentou erros significativos para um determinado nível de confiança. Uma vez que o PEC-PCD corresponde a um indicador estatístico com probabilidade 90% de confiança, o valor de “ t ” foi calculado considerando este nível de confiança.

Segundo [21] o fato de haver tendência indica possíveis erros em uma determinada direção, sendo decorrentes por uma série de fatores. Contudo, conhecidas as discrepâncias e a direção das falhas, o seu efeito pode ser minimizado, realizando o procedimento de subtração do seu valor em cada coordenada em análise da carta.

4.8.3 Análise de Precisão

De acordo com [32], a análise de precisão consiste na comparação da variância encontrada a partir das discrepâncias entre as coordenadas levantadas e as da carta com o Erro Padrão (EP), avaliado pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, em relação à classe em que se deseja avaliar a precisão da carta.

Desta forma, o teste de hipóteses formulado para análise da precisão foi dado da seguinte forma:

$$H_0: S^2_{\Delta x} = \sigma^2_x \quad (7)$$

$$H_1: S^2_{\Delta x} \neq \sigma^2_x \quad (8)$$

Onde σ^2_x corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado de acordo com a classe do produto cartográfico analisado. Assumindo o valor da resultante gerada como sendo Erro Padrão e considerando ser equivalente nas componentes horizontais determinadas, tem-se que:

$$\sigma_x = EP/\sqrt{2} \quad (9)$$

Com estes parâmetros iniciais, foi aplicado o teste Qui-quadrado amostral a fim de verificar se o desvio padrão das discrepâncias obtidas pode ser considerado, estatisticamente, igual ou menor que o Erro Padrão assumido para uma determinada classe do PEC-PCD.

O teste Qui-quadrado amostral foi dado da seguinte forma:

$$X_x = (n - 1)S^2_{\Delta x}/\sigma^2_x \quad (10)$$

A partir deste cálculo, foi realizada a análise do enunciado que diz respeito ao teste de hipótese onde se utiliza o valor de qui-quadrado tabelado de acordo com a seguinte condição:

$$X^2_x \leq X^2_{(n-1; \alpha)} \quad (11)$$

Onde o valor de Qui-Quadrado tabelado possui ($n - 1$) graus de liberdade e a um intervalo de confiança.

Desta maneira, utilizando um indicador estatístico de dispersão referente a 90%, verificou-se se a expressão da equação 11 foi satisfeita para este nível de confiança, permitindo avaliar a aceitação ou rejeição da hipótese nula das discrepâncias obtidas (equação 2), verificando, assim, se o mapa atualizado atende a classe estabelecida de acordo com a precisão e escala da mesma.

4.8.4 Aplicação do PEC-PCD

Para a classificação do produto cartográfico, determinou-se a qualidade estabelecida a partir da escolha e análise dos pontos de controle. Tais classificações estão diretamente relacionadas à escala em que este está representado.

De acordo com [31], a determinação das amostras coletas (pontos de referência) deve ocorrer a partir de métodos em que o erro não seja superior a 1/3 do erro padrão esperado para a classe da carta em análise.

A Tabela 1 exibe a classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) planimétrico, estabelecida na ET-EDGV.

Tab1 – PEC-PCD

PEC (1984)	PEC-PCD (2011)	PEC Planimétrico	Erro Padrão Planimétrico
	A	0,28 mm X Fator de Escala	0,17 mm X Fator de Escala
A	B	0,5 mm X Fator de Escala	0,3 mm X Fator de Escala
B	C	0,8 mm X Fator de Escala	0,5 mm X Fator de Escala
C	D	1,0 mm X Fator de Escala	0,6 mm X Fator de Escala

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Análises em campo das áreas modificadas

A identificação nas imagens do *Google Earth* dos locais onde ocorreram mudanças e as atividades em campo que validaram tais mudanças permitiram identificar que a categoria que mais sofreu alterações foi a das edificações dos campi, conforme tabela 2.

Tab2: Mudanças Identificadas na área de estudo.

Tipo de Edificação	Mudança Ocorrida	Operacionalidade
Pavilhão de Aulas - Engenharias	Construção do novo prédio	Em andamento
Restaurante Universitário	Construção do novo prédio	Concluído
Pavilhão de Aulas - Ciências Humanas	Ampliação do pavilhão de aulas	Concluído

Tipo de Edificação	Mudança Ocorrida	Operacionalidade
Pavilhão de Aulas - Escola de Música	Reconstrução do prédio	Em andamento
Pavilhão de Aulas - Escola de Dança	Ampliação do prédio	Em andamento
Pavilhão de Aulas - IHAC (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Em andamento
Escola de Medicina Veterinária	Ampliação dos prédios existentes	Concluído
Pavilhão de Aulas da Federação V (PAF V)	Construção do novo prédio	Concluído
Pavilhão de Aulas da Federação IV (PAF IV)	Construção do novo prédio	Concluído
Pavilhão de Aulas da Federação III (PAF III)	Construção do novo prédio	Concluído
Instituto de Letras	Ampliação do prédio	Concluído
Faculdade de Comunicação	Ampliação do prédio	Concluído
Faculdade de Ciências da Computação	Construção do novo prédio	Em andamento
Instituto de Biologia	Ampliação do prédio	Concluído
Restaurante Universitário	Construção do novo prédio	Concluído
Anexos - Laboratórios de Pesquisa em Química (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Concluído
Laboratório de Físico-química	Construção do novo prédio	Em andamento
Biblioteca de Exatas	Construção do novo prédio	Concluído
Pavilhões de Aulas (Dois Prédios)	Demolição	Concluído
Pavilhões de Aulas (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Concluído

Além das novas edificações, foram identificadas duas mudanças significativas, referentes à criação da Praça das Artes, localizada no Pavilhão de Aulas da Federação (PAF), e à ampliação da quadra de esportes da UFBA, localizada no instituto de Educação Física.

5.2 Calibração manual da Câmera

Para esta etapa da atividade, houve dificuldades relacionadas ao processo, uma vez que não foi possível remover a câmera do equipamento para acoplá-la a um tripé para que os alvos de calibração pudessem ser fotografados com os mesmos ângulos de inclinação e as mesmas distâncias. Além disso as fotografias não podiam ser diretamente tomadas da própria câmera, sendo obtidas de forma indireta por meio do Tablet Samsung GT - N8000. Foram realizadas sete tentativas no intuito de encontrar os resultados esperados. Contudo, percebeu-se, a partir da quarta tentativa, que os resultados obtidos não seriam satisfatórios, ou seja, o valor residual (Overall Residual RMS) não seria menor do que 6 pixels, utilizando a técnica desta forma. Este resíduo não é considerado ideal, uma vez que não viabilizou a determinação dos parâmetros de distorção descentrada, ou seja, o valor do RMS obtido foi muito alto. Então, para este trabalho foram utilizados os parâmetros de calibração obtidos de forma automática (autocalibração) pelo próprio *software Agisoft PhotoScan 1.3.0* para cada ortofoto digital gerada no processamento das imagens.

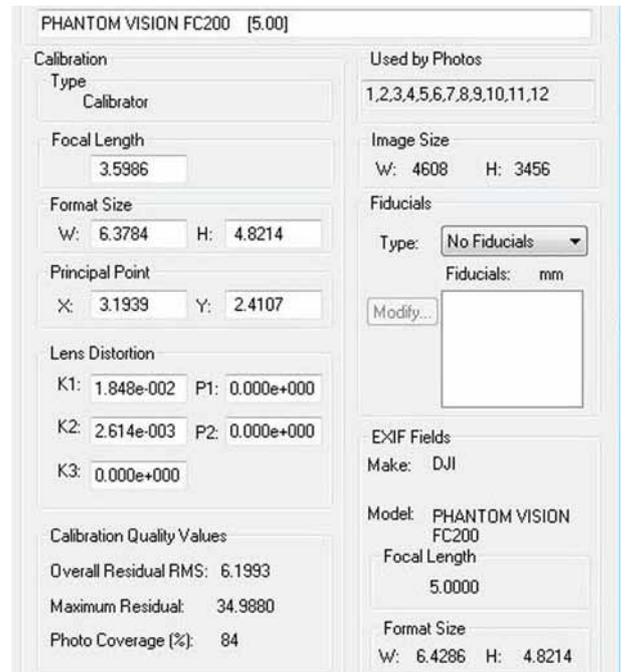


Fig. 4 – Parâmetros obtidos na calibração em laboratório

Apesar das falhas descritas, tal processo de calibração, permitiu constatar que a distância focal fornecida no manual da câmera não-métrica estava com alterações, uma vez que esta apresentava um valor de 5mm e os valores obtidos nas tentativas de calibração, estavam, em média, correspondendo a 3,5mm. A figura 4 exibe os resultados obtidos na calibração em laboratório.

5.3 Planejamento, execução do voo para obtenção de fotografias e coleta dos pontos de controle

A partir da identificação das áreas onde ocorreram mudanças, foram elaborados os planos de voos destes locais. Foram realizados 20 planos de voos que estão expressos na tabela 2 que apresenta os aspectos referente à quantidade de faixas, número de fotografias tomadas e dimensões de cada voo. Na figura 5 é exibido um dos planos de voo elaborados para este trabalho a partir do *software pix4d*.

Tab 2: Especificações dos Planos de Vôos criados

Área sobrevoada	Quantidade de faixas de voo (unit.)	Dimensões do quadro de voo (m)
Escola Politécnica	4	79 x 61
São Lázaro - Restaurante Universitário	4	71 x 60
São Lázaro - Voo 1	4	114 x 77
São Lázaro - Voo 2	4	121 x 75
Portão Principal	5	174 x 105
Pav. Aulas (IHAC)	4	74 x 78
PAF V e Escola de Medicina Veterinária	5	101 x 91
PAF IV	4	91 x 61
PAF III	4	57 x 63
Ampliação do Instituto de Letras	5	63 x 86
Faculdade de Comunicação	6	63 x 145

Área sobrevoada	Quantidade de faixas de voo (unit.)	Dimensões do quadro de voo (m)
Instituto de Biologia	5	67 x 84
Praça das Artes	7	110 x 156
Laboratório de Química (Anexos PAF I)	5	56 x 103
Lab. Química e Inst. Farmácia	7	126 x 151
Biblioteca de exatas	4	67 x 87
Fac. Arquitetura	5	100 x 100
Inst. Geociências (Voo 1)	5	100 x 94
Inst. Geociências (Voo 2)	5	89 x 89
Quadra - UFBA	6	87 x 140



Fig. 5 - Plano de voo do Portão principal: reconstrução do Instituto de Música e ampliação do Instituto de Dança. Fonte: Autoria própria (2018)

No momento da tomada das fotografias, a dificuldade maior foi relacionada com a perda de sinal em algumas áreas. A perda de sinal impediu que algumas faixas de voo fossem executadas por completo, necessitando realizar a tentativa mais de uma vez, até obter as fotografias de acordo com o planejamento dos voos. Os locais onde ocorreram as perdas de sinais foram relacionados ao Pavilhão de Aulas da Federação, nas áreas que correspondem ao IHAC, PAF III, PAF IV e do Laboratório de Físico-química. Presumiu-se que a perda de sinal caracterizou-se pela existência de antenas na região e a existência de edificações no entorno da Universidade, com comprimento maior que a altura de voo utilizada.

Percebeu-se que houve uma boa nitidez dos elementos identificáveis nas fotografias. O horário e as condições climáticas favoráveis presentes no momento da execução dos planos de voos auxiliaram na obtenção de fotografias com melhor resolução radiométrica, uma vez que houve luminosidade suficiente na tomada destas. Contudo, percebeu-se também que as telhas que revestem as edificações apresentaram-se nítidas nas imagens, com a presença de linhas arredondadas, como se verifica na figura 6. O formato arredondado em algumas imagens diz respeito à característica da câmera não-métrica ser grande angular no intuito de obter grandes extensões no momento da tomada das fotografias.



Fig. 6 – Fotografia tomada do PAF III e do PAF IV

A partir do levantamento de campo realizado a partir de rastreamento, utilizando receptores GNSS, foram utilizadas as coordenadas de 30 pontos de controle para o processamento das fotografias e geração das ortofotos. É válido ressaltar que esta quantidade de pontos de controle equivale à quantidade total utilizada em todos os processamentos realizados.

5.4 Processamento das imagens

Para a geração das ortofotos digitais, foi utilizado o *software Agisoft PhotoScan 1.3.0* e a partir das fotografias obtidas, foram geradas sete ortofotos. Cada uma delas refere-se às regiões onde ocorreram as tomadas de voos na área de estudo. Durante o momento do processamento das fotografias, houve falhas relacionadas à obtenção das ortofotos digitais bem como seus respectivos modelos tridimensionais. Primeiramente, o processamento das fotografias foi realizado para cada plano de voo executado. Contudo, principalmente na região que diz respeito ao Pavilhão de Aulas da Federação, notou-se que, nas ortofotos geradas, referentes à área que contempla a Biblioteca de Exatas, dos prédios anexos do PAF I e do Instituto de Farmácia, obtiveram-se discrepâncias na faixa de dois metros das coordenadas das suas feições em relação às coordenadas homólogas dos pontos de controle coletadas em campo. Na tentativa de corrigir tais falhas, houve um reprocessamento das fotografias correspondentes ao pavilhão de aulas da Federação de forma conjunta, ou seja, para esta área foi gerada uma única ortofoto. Com isso, conseguiu-se solucionar as falhas relacionadas às discrepâncias obtidas para as áreas específicas, uma vez que, assim, o processamento permitiu a inserção de todos os pontos de controle coletados para esta área e, consequentemente, uma melhor distribuição dos mesmos.



Fig. 7 - Modelo Tridimensional: Portão Principal. Fonte: Autoria própria (2018)



Fig. 8 - Ortofoto digital do Portão Principal. Fonte: Autoria própria (2018)

Apesar do cálculo do GSD ser avaliado na etapa de planejamento de voo, nos resultados obtidos na etapa de calibração manual, conforme descrito no item 5.2, percebeu-se que o valor fornecido no manual do equipamento para a distância focal de 5mm estava incoerente com os valores obtidos na calibração de câmera em laboratório e, também, na autocalibração realizada no *software Agisoft Photoscan 1.3.0*, uma vez que, para as sete ortofotos geradas, obteve-se uma média de 3,2 mm de distância focal e, considerando uma altura de voo de 60m, o GSD obtido foi, em média, 0,025m.

É válido ressaltar que dos 30 pontos utilizados para o processamento, foram utilizados três em cada um deles, com exceção da área que contempla o Pavilhão de aulas da Fede-

ração em que foram utilizados 12 pontos de controle.

As figuras 7 e 8 exibem respectivamente o modelo tridimensional e a ortofoto obtida para uma das regiões da área de estudo. A tabela 3 exibe os parâmetros obtidos no processamento das ortofotos no Photoscan

5.5 Verificação de Feições desatualizadas e a sua atualização

A geração do mapa atualizado iniciou-se pela mudança no Sistema Geodésico de Referência da base cartográfica do SICAD de SAD 69 para SIRGAS 2000 e, em seguida, foi feita a sobreposição das ortofotos geradas em relação a mesma, realizando-se a vetorização e obtenção do mapa atualizado dos *campi*.

Em relação às mudanças identificadas na área de estudo, notou-se que ocorreram alterações das vias (meio-fio), vegetação e edificações. Houve uma visualização e análise maior destas três camadas, uma vez que são as mais evidentes na área de estudo, em detrimento das outras que não possuem representação vetorial nesta região. Observou-se também que a construção e demolição de edificações foram a atualização mais pertinente do local, pois, além das mudanças na quantidade de edificações construídas, estas também interferiram diretamente nos outros elementos que compõem a área. Assim, a construção de novas edificações fez com que surgissem passeios e houvesse redução da densidade vegetativa de determinados locais e, de forma análoga, a demolição delas ocasionou mudanças nas áreas que compõem meio-fio e passeios.

A figura 9 exibe a planta atualizada correspondente à área de estudo dos *campi* da UFBA:

Tab 3: Parâmetros obtidos no Photoscan

Ortofoto	Distorção Radial			Distorção Descentrada		Distância Focal (mm)	Posição da coordenada central	
	K1	K2	K3	P1	P2		Cx	Cy
Escola Politécnica	-0,569	0,377	-0,120	-0,001	0,00715	3727,59	38,819	-91,426
São Lázaro – Restaurante Universitário	-0,669	0,587	-0,341	-0,001	-0,0015	3727,59	18,1589	39,6892
São Lázaro - Pavilhão de Aulas	-0,702	0,612	-0,338	0,0002	0,0011758	3727,59	-5,4996	7,28132
Portão Principal	-0,369	0,174	-0,054	9,75E-07	-9,47E-05	2663,58	2,35613	19,2896
Pavilhão de Aulas da Federação	-0,357	0,157	-0,045	-7,23E-05	-8,83E-05	2586,92	1,38198	23,5861
Faculdade de Arquitetura e IGEO	-0,329	0,123	-0,028	-0,00016	-0,000249	2472,59	3,58938	34,9261
Quadra - UFBA	-0,714	0,622	-0,338	-0,00023	0,000521	3727,59	1,96	11,0666

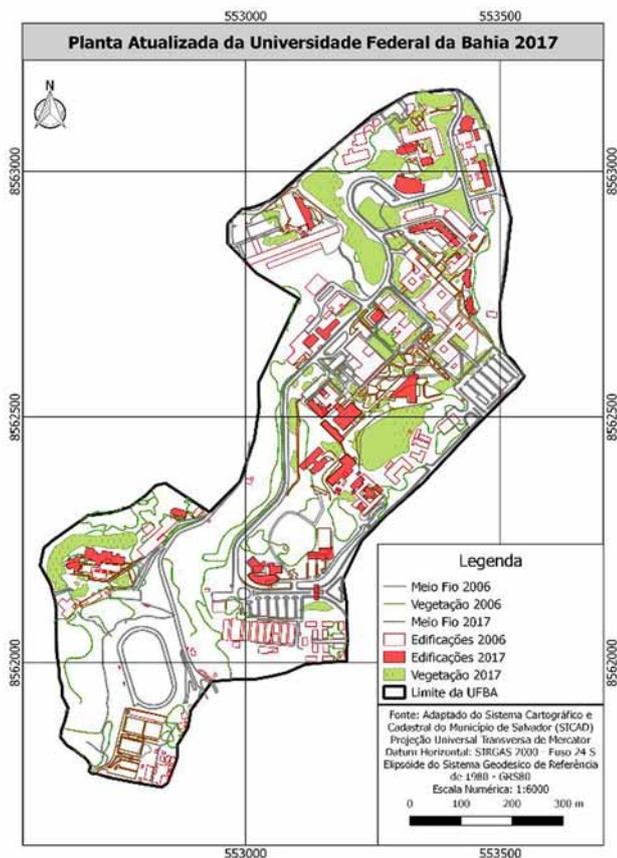


Fig. 9 - Planta da UFBA atualizada. Fonte: Autoria própria (2018)

5.6 Controle de Qualidade Posicional

Neste item são apresentados os resultados obtidos para os testes estatísticos realizados em relação a classificação do produto cartográfico atualizado, conforme descrito no item 4.8.

Para a realização do cálculo do número de amostras, considerou-se um intervalo de confiança (Z) de 99,5% e o erro amostral relativo (ϵ) como sendo 1/5 do desvio padrão amostral (σ).

O cálculo da população amostral, utilizando-se o *software Dxf2xyz v.2.0* permitiu obter um valor de aproximadamente 24000 amostras. Neste software foram inseridos todos os arquivos vetoriais da base SICAD relacionados à área de estudo e extraído este valor. A substituição deste valor na equação 1 fez com que fosse obtido o valor mínimo de 24 amostras para a área que caracteriza as delimitações da área de estudo dos *campi* da UFBA, utilizada neste trabalho. A avaliação do PEC-PCD foi data no produto cartográfico atualizado (Figura 9).

A partir dos cálculos realizados, as tabelas 4 e 5 exibem, respectivamente, os valores das médias e desvios padrão encontrados para as discrepâncias em relação a N e E.

Tab 4 - Média das Discrepâncias

Média das Discrepâncias (m)	
$\overline{\Delta N}$	0,147
$\overline{\Delta E}$	-0,0876

Quanto à análise de tendência, observou-se que a hipótese nula do teste *t student* (tabela 6) foi apenas aceita para a

componente E do par de coordenadas planimétricas (N, E). Então, considerando 90% de confiabilidade, não existe a tendência de erros sistemáticos para esta direção, em detrimento da componente N, em que foi apresentada tendência de erros.

Tab 5 : Desvio padrão das discrepâncias

Desvio Padrão das discrepâncias (m)	
$S^2_{\Delta N}$	0,308
$S^2_{\Delta E}$	0,266

Tab 6 : Teste T Student

T-student	
$t_{(23;0,05)}$	1,714
N	2,34
E	-1,613

Em relação à análise de precisão (tabela 7), os resultados encontrados apresentam erro padrão esperado e o teste qui-quadrado realizado para uma escala de 1:2.000 abordada. Este produto foi aceito apenas para a classe B do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Tab 7: Classificação do Produto Cartográfico

Teste Qui-Quadrado (23; 0,10) - 32,007		
PEC-PCD (1:2000)	Delta (E)	Delta (N)
A	37,88	28,15
B	12,17	9,04
C	4,38	3,32
D	3,04	2,26

5.7 Considerações finais

Uma vez que os resultados apresentados neste trabalho são relacionados com a obtenção da qualidade cartográfica do mapeamento gerado no que diz respeito ao processo de atualização destas áreas com VANT quadrotor, os principais aspectos considerados nesta pesquisa para a qualidade do produto final e a precisão dos dados, estão relacionados aos seguintes aspectos: quantidade e distribuição dos pontos de controle, tanto para o processamento dos dados quanto para a acurácia posicional do produto final; qualidade dos sensores embarcados; calibração da câmera; estabilidade da plataforma e processamento, utilizando ferramenta computacional.

Notou-se que um dos aspectos que contribui para a inexactidão obtida no produto final está relacionada à baixa precisão do sensor embarcado, uma vez que, o alto custo de sensores mais precisos, aliados à instabilidade da plataforma e dos riscos operacionais com a qual esta opera, impossibilita o seu uso.

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos em relação à aplicação do VANT quadrotor DJI Phantom 2 ,para a obtenção de ortofotos em diferentes regiões de uma área de estudo que contempla elementos inerentes à zona urbana para fins de atualização cartográfica. Conclui-se que os métodos utilizados são satisfatórios. Contudo, o sobrevoo de

vinte áreas diferentes permitiu analisar que, à medida que mais regiões foram sobrevoadas, passaram a surgir dificuldades inerentes ao processo, evidenciando que o uso do equipamento se torna difícil à medida que a área de estudo aumentava. Dificuldades relacionam com às variações atmosféricas que provocaram instabilidade da plataforma, inclinação da verticalidade da câmera no momento da tomada das fotografias e a inserção dos pontos de controle para o processamento, sendo que, em algumas regiões, foram mais numerosos que em outras.

No que diz respeito à qualidade das câmeras digitais, a melhoria das resoluções e um custo acessível no mercado, permitem que estes equipamentos sejam viáveis para a fotogrametria digital. Contudo, as dificuldades ocasionadas no processo de calibração da câmera em laboratório impediram que fossem corrigidas todas as distorções radiocêntricas provocadas, ou seja, quanto mais distante do centro, maiores distorções foram verificadas. Dessa forma, tal situação implicou diretamente na qualidade dos produtos finais obtidos para atualização dos elementos da base cartográfica do SICAD na escala de 1:2.000.

A etapa de acurácia posicional calculada para o produto final atualizado foi determinada para a escala de 1:2.000, estabelecendo uma compatibilidade entre a vetorização das ortofotos geradas e os elementos da base cartográfica do SICAD. O novo produto gerado apresentou resultados satisfatórios de acordo com as limitações e as dificuldades geradas inerentes ao processo. A viabilidade do método está relacionada com as questões técnicas dos resultados obtidos a partir da acurácia posicional calculada do produto final gerado. Contudo, no que diz respeito a questões econômicas, as análises quanto ao uso do método em determinadas etapas, para fins de atualização cartográfica, demandaram o uso de atividades que arcariam custos elevados caso fossem aplicadas em demais áreas urbanas para estes fins. Dessa forma, caso uma determinada prefeitura demande um projeto de atualização cartográfica para o seu município ou uma determinada área deste, utilizando os métodos descritos neste trabalho, além dos gastos com a equipe técnica e equipamentos, poderão ser gerados gastos relacionados as repetidas idas a campo para a execução dos planejamentos de voos em áreas onde houve falhas relacionadas a perda de sinal e erros de arraste nas fotografias, coleta dos pontos de controle e obtenção dos resultados na etapa de processamento dos dados a fim de gerar resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho. Estas demandas poderão inviabilizar o uso desta técnica uma vez que o custo-benefício, no que diz respeito aos prazos para entrega dos finais e os demais gastos na execução do projeto poderiam tornar a aplicação destes métodos não vantajosos para determinados órgãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] TAYLOR, D. R. F. A conceptual basis for cartography: new directions for the information era. *The Cartographic Journal*, London, v. 28, n.2, p.213-216, 1991.

[2] Amorim, A.; Malaman, S. C.; Sass, G. G. A modernização dos processos de Atualização Cadastral e as Análises Temporais. *Revista Brasileira de Cartografia*, N; 65/2, p. 375-382. 2013.

[3] AMORIM, A., SOUZA, G. H. B., SOUZA, G. G. B. DE Detecção de alterações aplicada à atualização do cadastro imobiliário. In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2007, Rio de Janeiro. SBC. Rio de Janeiro: SBC, 2007. v.1. p.1 – 12.

[4] SOUZA, G. H. B. DE; AMORIM, A.; HASEGAWA, J. K. Otimização de processos de detecção de alterações aplicados ao Cadastro Imobiliário. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de

Janeiro, V.64, n. 2, p. 149-158. 2012.

[5] AMORIM, A., Utilização de modelos estereoscópicos híbridos na atualização cartográfica. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo USP. São Carlos SP. 2000. 120p.

[6] PINTO, M. S. ; AMORIM, A. Ortorretificação de imagem QuickBird com diferentes modelos digitais de terreno: análise da qualidade geométrica. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro, V.63, Ed. Especial dos 40 Anos da SBC, p. 65-74. 2011.

[7] PAULINO, L. A.; CARNEIRO, A. F. T. Base de dados gráficos para Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC 98. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1998.

[8] VIEIRA, M. S.. Base cartográfica contínua do estado do Amapá. In: *Revista Digital Simonsen*. Rio de Janeiro, n.3, Nov. 2015. Disponível em: <www.simonsen.br/revistasimonsen> Acessado em 25 de setembro de 2018.

[9] SAMPAIO, T. V. M.; BRANDALIZE, M. C. B. *Cartografia Geral, Digital e Temática. Série Geotecnologias: teoria e prática*; v. 1 - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

[10] COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR-EB). Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV). Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). 2010.

[11] Rodrigues, D. A., & Silva, E. A. (2005) Extração de Feições em Imagens de Média e Alta Resolução. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. 1229-1236.

[12] Sluter, C. R., Camboim, S. P., Iescheck, A. L., Pereira, L. B., Castro, M. C., Yamada, M. M., & Araújo, V. S. (2018). A Proposal for Topographic Map Symbols for Large-Scale Maps of Urban Areas in Brazil. *The Cartographic Journal*, 55(4), 362-377.

[13] ROSA, F. S. Viabilidade da atualização cartográfica. Departamento de Geografia. FFLCH-USP. *Revista USP*. V.8. 1994. Universidade de São Paulo.

[14] CALDEIRA, C. R. T.; GALO, M.; IMAI, N. N.; GALO, M. DE L. B. T.; HASEGAWA, J. K.; AMORIM, A.; SHIMABUKURO, M. H.; PINTO, M. S. Detecção de mudanças de forma automática no entorno de reservatórios: estudo de caso - Canoas I. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 4, p. 1348-1377, 15 dez. 2018.

[15] TEDESCO, A. N. D. S.; ACCO, I. R. B; SOUZA, J. C.. Estudo da geometria de imagens obtidas por vant em faixa de duto, a partir de pontos de apoio GPS. Instituto Federal do Espírito Santo. Coordenadoria de Geomática. Curso Técnico em Geoprocessamento. 8p. 2013.

[16] PEGORARO, A. J.. Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/ quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Pós-Graduação em Engenharia Civil. 217p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

[17] QUARITSCH, M.; STOJANOVSKI, E.; BETTSTETTER, C.; FRIEDRICH, G.; HELLWAGNER, H.; RINNER, B. *Collaborative microdrones: Applications and Research Challenges*. Turim, Itália, 2008.

[18] LAGE, M.O.; JUNIOR, L.A.; JULIÃO, R.P.; FILHO, L.E.; HO, L.L.; SIMÕES, A.J.M.; QUINTANILHA, J.A. Modelagem de parâmetros de um VANT equipado com LIDAR em aplicações de monitoramento de linhas de transmissão de energia elétrica. *Revista Brasileira de Cartografia*, N. 69/6, p. 1101-1115, 2017.

[19] LAGE, M.O.; JUNIOR, L.A.; JULIÃO, R.P.; FILHO, L.E.; HO, L.L.; SIMÕES, A.J.M.; QUINTANILHA, J.A. Modelagem de parâmetros de um VANT equipado com LIDAR em aplicações de monitoramento de linhas de transmissão de energia elétrica. *Revista Brasileira de Cartografia*, N. 69/6, p. 1101-1115, 2017.

[20] FONSTAD, Mark A. et al. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 38, n. 4, p. 421-430, 2013.

[21] SZELISKI, R. *Computer Vision: algorithms and Applications*. London: Springer, 2010. 812 p.

[22] LOWE, D. G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features 1. Introduction. In: Proc., Corfu, Grecia. Anais... In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION. Corfu, Grecia: 1999.

[23] WESTOBY M.J., BRASINGTON J., GLASSERN.F., HAMBREY M.J., REYNOLDS J.M. 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications *Geomorphology*, 179: 300-314.

- [24] PAOLI, B. L.; TRINDADE, C. A.. Boas práticas do uso da técnica de Structure from Motion. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- [25] Plano Diretor de Desenvolvimento Físico e Ambiental da Universidade Federal da Bahia – Termo de Referência de 28 de abril de 2008. Disponível em: <https://www.ufba.br/sites/devportal.ufba.br/files/univers_nova.pdf> Acesso em janeiro de 2018. [12] F. Ekman, Mobility models for mobile ad hoc network simulations, Master's thesis, Helsinki University of Technology, May 2008.
- [26] ALMEIDA, I. C. Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 2014.
- [27] ELIAS, E. N. N.; MIRANDA, P. C. A.; CUNHA, A. A.; FERNANDES, V. O. Criação de uma Base de dados Geodésicos da Universidade Federal da Bahia (UFBA) disponível na web para auxílio em atividades de ensino e pesquisa. In: VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.
- [28] LUZ, C. C. Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANT). Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Curitiba. Programa Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 2015, Paraná. 118p.
- [29] BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. Reconstrução tridimensional de edificações utilizando dados LASER scanner aerotransportado. Boletim de Ciências Geodésicas
- [30] LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- [31] BRASIL. Decreto Lei nº 89.817 de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasil, 1984.
- [32] NOGUEIRA JR., J. B. Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica. Presidente Prudente. 2003, 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente.
- [33] MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In: Technical Congress on Surveying and Mapping. Proceedings. v. 1, 1982.