

# Aplicabilidade da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos - Estudo de caso: sistema cárstico do rio João Rodrigues

*Use of UAV technology to update cartographic databases - Case study: Karst system of João Rodrigues river*

CRISTHYANO CAVALI DA LUZ<sup>1</sup>, ALZIR FELIPPE BUFFARA ANTUNES<sup>1</sup>, PHILIPPE RATTON<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR, Paraná- [crisccluz@hotmail.com](mailto:crisccluz@hotmail.com), [felipe@ufpr.br](mailto:felipe@ufpr.br), [philipe\\_ratton@hotmail.com](mailto:philipe_ratton@hotmail.com)

## Resumo

O desenvolvimento de plataformas e sensores para a aquisição de informação espacial, com vistas à elaboração de produtos cartográficos, fotointerpretação e atualização de bases cadastrais, teve um grande avanço a partir do século XXI, através de modernas etapas de processamento digital entre as fotografias aéreas adquiridas com câmeras digitais. Este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia capaz de gerar ortofoto a partir de dados brutos oriundos de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Em outras palavras, buscou-se avaliar a aplicabilidade da tecnologia VANT, com vistas à atualização de mapas temáticos. A metodologia baseou-se na elaboração do plano de voo a ser seguido pelo VANT; a aquisição dos dados e das fotografias aéreas; o processamento das imagens, através de algoritmos computacionais de classificações de padrões e reconstrução tridimensional do terreno, através das operações de aerotriangulação, geração do Modelo Digital de Elevação e ortofoto. O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado com altura de voo média de 300 metros. As fotografias aéreas foram automaticamente obtidas com uma câmera Sony NEX-3 16Mp, com resolução espacial no terreno de 9 cm. A ortofoto gerada possibilitou a fotointerpretação da rede de drenagem local, da caracterização geomorfológica e geológica, bem como da definição das melhores alternativas para a definição de uma diretriz rodoviária. Os resultados são promissores e mostram que os VANT's de baixo custo podem ser utilizados em mapeamentos temáticos.

Palavras-chave: Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), atualização cartográfica, mapeamento.

## Abstract

*The development of boarding sensors in Unmanned Aerial Vehicles (UAV's) for the acquisition of spatial information have been used lately in cartography- preparing cartographic products, photo interpretation and updating of databases. This work aimed to propose a methodology capable of generating orthophoto from raw data from a UAV. In other words, we sought to evaluate the applicability of UAV technology, in order to update thematic maps. The methodology of the study predicted the specific elaboration of the flight plan to be followed by the UAV; the acquisition of data and aerial photographs; processing the images through computer algorithms ratings patterns and three-dimensional reconstruction of the ground, through the operations of aerial triangulation, Digital Elevation Model and orthophoto generation. The coating was performed with aerophotogrammetric average flight height of 300 meters. Aerial photographs were automatically taken with a Sony NEX-3 16MP camera, with a spatial resolution on the ground of 9 cm. The generated orthophoto enabled the photo-interpretation of the local drainage network, the geomorphological and geological characterization and definition of the best alternatives for the definition of a road guideline. Thus, it can be concluded that the low cost UAV's can be used in thematic mapping, in order to update cartographic databases.*

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Update Cartography, Mapping

## 1. Introdução

O desenvolvimento de plataforma e sensores em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) para a aquisição de informação espacial com vistas à elaboração de produtos cartográficos teve um grande avanço a partir do século XXI, através das etapas de processamento digital das fotografias aéreas.

A representação gráfica, resultante da captação das imagens aéreas e do processamento dos dados, possui uma estrutura de dados gráficos que contribui sobremaneira na atualização de bases de dados cartográficas, no que tange as modificações decorrentes do processo natural do uso do solo, e que poderão compor um Sistema de Informação ou servir de fonte de informação às organizações de planejamento territorial.

Portanto, têm-se contabilizados esforços em prol da investigação quanto à viabilidade de um VANT, tanto para a tomada das fotografias aéreas como no processamento digital dos dados obtidos, os quais objetivam essencialmente a produção e atualização de bases cartográficas em grandes escalas.

## 2. Objetivos

Pretende-se discutir a viabilidade operacional e os produtos gerados com a tecnologia VANT, através da proposição de uma adequada metodologia de geração de produtos cartográficos a partir dos dados brutos adquiridos por um voo autônomo. Na sequência, visando a atualização de mapas temáticos de uma porção cárstica rural do município de São Desidério/BA, avalia-se a qualidade geométrica e temática dos produtos gerados.

## 3. Área de estudo

A área de estudo compreende, aproximadamente, 3.924.000 m<sup>2</sup> (3,924 km<sup>2</sup>) de uma região rural no município de São Desidério, localizado na mesorregião do extremo Oeste Baiano (Figura 1), cuja a base de dados cartográficos encontra-se defasada temporalmente e tematicamente.

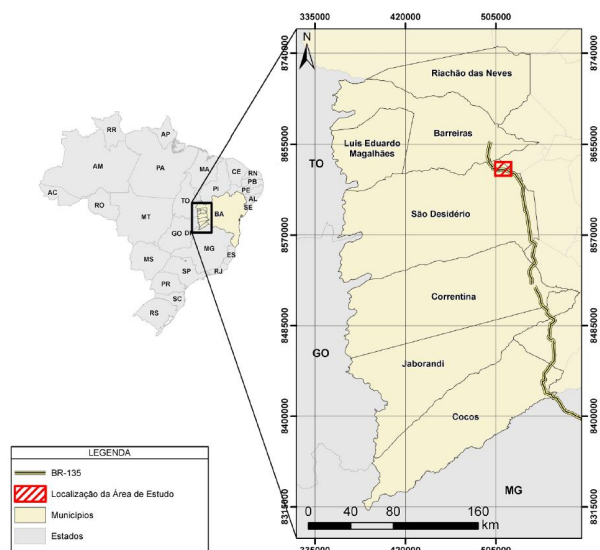


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Neste contexto, procurou-se evidenciar a área de estudo através de uma região rural, caracterizada por cavidades subterrâneas (cavernas), grandes extensões de calcário e com intenso processo de dolinamento, através do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues (SCJR), a fim de possibilitar a identificação e caracterização de tais feições pelo processamento das imagens.

## 4. Definição de VANT

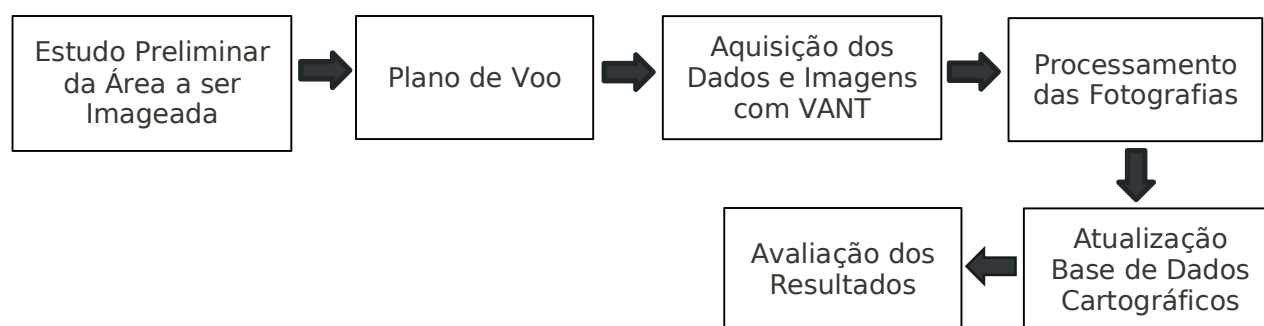
A definição para os VANT's vem sendo atualizada constantemente em paralelo com sua normatização perante os órgãos oficiais reguladores. De acordo com a Instrução Suplementar (IS) Nº 21/2012 - Revisão A (ANAC, 2012), a tecnologia VANT é composta por uma aeronave, projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos, e pelos seus componentes associados, tornando-se, dessa forma, um Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado (SISVANT). Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos. A principal característica do SISVANT é a possibilidade de embarcar sensores (e.g.: câmera fotográfica digital) e equipamentos (e.g.: receptores GNSS - Global Navigation Satellite System), e, com isso, extrair as informações espaciais de interesse.

As plataformas de obtenção das fotografias evoluíram desde as primeiras fotos obtidas e os VANT's se apresentam como uma tecnologia capaz de proporcionar a aquisição de fotografias aéreas para mapeamentos a um custo inferior aos levantamentos fotogramétricos convencionais. Neste contexto, se corretamente obtidas, essas fotografias possuem características capazes de permitir uma fotointerpretação adequada para se extrair informações de interesse. Em contrapartida, a obtenção de fotos aéreas através de voos fotogramétricos

convencionais se tornam onerosas quando a análise temática compreende uma pequena área isolada (Cunha et al., 2009).

## 5. Metodologia

Os métodos empregados para a execução deste trabalho encontram-se descritos no organograma da Figura 2. Em outubro de 2014 realizou-se uma campanha de campo para a aquisição dos dados, entre os Km 218 e Km 221 da rodovia federal BR-135/BA, no Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues em São Desidério/BA.



**Figura 2** - Organograma dos métodos empregados.

### 5.1 Estudo preliminar da área a ser imageada

O estudo preliminar delimitou a área de interesse, a altitude média do terreno e a verificação de possíveis problemas para o imageamento, tais como: obstáculos naturais (e.g.: picos e cumes), cabos elétricos, entre outros.

### 5.2 Plano de voo

Plano de voo confeccionou o traçado para o imageamento. Para tanto certificou-se das condições meteorológicas e atmosféricas no dia da missão, visto que o principal fator para a boa tomada das fotografias é executar as missões em dias de sol e sem vento, evitando-se, por exemplo, problemas oriundos do arrasto da plataforma.

O tamanho do pixel (GSD - Ground Sample Distance) foi determinado em função da qualidade esperada para os produtos cartográficos. A altitude média de voo foi estabelecida em 300 metros. Para calcular o GSD se considerou os seguintes elementos: o tamanho do pixel, a distância focal da

câmera e altura de voo. De acordo com Santos (2014), a distância focal da câmera é a distância entre o sensor e o centro óptico da câmera e a altura de voo é a distância entre o sensor e a superfície física da Terra. Assim, para encontrar o valor do GSD multiplica-se a altura média de voo pelo tamanho físico do pixel no CCD e divide pela distância focal da câmera.

O tamanho do pixel foi estabelecido pela razão entre as dimensões físicas do CCD (em mm) e o número total de colunas e linhas do sensor embarcado. Para o presente estudo utilizou-se uma câmera digital convencional de 16 Megapixel e distância focal de 16mm. Com tais características determinou-se a dimensão de um pixel em 0,00477mm<sup>2</sup>. Aplicando-se, então, os parâmetros determinados na equação obteve-se o valor do GSD igual a 9 cm. Foram definidas, ainda, 10 faixas de voo (60 fotografias por faixa, em média), com comprimento aproximado de 2.000 metros e 218 metros de largura cada, contemplando-se, assim, toda a área de estudo.

### 5.3 Aquisição dos dados e imagens através do VANT

Para a obtenção das fotografias foi utilizado um VANT estruturalmente fabricado em fibra de carbono e polipropileno, embarcado com uma câmera digital convencional e um piloto automático com sistema GNSS e inercial (INS) integrados, possibilitando a execução de voos autônomos. As principais características do SISVANT são apresentadas na Tabela 1. A precisão nominal dos sensores é na ordem de 10 metros para o sistema GNSS e 1º para o INS, fornecendo, respectivamente, os parâmetros de posição e orientação da plataforma no instante de tomada de cada fotografia.

**Tabela 1** - Características do VANT.

<b>Envergadura</b>	2,60 metros
<b>Dimensões</b>	260 cm x 80 cm x 15 cm
<b>Área de asa</b>	4000 cm <sup>2</sup>
<b>Velocidade de cruzeiro</b>	85 km/h
<b>Altitude máxima de voo</b>	1000 metros = 1 km
<b>Peso</b>	6 quilos
<b>Autonomia</b>	60 minutos = 03 Baterias Lithium
<b>Vento</b>	Resistência de até 80 km/h

### 5.4 Processamento das fotografias

O processamento dos dados seguiu o organograma apresentado na Figura 3. Todas as etapas remetem-se à metodologias clássicas associadas com a fotogrametria digital convencional, adaptando-se à computação gráfica por meio de um software

aerofotogramétrico específico para plataformas autônomas.

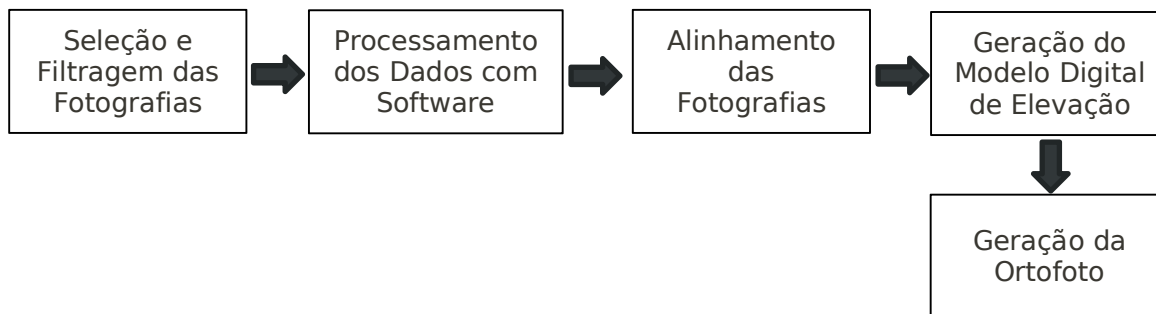
#### 5.4.1 Seleção e filtragem das fotografias

Com a seleção das fotografias se reduziu possíveis erros de processamento, ocasionados pelo excesso de dados decorrentes da alta taxa de sobreposição longitudinal do voo. A filtragem foi realizada manualmente para eliminar fotografias com problemas decorrentes da inclinação da plataforma; da sua variação de altitude entre tomadas consecutivas (escala); e da deriva da mesma provocada pelo vento (arrasto).

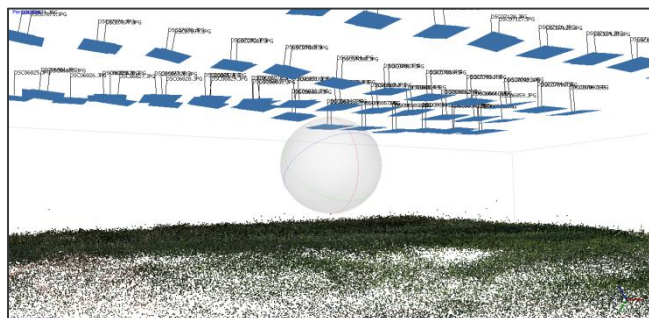
#### 5.4.2 Processamento dos dados

Para o processamento dos dados foram utilizados algoritmos computacionais de classificações de padrões e reconstrução tridimensional do terreno, oriundos do software Agisoft PhotoScan Professional Edition Version 1.0.4, ano de 2014.

As fotografias individuais foram adicionadas no software e seu alinhamento se deu através do algoritmo que identifica os pontos homólogos (matching points) entre elas (Figura 4). Foram utilizados 12 pontos de apoio no processamento, cujas coordenadas geodésicas planialtimétricas foram obtidas por rastreamento GNSS. O algoritmo caracteriza os padrões por propriedades comuns entre as fotografias, confirmando-as mediante às principais características, ou seja, os padrões pertencentes a uma mesma classe possuem propriedades comuns de discriminação da classe. Desta forma, quando um padrão desconhecido é observado pelo sistema, suas características são extraídas e comparadas com aquelas armazenadas como discriminantes das demais classes (Castro & Prado, 2002).



**Figura 3** - Organograma do processamento dos dados oriundos do VANT.



**Figura 4** - Obtenção da nuvem de pontos homogêneos (em verde) entre as fotografias aéreas.

### 5.4.3 Geração do Modelo Digital de Elevação

A aerotriangulação foi realizada através do método dos feixes perspectivos (bundle block adjustment), permitindo que todas as imagens que compõem o espaço imagem e todos os pontos fotogramétricos contidos nestas imagens fossem aferidos em um único processo.

Com a nuvem de pontos determinada pela aerotriangulação, foi estabelecida uma grade triangular irregular (TIN - Triangulated Irregular Network). Este método de estruturação dos dados cria uma superfície a partir de pontos espaçados irregularmente.

Os triângulos que compõem a TIN conformaram-se à densidade de pontos detectados no processamento de obtenção dos pontos homólogos. Quanto maior a irregularidade do relevo, maior a densidade de pontos e, conseqüentemente, maior a densidade de triângulos da grade irregular. A triangulação de Delaunay maximizou os ângulos mínimos de cada triângulo da grade, isto é equivalente a dizer que a malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível, evitando a criação de triângulos afinados, ou seja, com ângulos internos muito agudos (Felgueiras, 2001).

A ferramenta computacional implementa a triangulação de Delaunay através de um algoritmo de passo único com restrições, ou seja, considera, primeiramente, as características topográficas da superfície da nuvem de pontos e, em seguida, o critério do círculo de Delaunay. Este critério relata que o círculo que passa pelos três vértices de cada triângulo da malha não contém, no seu interior, nenhum ponto do conjunto das

amostras além dos vértices do triângulo em questão.

Ao término desta etapa, obtêm-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, onde o software assimila as fotografias aéreas no processo de projeção perspectiva planar pela técnica de ray tracing com textura externa. Neste processo o modelo é responsável pela definição da geometria da superfície projetada enquanto que a imagem é usada como dado de textura (Felgueiras, 2001).

### 5.4.4 Geração da Ortofoto

Para a geração da ortofoto aplica-se, através do software, o algoritmo computacional que utiliza o processo direto para a transformação de uma foto original (perspectiva central do terreno) em uma projeção ortogonal sobre um plano.

Na sequência, efetua-se o processo denominado "texturização", no qual o software define na ortofoto, de acordo com a posição do pixel a ser preenchido, o valor de seu brilho associado ao pixel da fotografia original (Reiss, 2012).

Resumidamente, o processo de ortorretificação consiste nas seguintes etapas: obtenção da posição tridimensional de um ponto, utilizando o MDE; o cálculo da posição correspondente a este ponto na fotografia através das equações de colinearidade; a interpolação a fim de se obter o valor do pixel a ser levado para a ortofoto; e a transferência do valor do pixel interpolado para a posição correspondente à posição bidimensional na ortofoto (Martins, 2010).

### 5.5 Atualização da base de dados cartográficos

Com a ortofoto da área de estudo gerada, atualizou-se a base de dados cartográficos através de duas etapas: (1) fotointerpretação e (2) levantamento de campo.

A etapa de fotointerpretação foi dividida em duas sub-etapas, a saber: (a) detecção de grupos de relevância temática; e (b) reconhecimento, delineamento e classificação das feições de interesse para cada grupo detectado.

Na detecção foram selecionados três grupos específicos para atualização:

drenagem, geologia e geomorfologia. As feições de interesse de cada grupo foram identificadas e reconhecidas manualmente através dos elementos visíveis e justapostos existentes na ortofoto.

Para a drenagem foi identificada e vetorizada a hidrologia local do carste, que abrange conceitos de água superficial e subterrânea através de descontinuidades presentes nas rochas, tornando-as zonas favoráveis à percolação d'água que formam caminhos preferenciais. Na superfície, esses planos da rocha permitem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, que aproveitam as zonas de acumulação de água e a maior facilidade de penetração das raízes (Florenzano, 2008), reestabelecendo-se em zonas adensadas de vegetação.

Para a geologia e geomorfologia, realizou-se uma fotointerpretação geológica, identificando-se os sistemas de falhas que influencia diretamente o sistema cárstico da região. As curvas de nível foram elaboradas ligando os pontos com a mesma cota, conhecidos através da aerotriangulação e delineando as linhas notáveis, os vales e os espigões, seguindo o relevo do terreno. Na sequência, determinou-se as cotas cheias entre cada par de pontos, em um processo gráfico. Finalmente, unem-se os pontos de mesma cota cheia (inteira), dando a cada curva um aspecto compatível com as formas naturais do terreno.

Pode-se, também, reconhecer visualmente a distribuição espacial das dolinas (densidade, tamanho e forma) e depressões cársticas, bem como traçar as feições de abatimento, cobertas por água ou pela vegetação típica de ambiente úmido.

Algumas dúvidas que surgiram na fotointerpretação foram elucidadas através de imagens aéreas antigas. Metodologicamente, nos casos não solucionados com as imagens disponíveis foi necessário um levantamento de campo, caracterizando, assim, a segunda etapa da atualização.

Na segunda etapa, confronta-se a base de dados do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas com a investigação in loco da área para validar as feições cársticas presentes no sistema local. Foram reconhecidas, também, duas unidades

geológicas nas áreas de influência do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues, sendo elas: os arenitos do Grupo Urucua e os calcários da Formação São Desidério. Com auxílio dos rastreios GNSS determinou-se a localização exata dos afloramentos de calcário e erosões, das grutas, cavernas, dolinas, sumidouros e demais pontos de interesse. Confrontou-se, também, a hidrografia adquirida pela vetorização sobreposta à ortofoto com a identificada no caminhamento sistemático.

### **5.6 Avaliação da qualidade da atualização**

Para a averiguação do grau de qualidade do produto gerado através da metodologia supracitada, avaliou-se tanto a geometria quanto o conteúdo informativo da base de dados e seus produtos.

a) Avaliação geométrica: o controle de qualidade geométrica da ortofoto foi realizado através de 15 pontos de verificação, cujas coordenadas geodésicas foram obtidas via rastreamento GNSS. Assumiu-se, portanto, que os pontos de verificação são isentos de erros. Então, aplicou-se o que dispõe o Decreto-Lei nº 89.817 sobre o Padrão de Exatidão Cartográfica, que define a exatidão de trabalhos cartográficos, referente a análise estatística de tendência, pela distribuição t-Student (Ariza, 2002), e de exatidão, utilizando a distribuição Qui-quadrado (Merchant, 1982).

b) Avaliação temática: entende-se por classificação temática a coerência entre o que está sendo representado no documento cartográfico e o que existia no terreno no instante de tempo em que foi realizada a coleta de dados. Para tanto, verificou-se a qualidade temática do agrupamento das feições identificadas, considerando os elementos planimétricos, hidrográficos, geomorfológicos, geológicos e de vegetação.

### **6. Resultados e discussões**

O principal problema que resultou no descarte das fotografias para o processamento foi oriundo da inclinação da plataforma VANT. Desta forma, a etapa de seleção e filtragem e a utilização de pontos

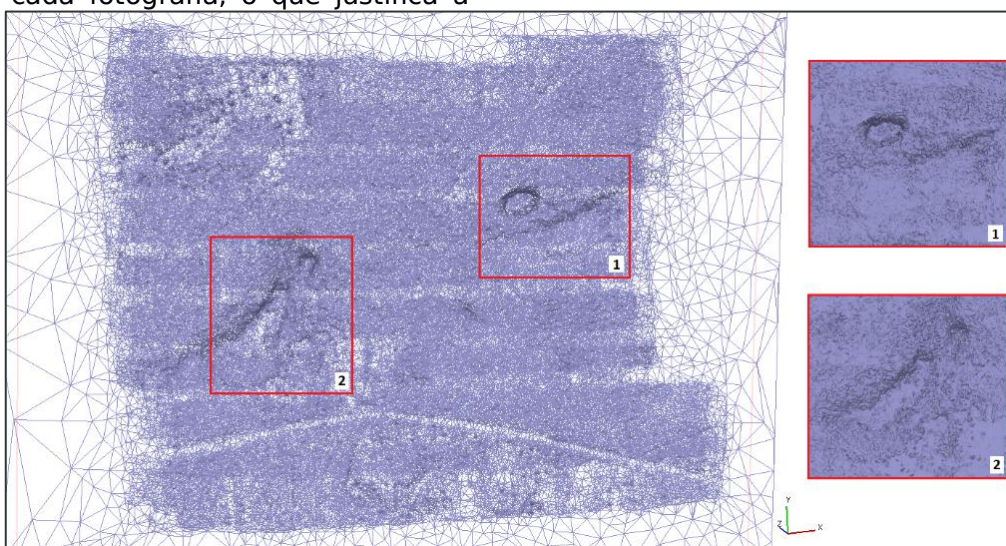
de apoio possibilitaram melhorar o desempenho e os resultados do processamento.

O processo de alinhamento das fotografias demandou extenso tempo de processamento, através da rotina computacional empregada. Como resultado, obteve-se uma densa nuvem com 1.374.392 pontos homólogos entre as fotografias. O software estimou as atitudes da câmera no instante da tomada de cada fotografia e recalculou as coordenadas do centro de perspectiva da câmera no momento de tomada das mesmas, formando um bloco único com 600 fotografias.

O plano de voo estabeleceu alto índice de sobreposição lateral e longitudinal em razão da instabilidade da plataforma no instante de tomada de cada fotografia, o que justifica a

quantidade de pontos homólogos obtidos no processamento. Esta é uma importante condição que deve ser respeitada ao se realizar mapeamento com plataformas autônomas.

A aerotriangulação, através de uma grade irregular, gerou 274.813 faces triangulares, distribuídas em 137.439 vértices (Figura 5). A rotina computacional não utiliza a malha regular no processamento por não ser adequada para representar a topografia de uma área e pela dificuldade em se representar descontinuidades naturais (divisores de água, canais, falhas geológicas e lagos) e artificiais (reservatórios, prédios e taludes de rodovias) do terreno (Santos et al., 2008).



**Figura 5** - Grade TIN (esquerda), com detalhes 1 e 2 (direita) através de malha renderizada sólida sobre o MDE. Detalhes 1 e 2: identificação das cavidades naturais do Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues através da modelagem do terreno em estudo.

Com relação a fidedignidade da representação da área de estudo, caracterizada especialmente por cavidades subterrâneas, o algoritmo de geração do MDE, através de uma TIN, se demonstrou viável para o processamento.

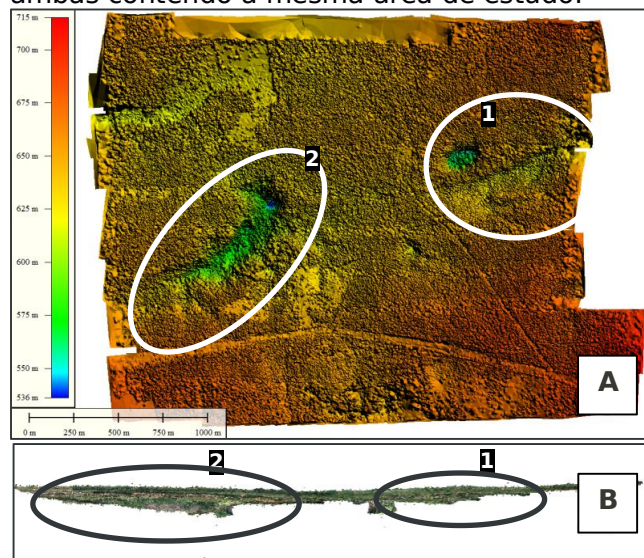
A Figura 6 ilustra uma representação bidimensional da área de estudo com os valores relativos à elevação da superfície, armazenados em escala de cores. A imagem indicada pela letra (A) apresenta a planta do terreno com renderização indicando os pontos altos e baixos, através das tonalidades de cor vermelha e verde,

respectivamente. A imagem representada com a letra (B) indica o perfil longitudinal do terreno, com os detalhes 1 e 2 comprovando a representação das feições cársticas presentes na área de estudo, verificando sua altitude através da escala de cores apresentada na planta (A) e perfil (B).

A consistência modelagem do terreno natural pode ser verificada através da obtenção de perfis longitudinais de conferência dos detalhes 1 e 2 supracitados. O software utilizado foi o Global Mapper. A Figura 7 apresenta os perfis dos detalhes

supracitados e suas respectivas variações de altitude e extensão.

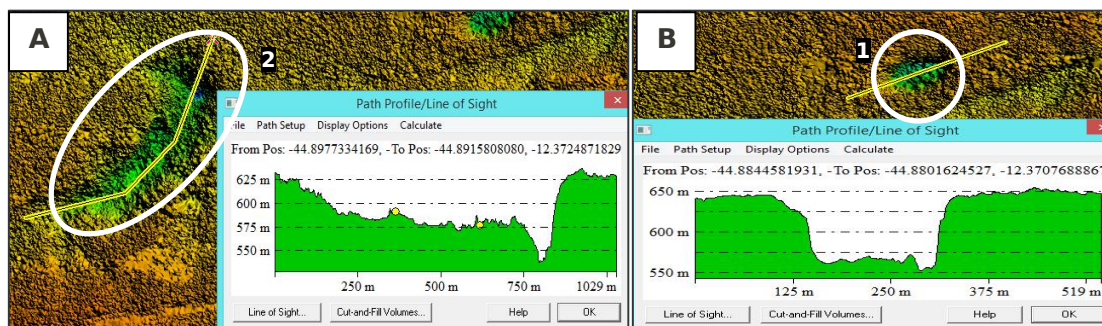
A Figura 8 apresenta uma imagem disponível do ano de 2004 (A) e a ortofoto resultante do mapeamento com VANT (B), ambas contendo a mesma área de estudo.



**Figura 6** - Representação das feições cársticas presentes na área de estudo. (A) planta; (B) perfil longitudinal.

Quanto à qualidade temática, a integração entre imagens antigas disponíveis e a ortofoto obtida permitiu identificar maior quantidade de classes aos grupos temáticos delimitados inicialmente, bem como eliminar dúvidas relacionadas à delimitação vetorial das classes, reduzindo substancialmente a informação a ser conferida através do levantamento de campo. Definiu-se, portanto, as seguintes classes de interesse ao estudo: elementos planimétricos, hidrográficos, geológicos e geomorfológicos.

A fotointerpretação identificou e possibilitou vetorizar as nascentes cársticas em forma de condutos abertos por gravidade, onde a água emerge a partir de aberturas das cavernas existentes no terreno. Como as litologias presentes na área de estudo formam um contexto geológico homogêneo, formado por calcários e fina cobertura de arenitos, foi reconhecido um sistema de falhas e diáclases com direção preferencial NE. O confronto da imagem disponível e da ortofoto obtida foi essencial para o presente resultado.



**Figura 7** - Perfil da feição cárstica presente na área de estudo. (A) detalhe 2; (B) detalhe 1.

As curvas de nível geradas coincidem com a linha de drenagem subterrânea e com o sistema de comunicação hidrogeológico. O Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues conecta-se entre si hidrogeologicamente, tal fato foi comprovado através da localização em campo das feições cársticas (sumidouro e grutas). A Figura 9 condensa o resultado nº 1 das fotointerpretações realizadas, confrontando-as com o levantamento de campo.

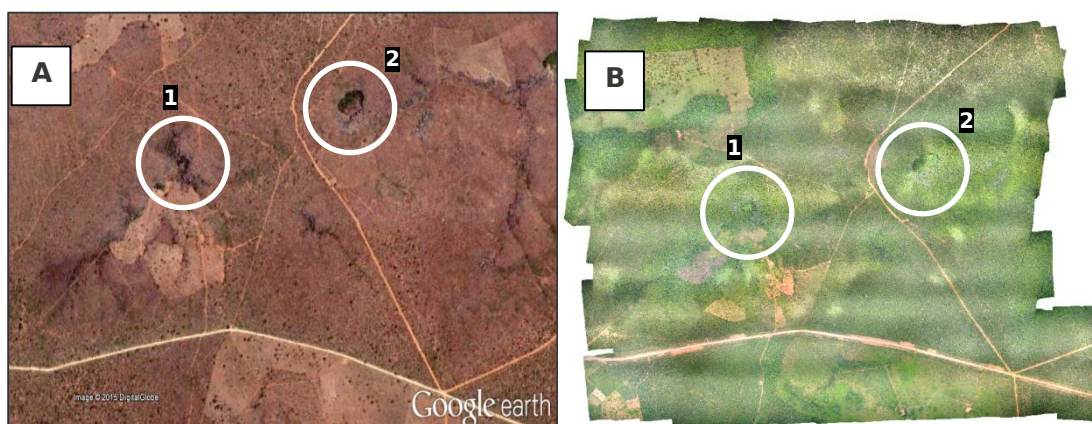
A fotointerpretação geomorfológica definiu as interações entre os diferentes componentes do meio natural, se relacionando diretamente com a geologia, pedologia e hidrografia local. Para a interpretação geológica, delimitou-se as áreas do contato geológico entre o calcário e o dolomito do Grupo Bambui (Pré-Cambriano) com o arenito conglomerado do Grupo Urucua, presentes na área de estudo. O levantamento de campo identificou feições pontuais dessas constatações, a saber:

afloramentos de calcário e erosões naturais. A Figura 10 ilustra o resultado nº 2 da fotointerpretação geológica dos afloramentos de conglomerado silicificado, considerado o contato Bambuí/Urucuia, tanto em direção ao Sumidouro João Baio, quanto na estrada vicinal ao sul e nas cabeceiras das drenagens. Trata-se, portanto, de blocos rolados ou basculados em topos de morrotes ou de resíduo da base da Formação Urucuia, assentados diretamente sobre o calcário da Fm. São Desiderio (Grupo Bambuí). Esta delimitação só foi possível após caminhamento sistemático e investigação in loco.

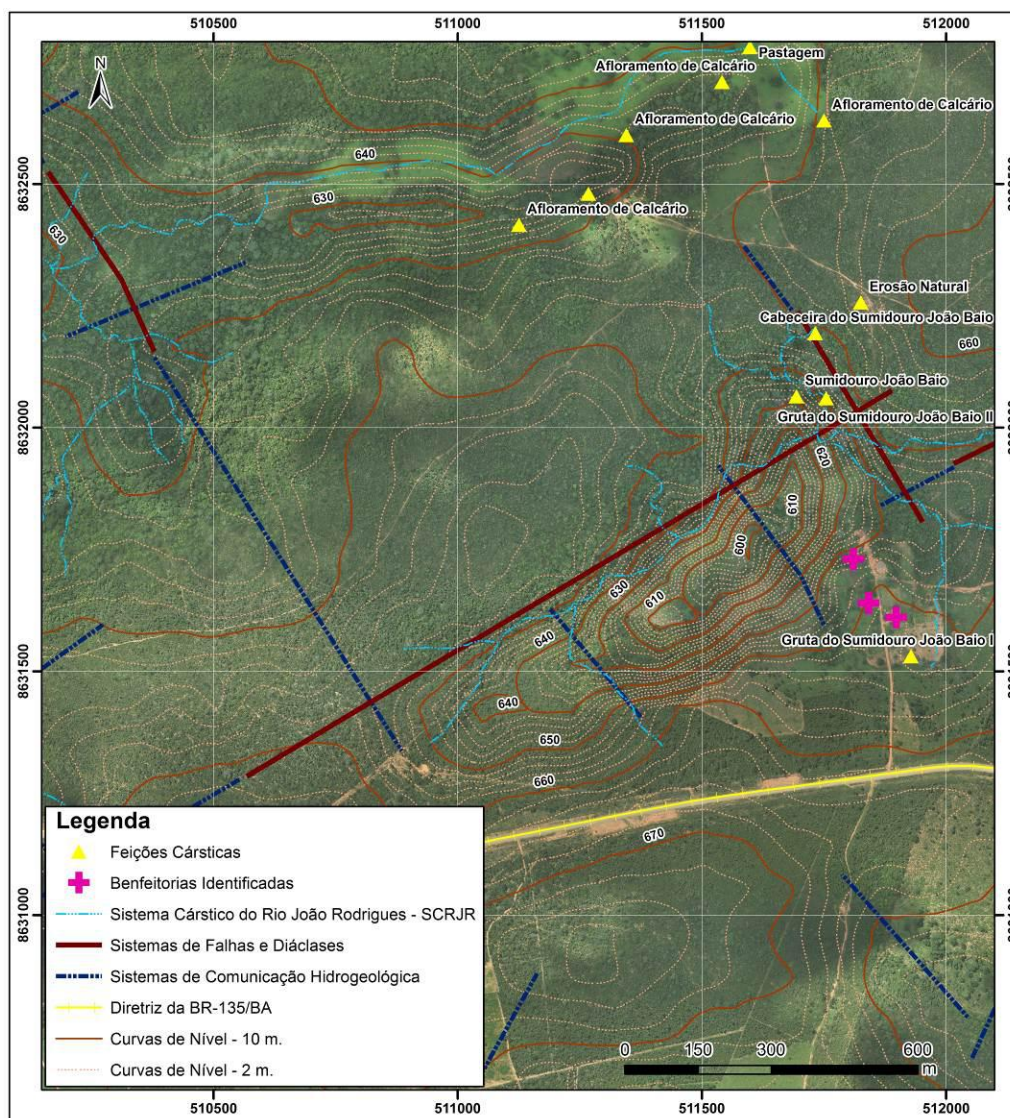
Quanto à qualidade posicional, o controle de qualidade foi realizado através de análises estatísticas de exatidão e tendência dos modelos, através das discrepâncias entre as coordenadas planialtimétricas de referência (reais) e as dos modelos, obtidas em amostra com 15 pontos de verificação localizados na área do levantamento. De posse dos dados estatísticos calculados através dos pontos de verificação coletados, realizaram-se os testes

de tendência ao nível de significância  $\alpha = 10\%$ , definido pelo Decreto-lei nº 89.817. Foi utilizado o teste t-Student com  $n = 15$  amostras e graus de liberdade = 14. Comparando-se os testes calculados com o tabelado, conclui-se que não há presença de erros sistemáticos para o nível de significância  $\alpha = 10\%$ .

Passou-se, então, a avaliação da precisão posicional utilizando o Teste Qui-quadrado. Os testes de exatidão foram realizados para escalas e classes pré-definidas, conforme a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (CONCAR, 2011) aplicados aos produtos digitais. Os resultados demonstraram que a ortofoto é acurada para a escala 1:10.000, ou seja, é precisa e não apresenta tendência planimétrica para a classe D da referida escala; e para a análise altimétrica, o MDE é acurado para a equidistância vertical de 20 metros das curvas de nível, escala 1:50.000, classe B, ou seja, é preciso e não apresenta tendência.



**Figura 8** - Comparação entre uma imagem disponível do ano de 2004 e a ortofoto obtida com o VANT. (A) setembro/2004; (B) abril/2014. Os detalhes 1 e 2 identificam as feições cársticas.



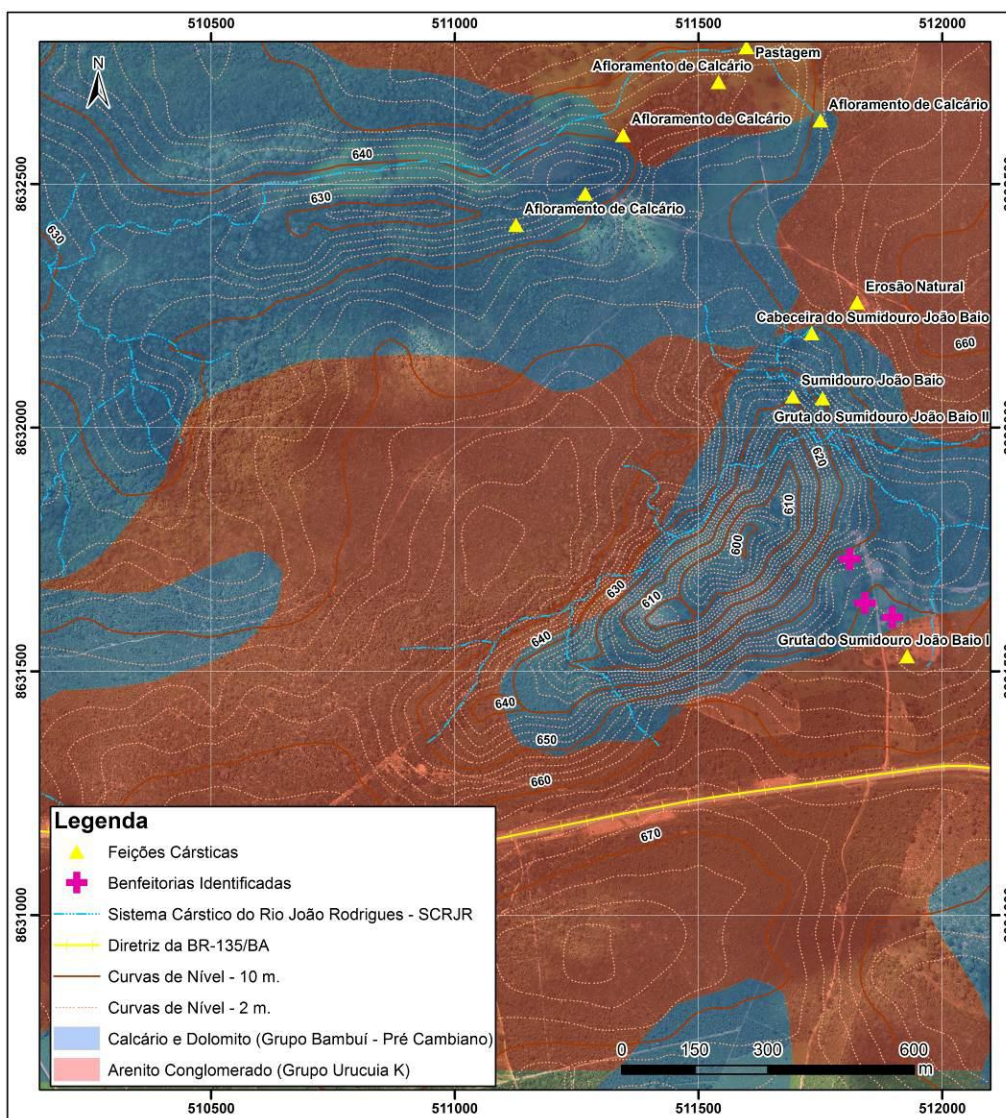
**Figura 9** - Resultado nº 1 da atualização da base de dados através de fotointerpretação e levantamento de campo.

## 7. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados e discutidos os resultados obtidos do estudo realizado sobre a aplicabilidade de um VANT para a atualização de bases cartográficas de uma porção de área rural com tamanho intermediário (aproximadamente 4 km<sup>2</sup>) através da fotointerpretação do MDE e da ortofoto gerada.

Considerando o acesso à geoinformação, sabe-se que a ocupação do solo e o uso do território se compõem de maneira dinâmica, o que de pronto modo torna os produtos

cartográficos desatualizados. Essa propagação acarretou uma imensa demanda por mais dados, com maior qualidade, atualizações frequentes e resoluções cada vez maiores (Ferreira, 2014). Quanto à qualidade geométrica da ortofoto, é acurada para a medida de feições planimétricas até a escala 1:10.000. Na altimetria, a acurácia diminui e a escala aceitável para sua utilização é de 1:50.000. Quanto ao conteúdo informativo, devido à alta resolução espacial, os elementos temáticos puderam ser bem representados pela fotointerpretação e revisados com a inspeção in loco.



**Figura 10** - Resultado nº 2 da atualização da base de dados através de fotointerpretação e levantamento de campo.

Desta forma, a utilização da tecnologia VANT para a atualização de bases cartográficas sana o problema de defasagem temporal, ao mesmo tempo que possibilita um mapeamento barato, rápido e conciso para diversas temáticas de interesse.

Sendo assim, com os resultados obtidos, conclui-se que os VANT's podem ser utilizados em mapeamentos temáticos, sobretudo quanto ao uso e cobertura da terra e atualização de bases cartográficas preexistentes.

### Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Instrução Suplementar (IS) Nº 21-021 - Revisão A. Apresentação de Dados Requeridos para Certificação Suplementar de Tipo. 2012. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/IS/2014/IS21-021A.pdf>>. Acesso em: 03/03/2015.

BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.

CASTRO, A.A. M.; PRADO, P.P.L. Algoritmos para reconhecimento de padrões. Rev. Ciênc. Exatas,

Universidade de Taubaté. Taubaté, v. 5-8, p. 129-145, 2002.

CONCAR. Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV). Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). 2011

CUNHA, R.M.P.; BULLA, L.A.S.; HARTMANN, C. Uso de imagens de pequeno formato como instrumento na elaboração e implantação de projetos costeiros. O

- sistema ADAR 1000. Porto Alegre, GRAVEL, v. 7, n. 1, p. 47-56, jul. 2009.
- FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. INPE-8081-PRE/3896. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- FERREIRA, A.M.R. Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado - VANT, para uso em aerolevantamentos. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- FLORENZANO, T.G. Geomorfologia - conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008.
- LOCH, C. A interpretação de imagens aéreas. 5. ed. rev. atual. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008.
- MARTINS, M.A.R. Geração de ortoimagens a partir de georeferenciamento direto de imagens digitais aéreas de pequeno formato com dados LIDAR. Boletim de Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, v. 17, n. 4, 2010.
- REISS, M.L.L. Fotogrametria II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.
- SANTOS, D.R. Fotogrametria I. Curso de Engenharia Cartográfica. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- SANTOS, M.S.T.; SILVA, E.B.S.; SOUZA, A.M.; TEIXEIRA, W.L.E.; SCHMIDT, A.C.P.S.; FRANCELINO, A.V.M.; SABADIA, J.A.B.; LIMA FILHO, F.P. Geração e análise estatística de modelo digital de elevação (MDE) com dados de GNSS em tempo real (GNSS/RTK). Departamento de Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rev. Estudos Geológicos, v. 18 n. 1. 2008.
- VERGARA, O.R.; CINTRA, J.P.; D'ALGE, J.C.L. Atualização cartográfica integrando técnicas de sensoriamento remoto, processamento de imagens e sistemas de informação geográfica. Instituto Nacional de Pesquisas espaciais, 2009.
- WOLF, P.R. Elements of photogrammetry with applications in GIS. 3. ed. New York: Mac Graw Hill, 2004.