



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

FERREIRA, C.F.; UAGODA, R.E.S. O uso de veículo aéreo não tripulado - VANT para construção de modelos digitais de terreno – MDT e identificação de dolinas na área da gruna da Tarimba-GO. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.52-62. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_052-062.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT PARA CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO – MDT E IDENTIFICAÇÃO DE DOLINAS NA ÁREA DA GRUNA DA TARIMBA-GO

*THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE - UAV FOR THE CONSTRUCTION OF DIGITAL
TERRAIN MODELS - DTM AND IDENTIFICATION OF DOLINES IN THE AREA OF GRUNA DA
TARIMBA-GO*

Cristiano Fernandes FERREIRA (1,2); Rogério Elias Soares UAGODA (1)

(1) Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade de Brasília.

(2) Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV/ICMBio.

Contatos: cristiano.ferreira@icmbio.gov.br; rogeriouagoda@unb.br.

Resumo

A identificação de dolinas é realizada a bastante tempo normalmente através da análise de fotografias aéreas, mapas topográficos ou trabalho de campo, o que pode representar uma tarefa bastante dispendiosa de tempo e recursos. Estudos de identificação e classificação de dolinas são realizados para subsidiar análises ambientais e evolutivas do carste. Mais recentemente observa-se o uso de modelos digitais de elevação para detecção de dolinas, mas poucos trabalhos, entretanto, se dedicaram ao mapeamento dessas feições através de dados coletados por Veículos Aéreos Não Tripulados-VANT. O objetivo deste artigo é apresentar o teste de utilização de tal tecnologia para geração de modelos digitais e comparar sua efetividade em relação a dados ALOS-PALSAR e levantamentos de campo na região da Gruna da Tarimba, uma das maiores cavernas do Brasil. Os resultados gerados mostram grande potencialidade do uso de VANT para o mapeamento de dolinas e especialmente para direcionar a prospecções. O processamento adicional prévio nos modelos digitais e o estabelecimento de pontos de controle no solo podem contribuir para a redução de resultados espúrios que elevam sobremaneira o número prováveis dolinas.

Palavras-Chave: dolina; MDT; VANT.

Abstract

Identification of dolines has usually been done through the analysis of aerial photographs, topographic map or fieldwork, which may demand a lot of time and financial resources. Studies of identification and classification of dolines are carried out to support environmental and evolutionary analyzes of karst. Recently, dolines have been detected by digital elevation models, but few studies have been devoted to mapping these features through collecting data by Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The objective of this paper is assessing the use of such technology for digital models production and to compare its effectiveness to ALOS-PALSAR data and field surveys in the region of the Gruna da Tarimba, one of the largest caves in Brazil. The results show a great potentiality of UAV for mapping dolines and especially for guide prospecting. Additionally, preprocessing digital models and establishing ground control points can contribute to the reduction of spurious results that greatly increase the number of likely dolines.

Keywords: doline; DTM; UAV.

1. INTRODUÇÃO

As dolinas são feições de estreita relação com o meio subterrâneo, possuindo funções de acúmulo, concentração e transmissão de água superficial para as zonas hidrológicas subjacentes e muitas vezes abrigam as únicas entradas para sistemas de cavernas. As dolinas de dissolução são entendidas como a manifestação topográfica de processos concentrados de fluxo e dissolução no epicarste (WILLIAMS, 1983; 2008) e por isso, o conjunto dolina/epicarste, possui grande importância morfodinâmica e ambiental. Além da dissolução,

fator preponderante, outros processos operam em conjunto para a configuração de dolinas, desde colapsos, colmatação e sufusão, bem como demais processos superficiais de remodelamento (FERREIRA; UAGODA, 2019). Em ambientes tropicais a instalação de ramos de drenagem adiciona complexidade às dolinas, com a obliteração de formas originais, normalmente circulares. Essa condição associada a dificuldades de determinação dos limites precisos das feições em campo ou mesmo gabinete (fotos aéreas, imagens, mapas topográficos) torna o mapeamento de dolinas uma

tarefa potencialmente complexa, sobretudo em grandes áreas.

Métodos tradicionais de mapeamento de dolinas, como através de fotointerpretação, identificação de contornos fechados em mapas topográficos e campo são realizados a bastante tempo (WILLIAMS, 1972; DAY, 1976; BONDESAN et al., 1992; ŠUŠTERŠIČ, 1994). Mais recentemente, com o desenvolvimento de ferramentas de geoprocessamento e com a crescente disponibilidade de bases de dados com maior resolução, aumentaram as possibilidades de identificação de depressões cársticas de forma indireta, o que pode significar menos dispêndio de tempo e recursos. Nesse sentido, Siart et al. (2009) utilizaram modelos digitais (ASTER 15m e SRTM 90m) e imagens de alta resolução (Quickbird 0,61m) para o mapeamento de depressões cársticas na ilha de Creta, enquanto Seale et al. (2008) testaram o uso de modelos a laser de alta resolução (LIDAR 2,13m) para a identificação de dolinas na Flórida, em comparação ao uso de fotos aéreas. Outros trabalhos de cunho metodológico compararam diversas técnicas e bases de dados, especialmente modelos digitais de alta resolução (LIDAR), visando o incremento e eficiência no mapeamento de dolinas (DOCTOR; YOUNG, 2013; HOFIERKA et al., 2018). No Brasil um estudo comparativo entre bases de dados tradicionais e modelos digitais de alta resolução baseados em fotos aéreas antigas (1:25.000) foi realizado por Hiruma; Ferrari (2014), no qual buscou-se identificar as depressões poligonais na região do Vale do Ribeira-SP.

Entretanto, até o momento não se observam muitos trabalhos relacionados a identificação de feições cársticas com o apoio de veículos aéreos não tripulados (VANT), sendo mais comum, especialmente no Brasil, o uso de fotointerpretação tradicional, geralmente com fotos antigas. Dentre os trabalhos em ambientes cársticos com o uso dessa tecnologia destacam-se Ramsey et al. (2014), que realizaram a identificação visual com imagens aéreas de baixa elevação (120m) na Colúmbia Britânica visando o monitoramento de distúrbios em ambientes cársticos, através do mapeamento de dolinas e epicarste em áreas de extração madeireira. No Brasil Silva et al. (2017) utilizaram ortofotos geradas por VANT em associação a modelo digital LIDAR (geradas por levantamento aéreo tradicional) para a identificação e caracterização de feições cársticas e estruturas geológicas na região dos lajedos carbonáticos do Rio Grande do Norte. Em artigo recente de Oliveira et al. (2019) observa-se a aplicação de VANT para levantamento

morfométrico de dolinas, buscando identificar padrões e orientar o planejamento costeiro na região de Algarve, Portugal, onde processos erosivos podem acentuar mecanismos de subsidência e representar risco em áreas ocupadas.

As possibilidades trazidas para as geociências com o desenvolvimento dos VANTs nos últimos anos são inúmeras, desde a viabilidade de levantamentos aerofotogramétricos de alta resolução temporal, espacial (centimétrica) e mesmo espectral (câmeras termais, NDVI, etc.), como também a possibilidade de recobrimento de áreas inacessíveis ou de alto risco. O conjunto de imagens adquiridas em sobreposição permitem a montagem de ortofotomosaicos e modelos digitais de elevação (MDE) de alta resolução por aplicativos especializados. Apesar dos problemas de autonomia (baterias) e elevação máxima de sobrevoos permitida, com conseqüente menor abrangência espacial para os modelos de VANT mais acessíveis e de fácil operação (multi-rotor, p.ex.), as imagens obtidas por essa tecnologia podem suplantam a costumeira falta de dados públicos e institucionais de áreas mais remotas do Brasil, tudo isso a custos relativamente pequenos se comparados a levantamentos aéreos tradicionais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é justamente testar o uso dessa nova ferramenta para a identificação de dolinas numa pequena porção da Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APA-NRV) nordeste de Goiás (Figura 1). Essa região carece de bases de dados compatíveis com a identificação de dolinas por meio remoto, e considerando que a APA-NRV possui uma área muito extensa (176 mil ha), boa parte carstificada, a realização de teste dessa tecnologia para possível uso auxiliar na caracterização do carste local se mostra como uma estratégia oportuna.

A área escolhida para realização do teste é uma depressão composta, poligonal, de 51,5 hectares, com a sub inclusão de diversas dolinas de ordem inferior, muitas das quais dando acesso à parte montante do sistema Gruna da Tarimba (CNC GO_394), umas das maiores cavernas do país, com 11.250m de desenvolvimento (MARTINELLI et al., 2015). O local é caracterizado por cerrado antropizado de aspecto arbustivo nas partes mais altas do relevo, onde ocorrem sedimentos inconsolidados do Grupo Urucuia (siliciclásticos). Nas partes mais baixas a vegetação se apresenta mais densa, onde afloram os calcários da formação Lagoa do Jacaré e curtos trechos subaéreos da drenagem, com surgências e sumidouros. Essa configuração permite avaliar a aplicação do uso do

VANT para detectar feições nas mais diferentes situações do restante da APA-NRV, seja com

cobertura vegetal densa ou esparsa, áreas alteradas e dolinas com tamanhos variados.

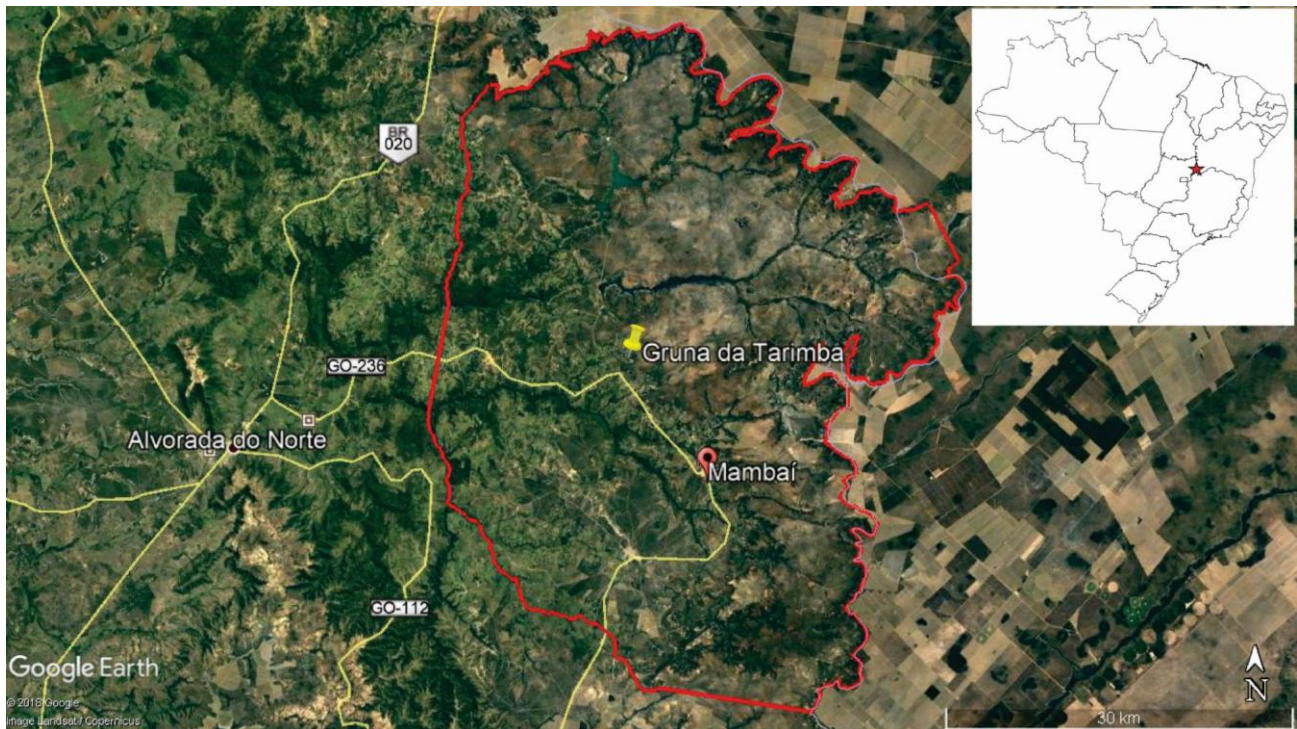


Figura 1: Localização da Gruna da Tarimba, na parte central da APAN-NRV (polígono em vermelho), nas proximidades de Mambai-GO.

2. METODOLOGIA

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado em 17 de setembro de 2018, no final do período de seca, logo após as primeiras chuvas. Para tal foi utilizado o equipamento Phantom-4 PRO, DJI e o sobrevoo foi planejado através do aplicativo Drone Deploy, ajustado para uma altura de 120 metros do solo, posição nadir, em sobreposição de 75% frontal e 65% lateral, velocidade máxima em 15m/s, e resolução máxima do sensor da câmera nativa (20 megapixel) com capacidade de atingir até 3,6cm de resolução por pixel nessa configuração. Após o levantamento, em gabinete, observou-se a aquisição total de 248 imagens que foram processadas pelo aplicativo Pix4Dmapper, com adensamento de nuvem de pontos em padrão otimizado, resultando em um ortomosaico com 5,49cm GSD (ground sample distance), equivalente à resolução espacial final (Figura 2). Por se tratar de um teste para aplicação posterior em áreas mais abrangentes na APA-NRV, nessa etapa não foram utilizados pontos controle em solo, para ajustar de forma mais precisa os produtos gerados. A partir da nuvem de pontos foi possível construir o modelo digital de superfície (MDS), que considera as elevações da vegetação e construções (Figura 3). Entretanto, como o foco deste trabalho é a

identificação de feições geomorfológicas, especificamente as dolinas, também foi gerado um modelo digital de terreno (MDT) e curvas de nível (um metro), optando-se pelas configurações padrões do aplicativo para correção e ajuste ao nível do solo (Figura 4).

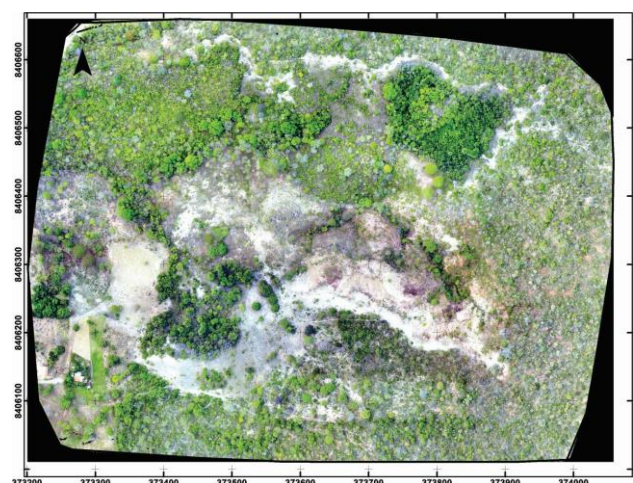


Figura 2: Ortomosaico.

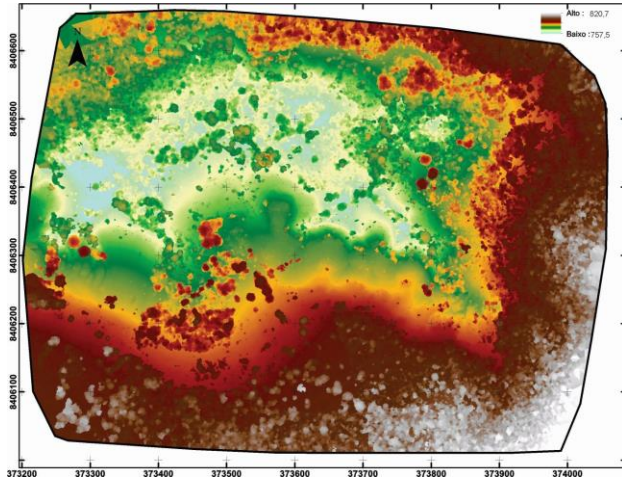


Figura 3: MDS.

Para efeito comparativo utilizou-se também de um MDT com dados ALOS-PALSAR (12,5m) obtido no serviço Vertex, ASF, NASA (Figura 5). As análises visuais dos modelos gerados foram confrontadas com imagens Google Earth, através da ferramenta superposição de imagens, o que permitiu adicionalmente a comparação com dados coletados em campo por GPS (Figuras 6 e 7) bem como a projeção da Gruna da Tarimba em superfície (Figura 8). A atividade de campo ocorreu em duas etapas, uma antes do sobrevoo e geração dos modelos (junho 2018) e outra após, já com os modelos processados (outubro 2018). Dadas as condições do terreno, ora com trechos íngremes e de difícil deslocamento, ora com mata fechada, dificultando a visualização de feições maiores ou de aspecto suave, notou-se significativa discrepância entre a identificação de dolinas no campo com e sem o auxílio dos modelos digitais. Após a elaboração dos modelos e especialmente com a ajuda das curvas de nível geradas (um metro) contabilizaram-se visualmente os polígonos fechados mais externos

(possíveis depressões) para confrontar com os dados de campo.

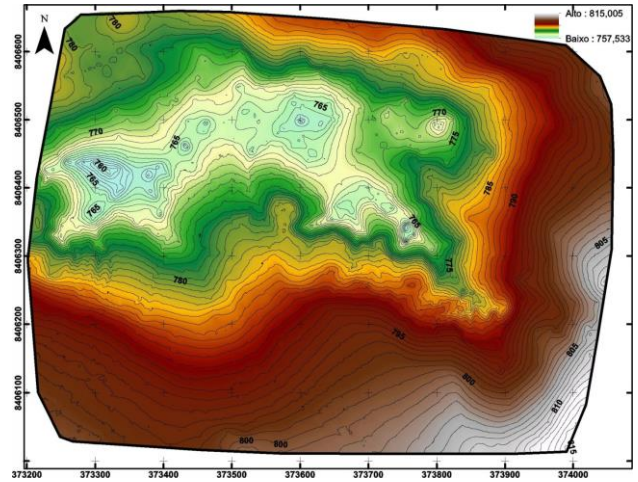


Figura 4: MDT VANT.

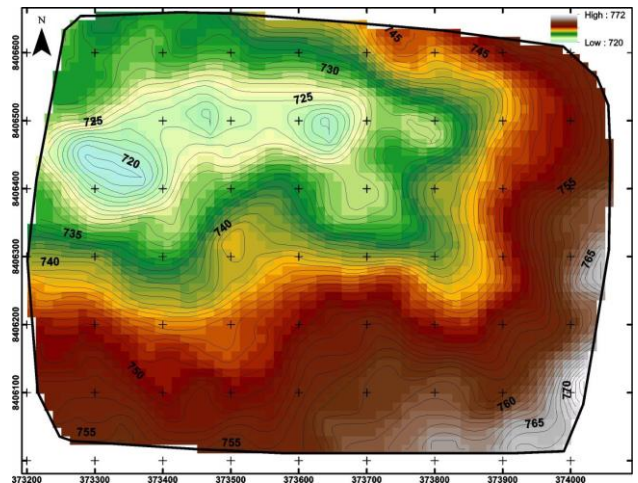


Figura 5: MDT ALOS-PALSAR.

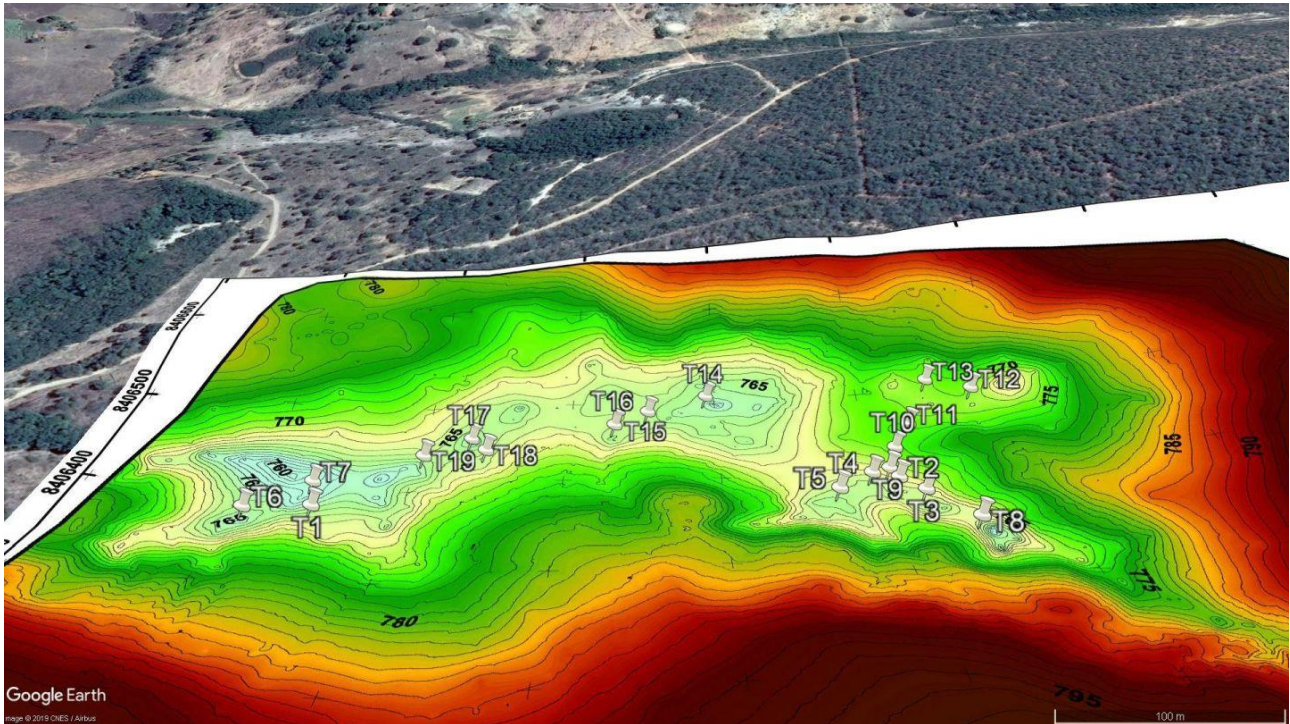


Figura 6: Dolinas identificadas em campo na sobreposição de imagens em perspectiva do Google Earth e MDT VANT.

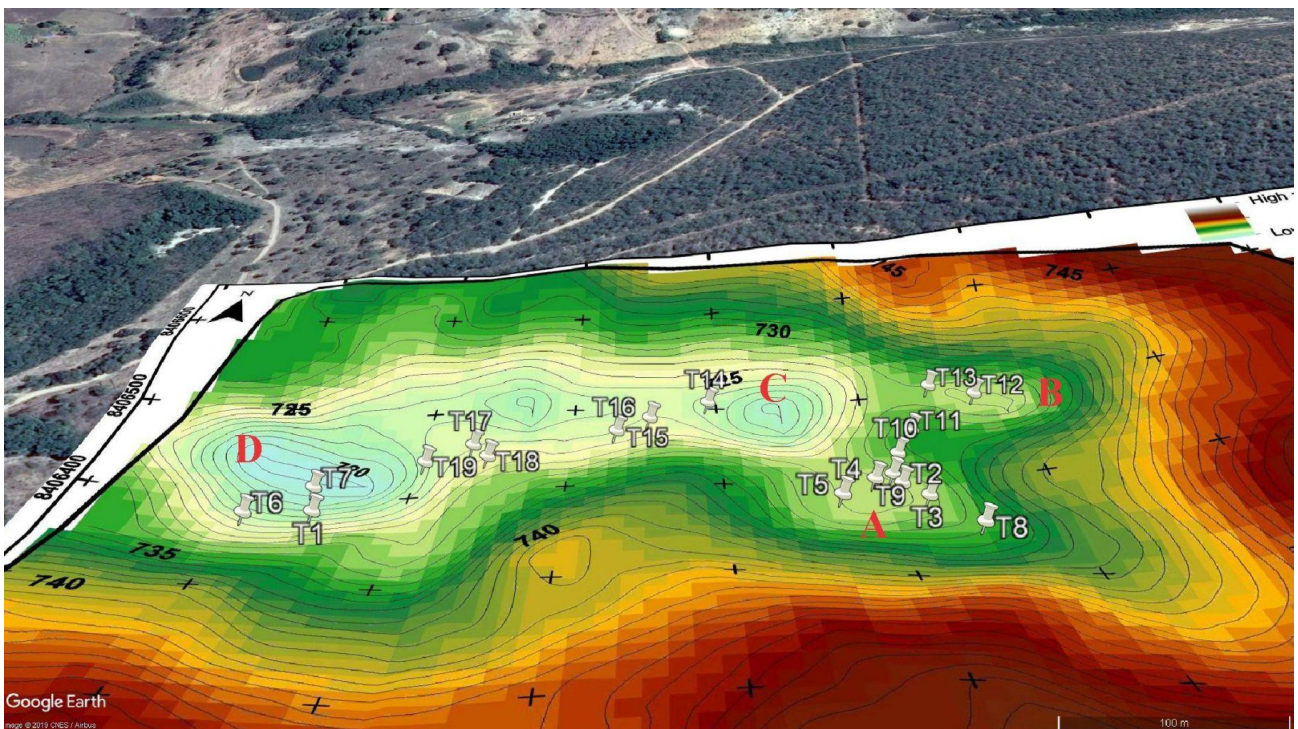


Figura 7: Dolinas identificadas em campo na sobreposição de imagens em perspectiva do Google Earth e MDT ALOS-PALSAR. Letras A-D em vermelho destacam as depressões compostas identificadas por este MDT, englobando dolinas de ordem inferior.

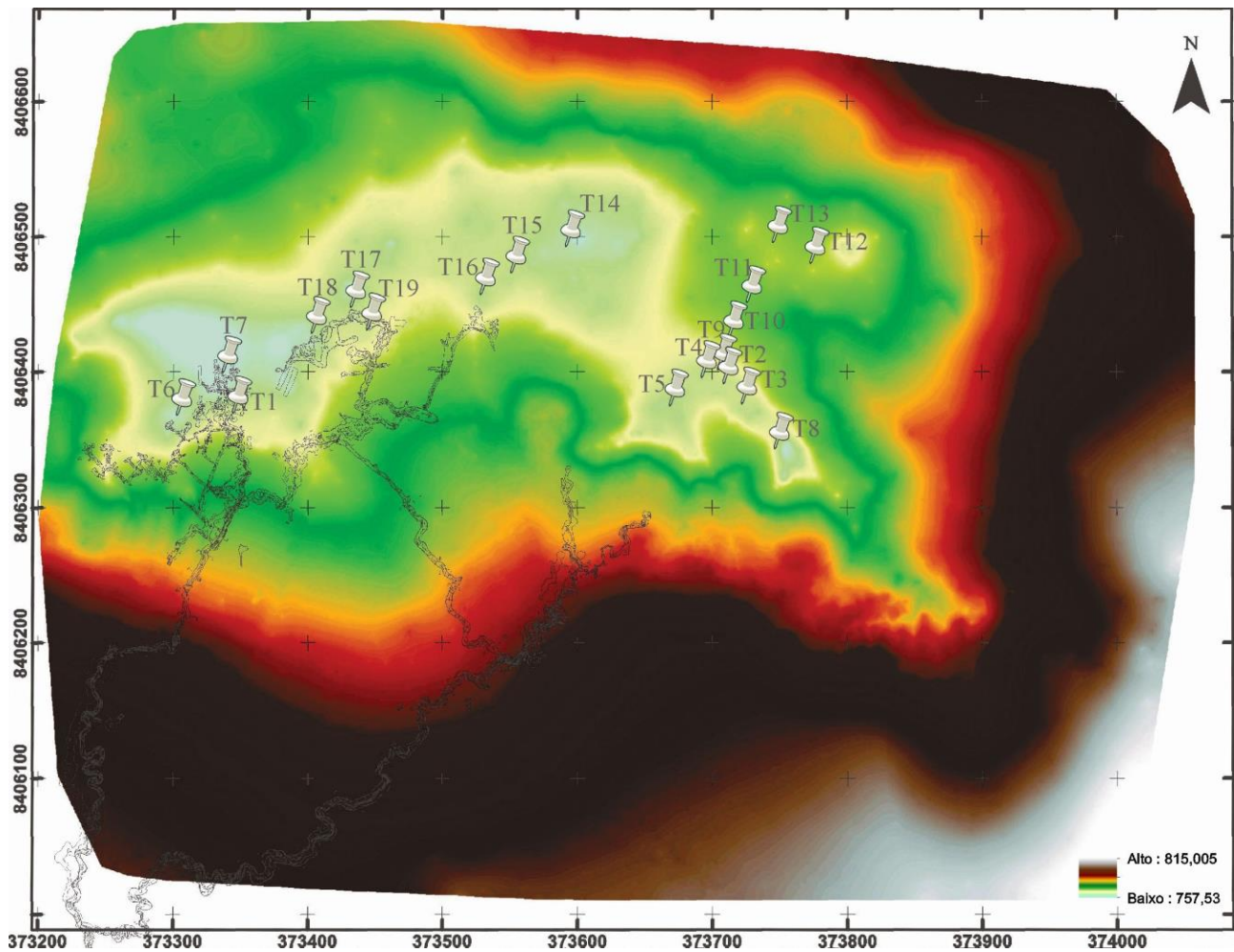


Figura 8: Localização das dolinas em relação a projeção da Gruna da Tarimba em superfície no MDT VANT. Topografia da caverna cedida gentilmente pela União Paulista de Espeleologia.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos após análise visual dos modelos gerados (especialmente em busca de curvas fechadas) e a execução das duas etapas de campo de checagem foram sistematizados para melhor compreensão (Tabela 1). No total foram identificadas 19 dolinas internas à depressão poligonal da Gruna da Tarimba, representando para esta pequena fração do carste da APA-NRV uma densidade equivalente a 37/km², índice provavelmente bastante superior ao restante da região. Na primeira etapa de campo apenas sete feições foram identificadas, sobretudo devido à dificuldade de deslocamento, visualização em áreas de mata fechada e real determinação dos limites da depressão poligonal. Após a elaboração do modelo VANT e a indicação visual de outras prováveis dolinas, procedeu-se o segundo trabalho de campo, onde buscou-se verificar pontos de checagem previamente carregados no GPS. Nesse segundo campo confirmou-se mais 12 dolinas, o que denota grande potencialidade do uso de modelos de alta

resolução VANT no planejamento de atividades de prospecção.

Tabela 1: Relação das dolinas identificadas nos dois trabalhos de campo. Coluna VANT mostra em “x” as convergências entre os dados coletados em campo e MDT, as distâncias em metros das identificadas com deslocamento até 8 metros e as não detectadas (ND). Coluna ALOS mostra as dolinas identificadas em campo convergente com as depressões compostas de maior envergadura apontadas no respectivo MDT, representadas pelas letras A, B, C e D, conforme figura 7. Na última coluna a interpretação tipológica das dolinas conforme observação de campo.

Dolina	Campo	VANT	ALOS	Tipologia
T1		ND	D	colmatada
T2		6m	A	sufusão
T3		x	A	colapso
T4	jun/18	7,3m	A	sufusão
T5		x	A	sufusão
T6		x	D	sufusão
T7		x	D	sufusão
T8	out/18	x		sufusão
T9		5,3m	A	sufusão/colapso

Dolina	Campo	VANT	ALOS	Tipologia
T10		ND		sufusão/colapso
T11		7m		sufusão/colapso
T12		5,5m	B	sufusão
T13		5,7m	B	sufusão
T14		x	C	sufusão
T15		4m		colapso/colmatada
T16		x		sufusão
T17		x		sufusão
T18		5,4m		sufusão/colapso
T19		8m		sufusão

Coluna VANT mostra em “x” as convergências entre os dados coletados em campo e MDT, as distâncias em metros das identificadas com deslocamento até 8 metros e as não detectadas (ND). Coluna ALOS mostra as dolinas identificadas em campo convergente com as depressões compostas de maior envergadura apontadas no respectivo MDT, representadas pelas letras A, B, C e D, conforme figura 7. Na última coluna a interpretação tipológica das dolinas conforme observação de campo.

A análise mais detalhada dos contornos gerados no MDT VANT permitiu identificar o nível de precisão para ressaltar dolinas, conforme observado na tabela (Tabela 2). Através do modelo foi possível identificar 17 positivos verdadeiros, sendo oito espacialmente convergentes e nove com deslocamentos de até oito metros, com formatos e dimensões compatíveis. Esses deslocamentos se devem provavelmente ao erro do GPS de campo (Garmin 60Csx) somados ao erro do GPS do aparelho VANT utilizado para sobrevoo, visto que não houve retificação via pontos controle (com RTK, p.ex.). Ressalta-se também que os pontos coletados em campo sempre foram anotados referentes ao nível mais profundo das dolinas (ponto de absorção) conforme recomendado na literatura (BONDESAN et al., 1992; FORD; WILLIAMS, 2007). Esses pontos frequentemente estão posicionados nas bordas das dolinas e não nos

centrodes apontados no modelo, implicando em possíveis maiores afastamentos. Apenas duas dolinas não foram destacadas no MDT VANT (falso negativo), tendo sido observadas cada uma num dos campos realizados. Entretanto, ao analisar detalhadamente todo o MDT gerado, identificou-se 128 polígonos fechados depressivos (curvas de nível) em tamanhos variados, não associados a dolinas (Figura 9). Essas indicações errôneas são artefatos gerados no processo de interpolação das curvas de nível e geralmente ocorrem em áreas planas ou em fundos de vale, sendo esse alto valor compatível com outros trabalhos que utilizaram MDEs de alta resolução (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; JEANPERT et al., 2016; HOFIERKA et al., 2018). A correção mais acurada do nível do solo ou a adoção de filtros prévios pode reduzir consideravelmente tais ruídos, que poderiam ser equivocadamente confundidos com dolinas verdadeiras.

Tabela 2: Acurácia dos modelos VANT e ALOS-PALSAR para identificar dolinas verdadeiras, falsos positivos e negativos. * São 17 dolinas sendo oito exatas e nove deslocadas até oito metros; ** São 11 dolinas internas às quatro depressões compostas identificadas no MDT (A, B, C, D).

Total de dolinas existentes	19	100%
MDT VANT		
positivos verdadeiros*	17	89,50%
falso positivo	128	675%
falso negativo	2	10,50%
MDT ALOS		
positivos verdadeiros**	11	57,90%
falso positivo	1	5,30%
falso negativo	8	42%

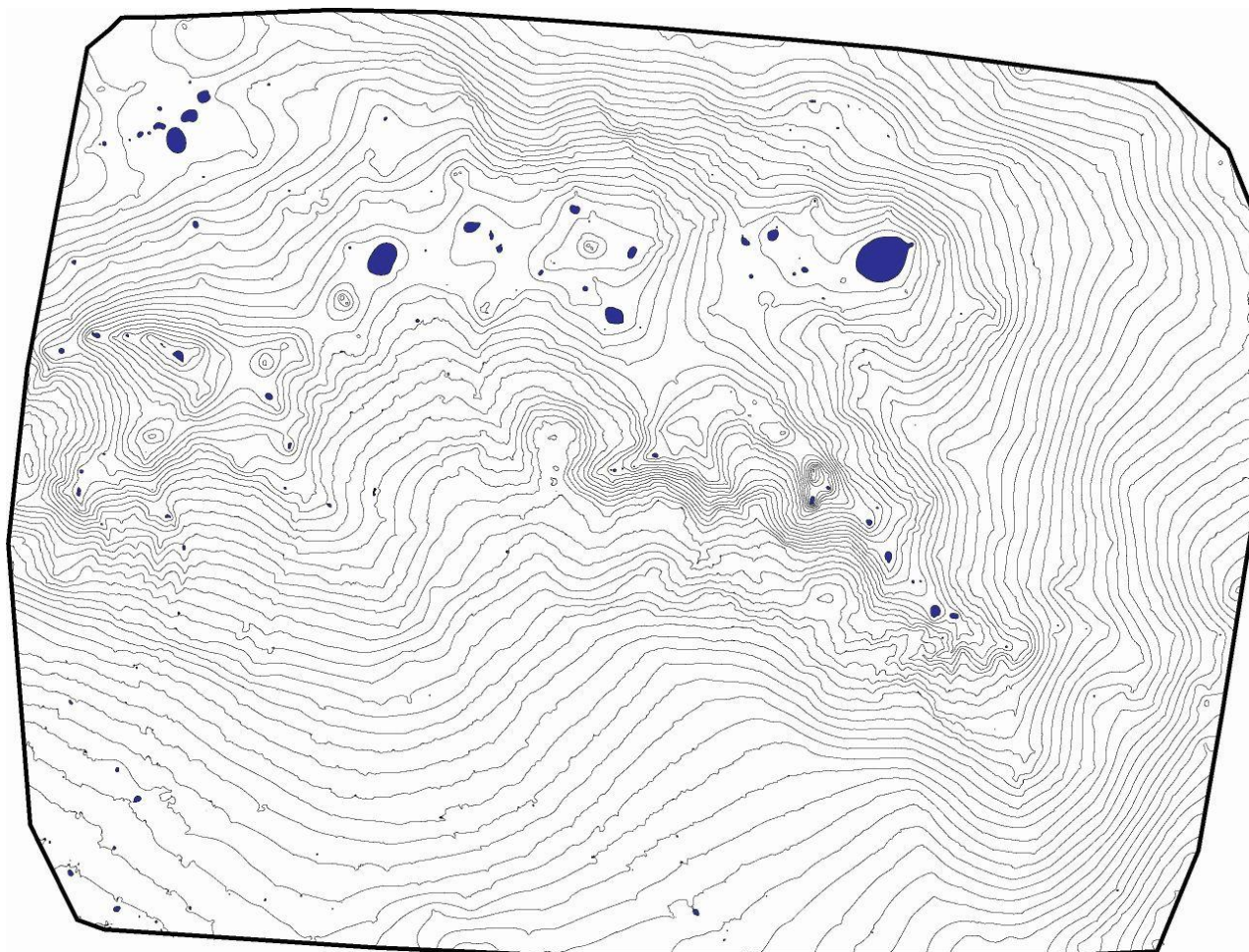


Figura 9: Círculos fechados em azul e pontos escuros de menor tamanho representam artefatos gerados no MDT VANT (128), muitos dos quais imperceptíveis nesta imagem.

A análise do MDT ALOS mostrou que esse modelo não é aplicável à detecção de pequenas dolinas, tendo identificado de forma mais abrangente apenas 4 depressões de ordem superior, que englobam pequenos grupos de dolinas (diferenciadas na Tabela 1 pelas letras A-D). Apesar de ter criado apenas um falso positivo, tal artefato é de tamanho significativo, em uma área de vale seco, sem dolinas. Esse vale seco também induziu a criação de artefatos no MDT VANT, mas de tamanhos reduzidos. No MDT ALOS Foram oito dolinas não detectadas, ou seja, não incluídas numa das quatro depressões compostas observadas. Além disso, não foi destacada uma das maiores feições isoladas da área (T8), de profundidade e diâmetro consideráveis.

Uma das propostas do mapeamento das dolinas na APA-NRV, além da importância enquanto ferramenta de gestão ambiental nessa área protegida, é a identificação das tipologias mais recorrentes e uma possível associação com processos evolutivos. Apesar da expectativa de interpretação remota da tipologia de dolinas através

de modelos ou mesmo ortofotomosaicos de precisão, observou-se que para tal classificação ainda é necessária a checagem em campo. Apenas feições de grande envergadura, como a própria depressão composta da Gruna da Tarimba como um todo (aproximadamente 700m x 500m) podem ser classificadas remotamente, no caso, como uma feição poligonal com a inserção ramos de drenagens superficiais. Das 19 dolinas internas identificadas, a maior parte remete a processos de sufusão (12), que convergem lentamente materiais clásticos para os pontos de absorção (Figura 10). Outras quatro dolinas apresentam processos de sufusão e traços remanescentes de antigos colapsos, com a exposição de bordas rochosas e alguns blocos esparsos. Por fim observou-se apenas uma dolina de colapso, em rocha exposta, uma de formato suave e fundo chato categorizada como colmatada e uma apresentando um misto das duas anteriores. Diante do exposto, verifica-se, portanto, o papel predominante dos materiais inconsolidados associados a processos de modelamento superficiais na configuração das dolinas, obviamente obliterando formatos e

mecanismos iniciais ligados a dissolução e colapso. Essa situação é convergente à grande disponibilidade de materiais inconsolidados na região (sedimentos Urucuia), disponibilidade de energia (declividade) e pluviosidade (1100mm de média anual).



Figura 10: Dolina de sufusão (T16) bastante representativa das feições que ocorrem no interior da depressão poligonal da Gruna da Tarimba. Apesar das pequenas dimensões desta dolina, ela foi identificada de forma precisa no MDT VANT, fruto da alta resolução e pouca cobertura vegetal neste ponto.

No último campo de checagem aproveitou-se também para executar um teste de topografia de duas dolinas com metodologias diferentes a fim de avaliar a possibilidade de execução da tarefa por meios tradicionais (manuais), em campo, sem o uso de ferramentas de sensoriamentos remoto. O primeiro método, com o apoio de um colaborador, se baseou no uso de balizas, trena, clinômetro e bússola (Leica Disto X) para realização de visadas, devidamente ancoradas num ponto de coordenadas conhecidas. Foi selecionada uma pequena dolina (6m diâmetro), onde foram executados oito vértices, que demandou 25 minutos de trabalho, entre visadas, anotação e croqui. A segunda dolina, bem maior e de extrema dificuldade de acesso, com paredes escarpadas em solo, foi mapeada com o uso de pontos coletados por GPS. Foram 10 vértices e um tempo total menor, de 12 minutos, apesar da maior extensão da feição ($\approx 30 \times 40\text{m}$). A despeito da maior ou menor precisão desses métodos, mais sujeitos a erros humanos ou da precisão dos instrumentos (maior erro sob dossel no GPS, p.ex.), o dispêndio de tempo para cada mapeamento de dolina, demonstra a inviabilidade dessas técnicas, especialmente em grandes populações de feições ou extensões de áreas. Além disso deve-se considerar os deslocamentos custosos pelas áreas (escarpas, morros, carrascais, etc.) ou a possibilidade de locais

inacessíveis (por risco ou proibição de proprietários).

4. CONCLUSÕES

O mapeamento de dolinas é uma estratégia importante tanto para entendimento da evolução de regiões cársticas como para conservação ambiental, visto que juntamente com o epicarste, possuem destacada função na recarga e moderação de aportes hídricos ao meio subterrâneo. O desafio reside normalmente na disponibilidade de bases de dados de alta resolução que permitam a identificação de feições que por vezes se apresentam de tamanhos diminutos na paisagem. Tendo em vista a inexistência de fotos aéreas de detalhe e atualizadas para a região da APA-NRV, bem como de outras bases mais apropriadas, o presente trabalho apresenta um teste de utilização de VANT para mapeamento de uma depressão poligonal ligada ao sistema Gruna da Tarimba. Foram gerados alguns produtos de suporte, como um ortofotomosaico, MDS e MDT com os dados do VANT e também um MDT ALSO-PALSAR. Observou-se que os dados ALOS-PALSAR não são adequados para detecção de pequenas feições, tendo permitido identificar apenas quatro depressões compostas. Já os dados do VANT, numa resolução bem superior, permitiram identificar 17 das 19 dolinas da área, numa taxa de 89,5% de acerto, dentre dolinas totalmente convergentes e até oito metros de deslocamento. Entretanto, as duas dolinas restantes, omitidas pelo modelo (falso negativo) e as 128 curvas fechadas adicionais relacionadas a depressões espúrias (falso positivo) indicam que trabalhos suplementares de pré-processamento, filtragem e checagens serão necessários para a utilização dessa metodologia em larga escala.

De uma forma geral o teste permitiu compreender que para identificação das dolinas da APA-NRV será necessário a análise de bases distintas, a depender da escala de interesse do estudo, e que trabalhos de campo para checagem e melhor descrição tipológica das feições serão imprescindíveis. Uma vez que a utilização de sensores mais apropriados para a tarefa, baseados na formação de nuvem de pontos a laser, capazes de ultrapassar o dossel e representar de forma mais adequada o nível do solo (LIDAR) não estão disponíveis a custos acessíveis, pretende-se utilizar dados gerados por VANT de baixo custo, com câmera nativa (visível) para viabilizar o projeto. Uma das possibilidades para diminuir a taxa de erros é a retificação espacial dos modelos baseados

em pontos de controle no solo e o pré-processamento buscando suavizar e filtrar os objetos falsos (dossel), aproveitando-se da disponibilidade de pontos esparsos da vegetação no cerrado local. Em próximos trabalhos poderão ser testadas metodologias, amplamente discutidas na literatura,

de extração automatizada de dolinas sob supervisão e filtros pré-estabelecidos, buscando dinamizar a tarefa.

REFERÊNCIAS

- BONDESAN, A.; MENEGHEL, M.; SAURO, U. Morphometric analysis of dolines. **International Journal of Speleology**, v. 21, p. 1–55, 1992.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GILLESPIE, A. R.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; SILVA, N. C. Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-derived digital elevation models in the Bambuí Group, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, p. 330–351, 2014.
- DAY, M. The morphology and hydrology of some Jamaican karst depressions. **Earth Surface Processes**, v. 1, p. 111–129, 1976.
- DOCTOR, D. H.; YOUNG, J. A. An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter LiDAR-derived digital elevation data. *In*: LAND, L.; DOCTOR, D. H.; STEPHENSON, J. B. (Orgs.). **Sinkholes and the engineering and environmental impacts of Karst: proceedings of the thirteenth multidisciplinary conference**. Carlsbad, New Mexico: National Cave and Karst Research Institute, 2013, p. 449–458.
- FERREIRA, C. F.; UAGODA, R. E. Tipologias do carste e classificações de dolinas: uma revisão. **Revista Caminhos de Geografia**. 2019. “No prelo”
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. Second ed. Chichester: Wiley, 2007. 562p.
- HIRUMA, S. T.; FERRARI, J. A. Análise comparativa da extração automatizada de dolinas a partir de modelos digitais de terreno. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 2, p. 1–11, 2014.
- HOFIERKA, J.; GALLAY, M.; BANDURA, P.; ŠAŠAK, J. Identification of karst sinkholes in a forested karst landscape using airborne laser scanning data and water flow analysis. **Geomorphology**, v. 308, p. 265–277, 2018.
- JEANPERT, J.; GENTHON, P.; MAURIZOT, P.; FOLIO, J.; VENDÉ-LECLERC, M.; SÉRINO, J.; JOIN, J.; ISEPPI, M. Morphology and distribution of dolines on ultramafic rocks from airborne LiDAR data: the case of southern Grande Terre in New Caledonia (SW Pacific). **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, p. 1854–1868, 2016.
- MARTINELLI, R. S.; CALVO, E. M.; LOBO, H. A. S.; GERIBELLO, R. K.; DOURADO, R. S. Exploração e mapeamento do sistema Dores - Tarimba – Pasto de Vacas (Mambáí, Goiás, Brasil). *In*: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (Orgs.). **Congresso Brasileiro de Espeleologia**. Campinas: SBE, 2015, v. 33, p. 349–354. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_349-354.pdf.
- OLIVEIRA, S.; MOURA, D.; BOSKI, T.; HORTA, J. Coastal paleokarst landforms: A morphometric approach via UAV for coastal management (Algarve, Portugal case study). **Ocean and Coastal Management**, v. 167, p. 245–261, 2019.

- RAMSEY, C. L.; GRIFFITHS, P. A.; STOKES, T. R. Multi-rotor unmanned aerial vehicles (UAVS) and high-resolution compact digital cameras: A promising new method for monitoring changes to surface karst resources. **Acta Carsologica**, v. 43, n. 2–3, p. 269–286, 2014. Seale et al. (2008)
- SIART, C.; BUBENZER, O.; EITEL, B. Geomorphology combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. **Geomorphology**, v. 112, n. 1–2, p. 106–121, 2009.
- SILVA, O. L.; BEZERRA, F. H.R.; MAIA, R. P.; CAZARIN, C. L. Karst landforms revealed at various scales using LiDAR and UAV in semi-arid Brazil: Consideration on karstification processes and methodological constraints. **Geomorphology**, v. 295, p. 611–630, 2017.
- ŠUŠTERŠIČ, F. Classic dolines of classical site. **Acta Carsologica**, v. 23, p. 123–154, 1994.
- WILLIAMS, P.W. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. **Geological Society of America Bulletin**, v. 83, n. 3, p. 761–796, 1972. DOI: 10.1130/0016-7606(1972)83
- WILLIAMS, P. W. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 61, p. 45–67, 1983.
- WILLIAMS, P. W. The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. **International Journal of Speleology**, v. 37, n. 1, p. 1–10, 2008.