



Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados em Projetos de Drenagem Urbana Use of Unmanned Aircraft Images in Urban Drainage Projects

Cristiano Niederauer da Rosa¹; Daniel Gustavo Allasia Piccilli²;
Rutinéia Tassi²; Jean Ricardo Favaretto³ & Marcelo Foletto Limberger⁴

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental 97105-900, Santa Maria, RS

³ Universidade Regional Integra do Alto Uruguai e das Missões,
Departamento de Engenharias e Ciências da Computação 98400-000, Frederico Westphalen, RS

⁴ Geotécnica Equipamentos Topográficos 90570-001, Porto Alegre, RS

E-mails: cristianonrd@gmail.com; dallasia@gmail.com;

rutineia@gmail.com; jeanfavaretto@gmail.com; engmarcelolimberger@gmail.com.

Recebido em: 05/02/2018 Aprovado em: 21/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_308_317

Resumo

Nos projetos de sistemas de drenagem existem grandes incertezas na estimativa de vazões de projeto, especialmente devido à carência de informações para caracterização da superfície do terreno (uso do solo, topografia, etc.), em função das dificuldades e altos custos para sua obtenção. Uma alternativa, para a aquisição de informações dessa natureza, consiste na utilização dos mapeamentos realizados por veículos aéreos não tripulados (VANTs), que podem produzir imagens de alta resolução espacial, da ordem de poucos centímetros. A interpretação destes dados em softwares de geoprocessamento possibilita um maior número de análises e acrescenta maior confiabilidade nas estruturas projetadas. Este trabalho avaliou a viabilidade da utilização de dados advindos de um VANT no desenvolvimento do projeto de redes de drenagem pluvial de um condomínio típico na cidade de Santa Maria – RS considerando diferentes resoluções espaciais na análise. Os resultados demonstraram que a caracterização superficial gerada pelo VANT apresentou um produto adequado para o dimensionamento dos sistemas de drenagem pluvial, justificando sua aplicação pela agilidade no mapeamento e pelo nível de detalhamento obtido nas redes de drenagem. No entanto, a resolução da imagem mostrou-se um fator determinante para a precisão da estimativa das vazões, sendo que à medida em que a resolução foi reduzida foram identificadas diferenças significativas nas vazões estimadas, indicando que resoluções com pixels maiores que 1,5m não são adequadas para análise precisa da microdrenagem urbana.

Palavras-Chave: Vazão escoada; delimitação de direção de fluxo; VANT

Abstract

In drainage systems projects there are great uncertainties in estimating flows, especially due to the lack of information to characterize the land surface (land use, topography, etc.) due to the difficulties and high costs to involved. An alternative for the acquisition of information of this nature is the use of mappings made by unmanned aerial vehicles (UAVs), that can produce high spatial resolution images of the order of a few centimetres. The interpretation of these data in GIS allows a greater number of analyses and adds greater reliability in the projected structures. This study evaluated the feasibility of the use of data from a UAV in the development of a drainage network project of a typical apartment block in the city of Santa Maria - RS, considering different spatial resolutions in the analysis. The results showed that the surface characterization generated by the UAV was suitable for the design of the drainage systems, justifying its application by the agility in the mapping and the level of detail obtained in the drainage networks. However, the resolution of the image proved to be a determinant factor for the accuracy of the flow estimation, and as the resolution was reduced, significant differences were identified in the estimated flow rates indicating the resolution limit of 1,5m pixels in microdrainage.

Keywords: Drained flow; flow direction delimitation; VANT

1 Introdução

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) representam um avanço nos setores de fotogrametria e sensoriamento remoto, pois são de fácil manuseio e pilotagem, permitem voos frequentes, em baixas altitudes, com contornos de terreno, inclusive em áreas de difícil acesso (como as favelas ou áreas com grandes níveis de poluição), facilitam a atuação no monitoramento de desastres em tempo real e permitem atingir áreas inacessíveis por terra (Nagai *et al.*, 2008; Watts *et al.*, 2012; NOAA, 2012). Esses aspectos, aliados ao baixo custo, fazem com que nenhuma outra tecnologia de mapeamento aéreo consiga superar o VANT (González-Jorge *et al.*, 2014; Yastikli *et al.*, 2013), ficando a qualidade de seus produtos dependente, quase que restritamente, da capacidade de transportar os sensores responsáveis pelo imageamento (Smith, 2015; Perry & Ryan 2011).

São encontrados na literatura diversos exemplos de suas aplicações nas mais diversas áreas como no monitoramento da caça ilegal de animais silvestres, obras de engenharia, identificação de pontos de lançamento de poluentes em bacias hidrográficas, mapeamento de risco a erosão, índices de vegetação, desenvolvimento de modelos digitais de elevação, identificação de direções preferenciais de fluxos d'água e identificação do uso e ocupação do solo (Berni *et al.*, 2009; Laliberte *et al.*, 2011; Hakala *et al.*, 2010; Laliberte & Rango, 2009; Lucieer *et al.*, 2011; Turner *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2014; WWF, 2012; Hinkley & Zajkowski, 2011; Siebert & Teizer, 2014; Almeida *et al.*, 2016).

O uso do solo e a topografia são duas das informações mais importantes, necessárias no desenvolvimento de projetos de drenagem pluvial, pois possuem grande influência na determinação da vazão. Por exemplo, uma variação de 1% no valor do parâmetro associado ao tipo e uso do solo (parâmetro CN), na estimativa de chuva efetiva pelo NRSC-SCS Curve Number (USDA/NRC, 1986) pode transformar-se numa variação de 8 a 10% na vazão de pico e no volume utilizados nos projetos de redes de drenagem, representando um aumento de 5% nos custos do projeto (Tucci *et al.*, 2003; Allasia & Villanueva, 2005).

Além de aspectos relacionados à ocupação e uso do solo, para um bom projeto de redes de

drenagem em regiões urbanizadas, especialmente as planas, há necessidade de um mapeamento detalhado da altimetria do local, disponível somente com o auxílio de uma densa nuvem de pontos coletados in situ que, se gerado por um mapeamento tradicional, seria proibitivo para a realidade brasileira (De Melo *et al.*, 2015; Díaz-Vilariño *et al.*, 2016)

Assim, os VANTs são uma alternativa para a obtenção destas informações, pois estes permitem a realização de mapeamentos da superfície com alta resolução temporal e espacial (Vidal, 2013; Vivoni *et al.*, 2014; Harriman & Muhlhause, 2013; Smith, 2015; Barreiro *et al.*, 2014; González-Jorge *et al.*, 2014). O mapeamento realizado por VANT, uma vez tratado em Sistemas de Informação Geográficas (SIG) pode fornecer, além dessas informações, Modelos Digitais de Elevação (MDE), imagens de bacias hidrográficas, mapas de declividades e direções de escoamento pixel a pixel (direções preferenciais de fluxo da água superficial).

No entanto, os produtos derivados dos VANTs também estão sujeitos a interferências de corpos hídricos e relevo acidentado que acabam por ocasionar sombreamento em alguns locais (Shaad *et al.*, 2016) obstruindo a visada do equipamento de obtenção de imagens que, pela sua vez, causa problemas críticos em aplicações hidrológicas (Esquerdo & Da Silva, 2012).

Neste contexto, o presente estudo avaliou como as imagens oriundas de VANTs, com diferentes resoluções espaciais, podem auxiliar no dimensionamento de obras de drenagem pluvial, considerando especificamente a obtenção de parâmetros relacionados às direções de fluxo e cobertura do solo. As informações obtidas foram utilizadas no dimensionamento de redes de drenagem pluvial de um conjunto habitacional localizado na zona urbana da cidade de Santa Maria, RS, Brasil.

2 Metodologia

O estudo foi realizado considerando o imageamento de um condomínio, obtido a partir de um VANT. O tratamento da imagem com diferentes resoluções permitiu determinar o coeficiente de escoamento, parâmetro utilizado no Método Racional, para estimar as vazões de projeto das redes de drenagem pluvial, assim como a definição das

redes preferenciais de fluxo. Os resultados obtidos com as imagens nas diferentes resoluções foram comparados entre si. A metodologia empregada é descrita em detalhe a seguir.

2.1 Região de Estudo

A região de estudo está situada na zona urbana da cidade de Santa Maria, RS, no bairro Diácono João Luiz Pozzobon, localizado entre as coordenadas geográficas 29°43'12" e 29°43'06" de latitude sul e 53°45'23" e 53°45'25" de longitude oeste, conforme Figura 1. Na ocasião do estudo, o conjunto habitacional estava em fase final de construção.

2.2 Mapeamento

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas através do VANT eBee da empresa Suíça Sensefly. O VANT foi equipado com uma câmera

Canon Ixus 16MP, que permitiu obter fotografias coloridas (imagens RGB) de 5309 x 4615 pixels, com uma resolução de 4 cm e com uma superposição entre imagens maior do que 60 %. As imagens obtidas durante um voo demonstrativo realizado no dia 28 de maio de 2014 foram cedidas pela empresa Geotécnica Equipamentos e Sistemas Topográficos Ltda. Na ocasião, foi programado um voo totalmente automático, a uma altitude média de 130 m, com duração de aproximadamente 30 minutos. A área mapeada foi de aproximadamente 10 km².

As imagens foram pós-processadas no laboratório da empresa, com o auxílio do software Postflight Terra 3D, no qual foi gerado um mosaico das imagens e um modelo digital de superfície (MDS), ambos com resoluções de 4 centímetros.

Entre preparação, o próprio voo e o pós-processamento das imagens, o tempo utilizado foi de aproximadamente 24 horas. Caso as imagens não houvessem sido doadas, mas obtidas de forma

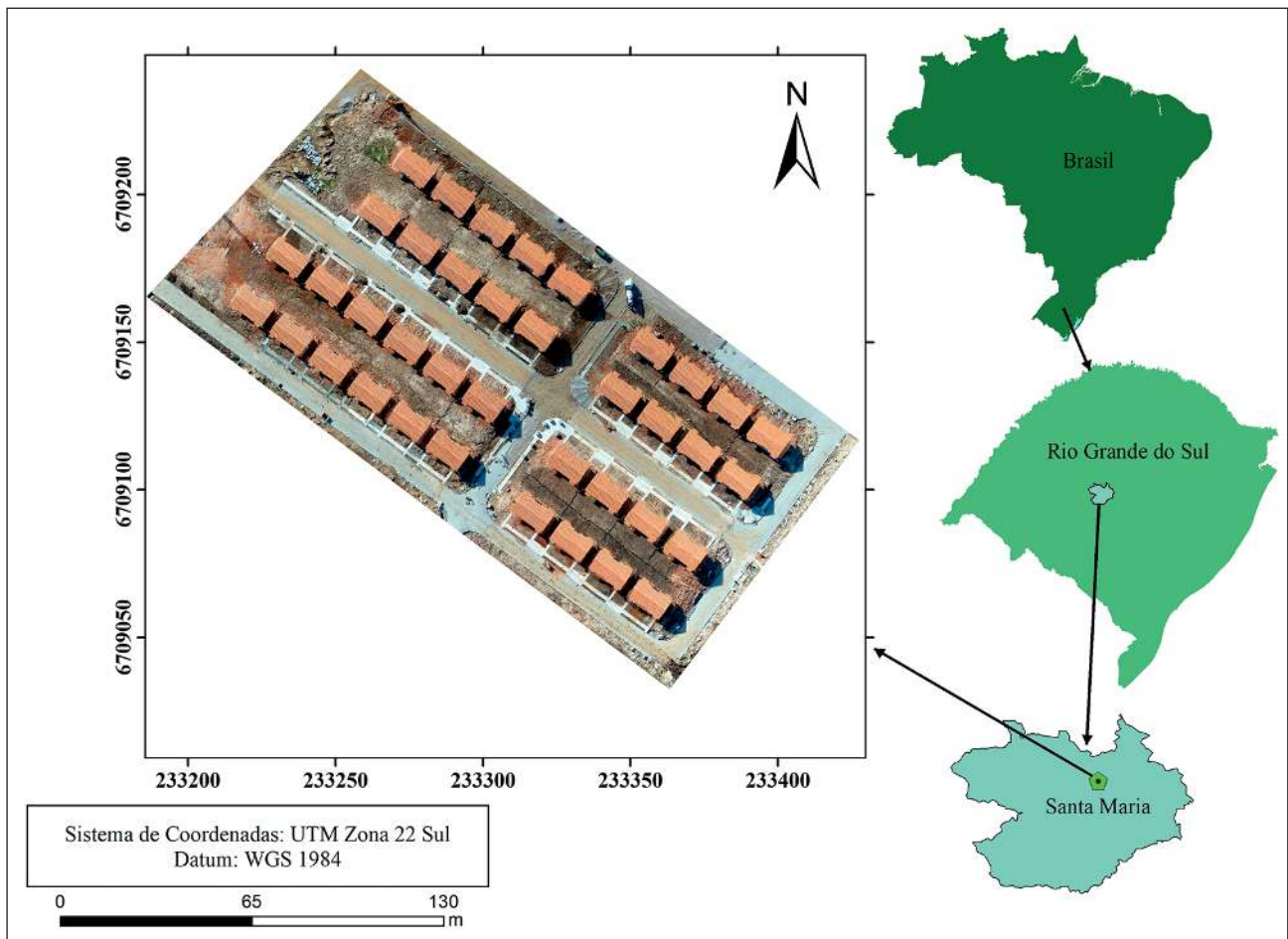


Figura 1 Localização do conjunto habitacional utilizado no estudo.

comercial, o custo médio deste tipo de serviço seria, em janeiro de 2018, na ordem de R\$ 1.000, bem abaixo do custo de um levantamento topográfico tradicional, com levantamento de pontos a partir de nivelamento com estação total ou GPS's.

2.3 Estimativa das Direções de Fluxo e Vazões no SIG

As imagens foram processadas no programa ArcGIS 10.3, com o objetivo de determinar as direções de fluxo, os coeficientes de escoamento e as vazões ao longo da rede de drenagem pluvial.

As vazões foram determinadas a partir do emprego do método racional (equação 1). Este método é o mais utilizado para a estimativa de vazões de projeto em obras de microdrenagem pluvial urbana com áreas de drenagem de até 2 km².

$$Q = 0,278 * C * I * A \quad (1)$$

sendo Q a vazão máxima ou de projeto (m³.s⁻¹); C o coeficiente de escoamento, que depende do uso da terra e tipo do solo, I a intensidade da precipitação (mm.h⁻¹) e A área de drenagem em km².

Para a determinação de C as imagens obtidas pelo VANT foram classificadas com emprego do algoritmo de Máxima Verossimilhança (Assad & Sano, 1998), considerando as seguintes classes: i) telhado; ii) rua pavimentada; iii) brita/cimento; iv) calçadas; v) solo exposto. Após a classificação das imagens, foi atribuído a cada pixel o valor do coeficiente de escoamento proposto em ASCE (1992), para cada classe de uso do solo (Tabela 1).

Na estimativa da intensidade da chuva (I) utilizou-se a equação da IDF determinada para a cidade de Santa Maria, RS (Roman *et al.*, 2015) (equação 2).

$$I = \frac{807,289 * TR^{0,1632}}{(t + 8,76)^{0,7258}} \quad (2)$$

sendo I a chuva intensa em mm.h⁻¹, TR o período de retorno do evento chuvoso em anos e t a duração da precipitação em minutos (adotado na microdrenagem como igual ao tempo de concentração da bacia).

Neste trabalho o TR adotado foi de 10 anos, que é um valor usual em drenagem urbana, e o

tempo de concentração fixado em 10 minutos, que corresponde ao mínimo exigido em projetos de microdrenagem pluvial (SUDERHSA, 2002), além de ser adequado para a área em estudo (< 1ha). Caso a área de drenagem fosse maior, o tempo de concentração deveria ser determinado para cada pixel, ao longo do processo de cálculo.

A estimativa das direções de fluxo no MDS, produzido a partir do VANT, foi realizada por meio do algoritmo D8, proposto por Jenson e Domingue (1988). Aplicações dessa metodologia são relatadas por diferentes autores (Buarque *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2003; Paz *et al.*, 2006; Paz & Collischonn, 2008; Rennó *et al.*, 2008) com resultado eficaz. O algoritmo D8 pode ser encontrado no programa ArcGIS 10.3, por meio do conjunto de ferramentas TauDEM (Tarboton e Mohammed, 2013).

A área de drenagem (A) foi determinada a partir do número de pixels a montante do ponto para o qual convergem as direções de fluxo no MDS (Mendes & Cirilo, 2013). Esse processo é automatizado por meio da rotina computacional denominada de acumulação de fluxo (ou em inglês “*flow accumulation*”) presente na maioria dos SIG's. Nessa rotina existe a opção de incluir uma imagem para ponderação do resultado (Input weight raster). Nesse caso, foi utilizado como ponderador a imagem produto da equação 1, sendo nela considerado como A, a área de cada pixel individualmente. Desta forma, cada pixel de direção de fluxo passa a conter um valor de Q, que somado ao número de pixels a montante, resulta automaticamente na vazão de pico em cada pixel.

Classe de Uso do Solo	Coefficiente de Escoamento (C)
Telhado	0,85
Rua pavimentada	0,85
Brita/cimento	0,85
Calçadas	0,80
Solo exposto	0,20
Gramado	0,10

Tabela 1 Coeficientes de Escoamento Superficial (C) em função do uso do solo. Fonte: adaptado de ASCE (1992).

2.4 Avaliação dos Resultados

Com o intuito de testar a capacidade de aplicação da metodologia acima descrita, em diferentes resoluções espaciais, o procedimento apresentado foi replicado após a reamostragem dos produtos advindos do VANT, para as resoluções de 1,00 m, 1,50 m, 2,00 m, 3,00 m e 4,00 m.

Para a avaliação da acurácia dos resultados da classificação digital das imagens do VANT nas diferentes resoluções, foi utilizado o coeficiente de concordância Kappa (Cohen, 1960; Antunes & Lingnau, 1997), cujos valores foram comparados com os propostos por Landis & Koch (1977), conforme Tabela 2.

Índice Kappa	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,02	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Tabela 2 Tabela de referência para os valores do índice Kappa. Fonte: Adaptado de Landis & Koch (1977, p. 165).

Os valores de vazão gerados a partir das diferentes resoluções, foram analisados pontualmente após a determinação de pontos de controle (PC) (Figura 2) que tiveram seus valores identificados ao longo das análises. Nestas avaliações considerou-se como valores de referências de vazão, as obtidas com os produtos de 4 cm de resolução (imagem original).

3 Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta o alto nível de detalhamento na imagem com resolução espacial de 4 cm, o que proporciona ao analista uma descrição detalhada do terreno, permitindo a identificação de alvos como: limites entre pavimento, calçadas, canteiros e quinas das casas. Esse grau de detalhamento é de grande valia na compreensão dos processos de escoamento superficial e encaminhamento do traçado das redes de drenagem pluvial. A partir desta imagem, foi realizada uma classificação manual usando técnicas de fotointerpretação, para dar origem a um mapa de uso do solo. Esse mapa foi utilizado como base para o cálculo do coeficiente Kappa dos mapas advindos da classificação automática supervisionada nas diferentes resoluções de imagem utilizadas.



Figura 2 Pontos de controle da vazão.



Figura 3 Detalhes da imagem com resolução espacial de 4 cm.

A Figura 4 apresenta os resultados do processo de classificação do uso do solo para as diferentes resoluções. A maioria das resoluções avaliadas apresentaram um coeficiente Kappa classificado como excelente, sendo a imagem de 4,00 m a única enquadrada na classe boa (Figura 4 F). Trabalhos como os de Carvalho *et al.* (2012) relatam coeficientes Kappa entre 0,83 e 0,85 em classificações de imagens de alta resolução; Lalibert *et al.*, (2011) ainda relatam que em tais imagens, valores iguais a 0,71 são considerados satisfatórios.

Os resultados deste estudo vão ao encontro dos obtidos por Cândido *et al.*, (2015) onde as imagens de alta resolução provenientes dos VANTs são consideradas eficientes no mapeamento do uso e ocupação do solo, evitando o trabalho de digitalização baseado em fotointerpretação, o que otimiza o tempo de processamento dos dados para a determinação de mapas de uso do solo.

A Figura 5 apresenta a vazão de projeto que passa em cada pixel da imagem. Na Figura 6 são apresentadas as vazões encontrados nos pontos de controle apresentados na Figura 2 para as diferentes resoluções.

Com base nesta análise, verificou-se que, à medida em que a resolução vai sendo reduzida (aumento do tamanho do pixel) até o tamanho de pixel de 1,50 m, houve um aumento nas vazões. Para a resolução de 2,00 m as vazões decrescem em comparação com o resultado obtido para 1,50 m. Para as resoluções de 3,00 m e 4,00 m não houve um padrão no comportamento, sendo que em alguns PCs a vazão aumentou (PC 2); em outros casos (PC3) a vazão aumentou (resolução 3,00 m) e reduziu (resolução 4,00 m); ou reduziu (resolução 3,00 m) e aumentou (resolução 4,00 m) (PC 1), não apresentando comportamento uniforme.

A partir da resolução de 4 cm, ocorre um aumento de até 18% nos valores de vazão obtidos

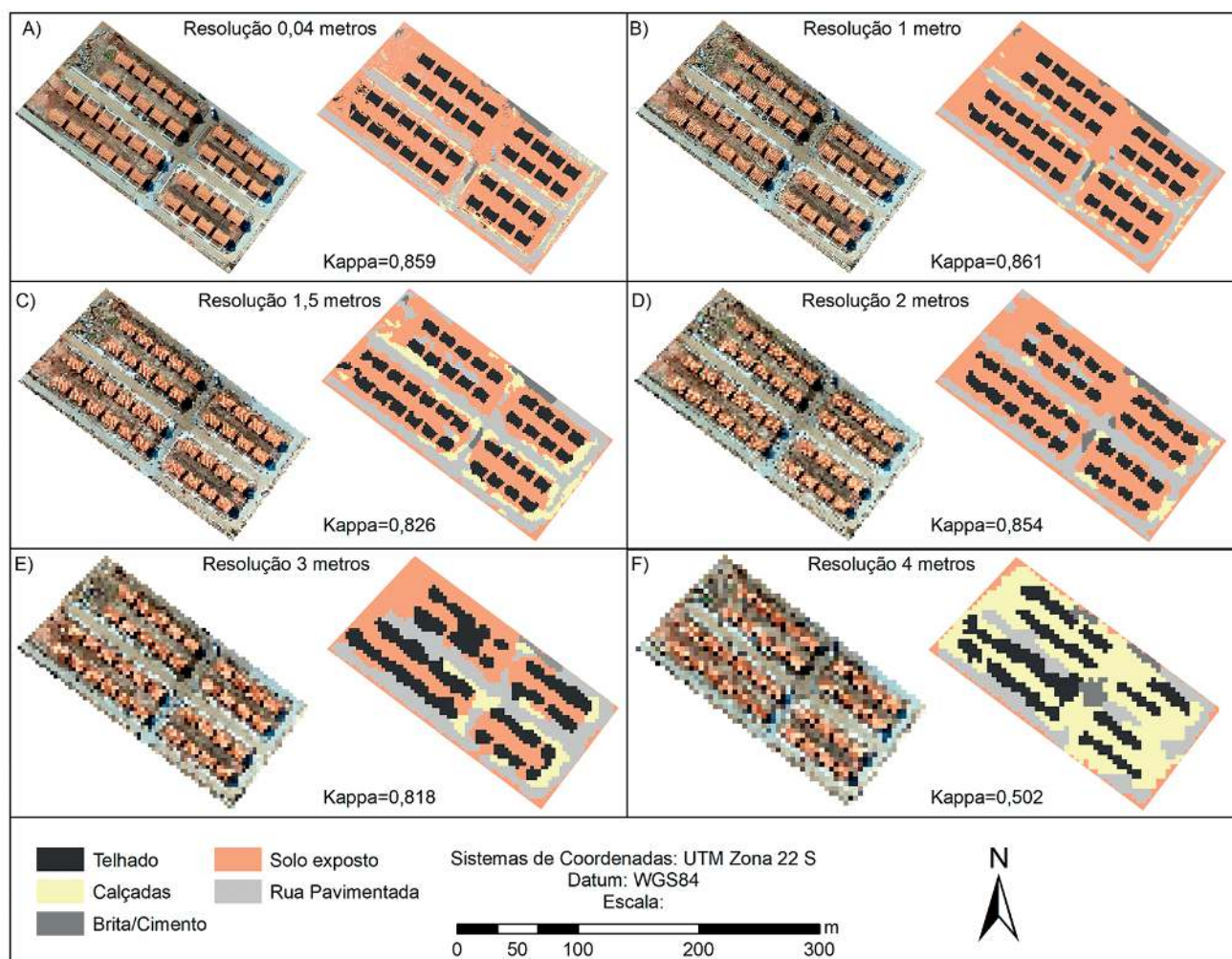


Figura 4 Classes de cobertura do solo obtidas a partir das diferentes resoluções.

com a resolução de 1,00 m, sendo que para resoluções menores, como a de 1,50 m são encontrados valores de vazão até 45 % maiores que os de referência. Para uma resolução de 3,00 m a vazão foi mais de 300% superior à vazão obtida com a resolução de referência, no PC 3; no PC 2 essa diferença foi da ordem de 100% para a resolução de 4,00 m.

Atrelada às reduções da resolução, podem ser observadas mudanças significativas nos caminhos da drenagem, a partir da imagem de 2,00 m de resolução, nas quais foram detectadas divergências na localização dos pontos exutórios da drenagem, conforme pode ser observado na Figura 5.

Assim, os resultados indicam que a imagem obtida com o VANT com resolução espacial de até 1,50 m foi adequada para a representação dos caminhos de drenagem e, também, para a determinação da vazão utilizada no dimensionamento das obras de drenagem

pluvial. Ainda, esta técnica revelou-se de baixo custo com dados de alta resolução e boa qualidade para a determinação do MDS, sem a necessidade de complementação de dados topográficos medidos in loco, corroborando com os resultados obtidos por Carollo *et al.* (2015).

4 Conclusões

A utilização da metodologia que une as ferramentas SIG aos produtos de alta resolução proporcionados pelo VANT possibilitaram a estimativa de vazões de projeto para obras de drenagem de maneira detalhada e ágil, por meio do estudo do terreno.

Os produtos gerados pelo levantamento com o VANT, mesmo sem a utilização de levantamento de campo, se mostraram eficientes para determinação

Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados em Projetos de Drenagem Urbana

Cristiano Niederauer da Rosa; Daniel Gustavo Allasia Picilli; Rutinéia Tassi; Jean Ricardo Favaretto & Marcelo Foletto Limberger

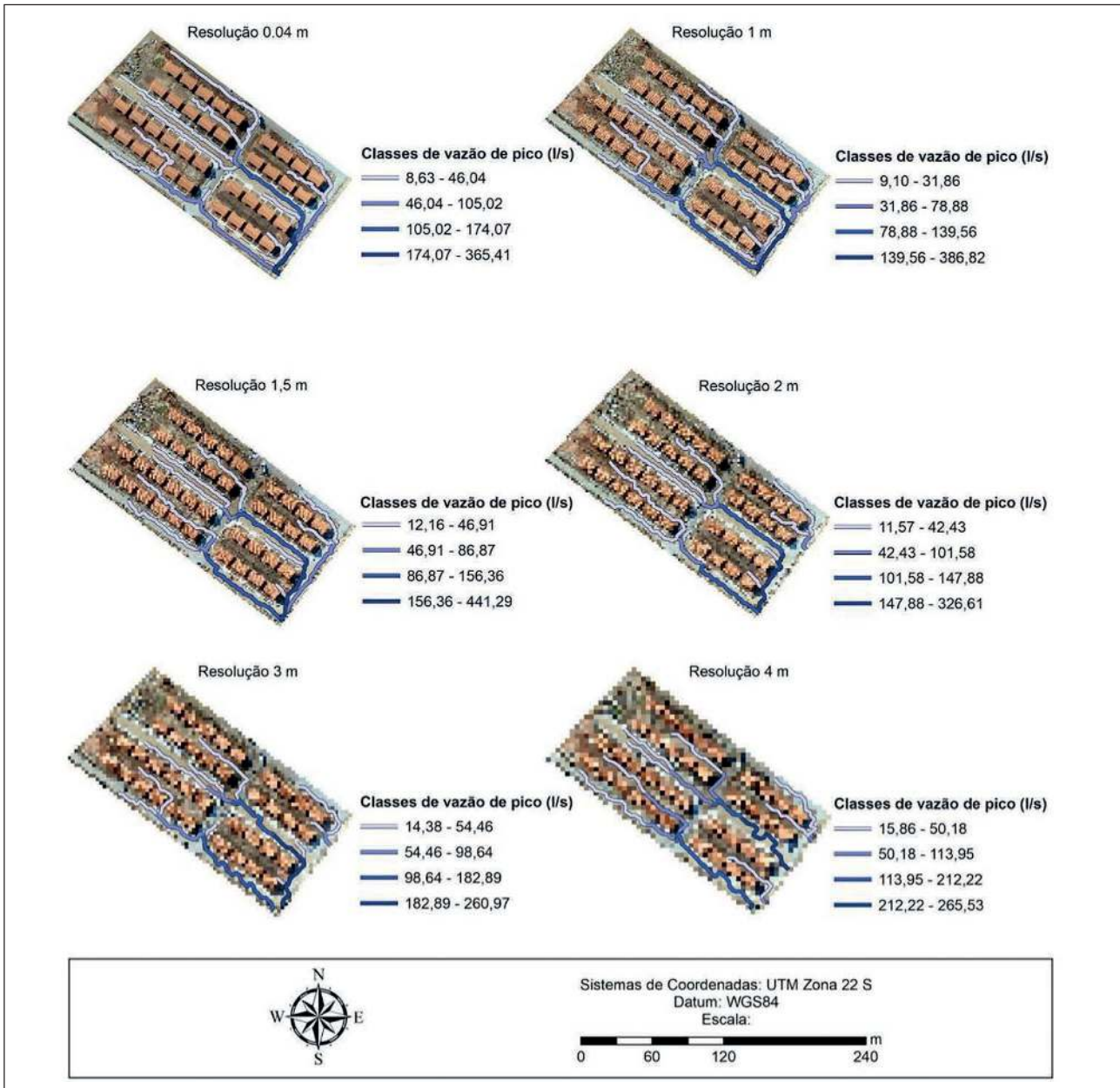


Figura 5 Redes de drenagem com vazões de pico obtidas a partir dos produtos do VANT.

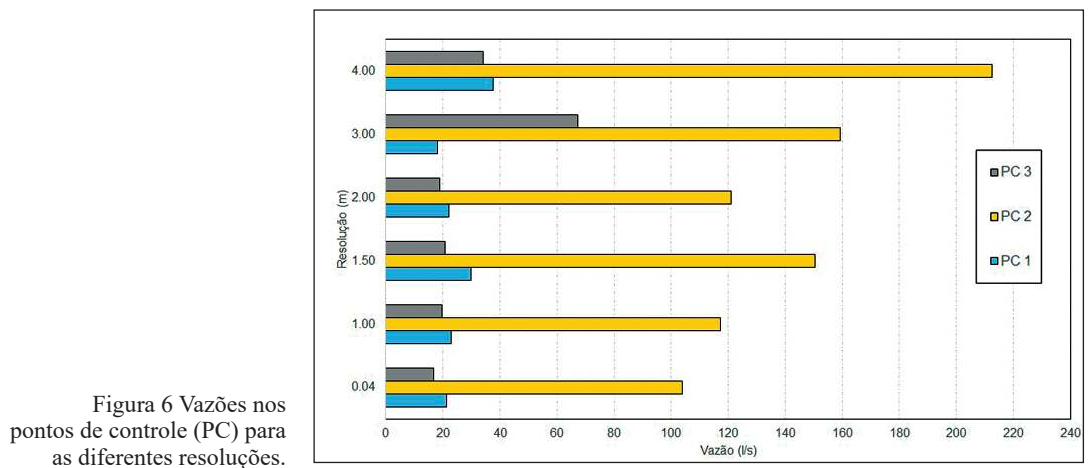


Figura 6 Vazões nos pontos de controle (PC) para as diferentes resoluções.

de parâmetros de projeto de microdrenagem, sendo capaz de otimizar a obtenção do MDS que, em termos de resolução, são superiores aos gerados pelo melhor levantamento topográfico tradicional possível. A partir das análises realizadas pôde-se obter, não apenas o encaminhamento da drenagem no terreno, mas também a vazão drenada a partir das diferentes regiões.

As análises com as diferentes resoluções indicaram que resoluções de pixels superiores a 1,50 metros podem afetar significativamente os valores das vazões estimadas na microdrenagem, com um aumento no valor da vazão de projeto de até 300%, além de comprometerem a definição de pontos de exutório. Desta forma, a resolução de pixel de 1,5m constitui um valor de referência para o desenvolvimento de estudos com imagens obtidas a partir de VANT utilizadas em projeto de redes de microdrenagem urbana.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pelo apoio através de bolsas no desenvolvimento desse trabalho a à empresa Geotécnica Equipamentos e Sistemas Topográficos Ltda pela cessão das imagens e produtos dos VANT.

6 Referências

Almeida, I.C.; Costa, G.C.; Silva, D.C. & Medeiros, J.R.B. 2016. Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOTECNOLOGIA, 6, Recife, 2016. Trabalho completo, Recife, ITEPE e UFPE. <http://files.labtopope.webnode.com/200000913-cbde3ccd7b/Almeida_VANT_4.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

Antunes, A.F.B. & Lingnau, C. 1997. Uso de índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 3, Curitiba, 1997. Trabalho Completo, Curitiba, Sagres. Disponível em <<http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/felippe/pessoal/acuraccy.pdf>>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

ASCE. 1992. Hydrology and Introduction to Water Quality. In: Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. Manuals and Reports of Engineering Practice, ASC Manuals and Reports of Engineering Practice N° 77 WEF Manual of Practice. Los Angeles, American Society of Civil Engineers, p. 63-109.

Assad, E.D. & Sano, E.E. 1998. *Sistema de informações geográficas: Aplicações na Agricultura*. 2. Ed. Brasília, Embrapa – CPAC. 434 p.

Allasia, D. & Villanueva, A.O. 2005. Custo da incerteza na macrodrenagem urbana II: Influência do erro na estimativa do CN sobre o custo de investimento da rede. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12(1): 79-90.

Barreiro, A.; Domínguez, J. M.; Crespo, A. J.; González-Jorge, H.; Roca, D. & Gómez-Gesteira, M. 2014. Integration of UAV photogrammetry and SPH modelling of fluids to study runoff on real terrains. *PLoS ONE*, 9(11): e111031.

Berni, J.A.J.; Zarco-Tejada P.J.; Suárez L.; González-Dugo V. & Fereres E. 2009. Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci*, 38(6). Disponível em <https://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/isprs-Hannover2009/Jimenez_Berni-155.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

Buarque, D. C.; Fan, F. M.; Paz, A. R. & Collischonn, W. 2009. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(2): 91-103.

Cândido, A. K. A. A., da Silva, N. M., & Paranhos Filho, A. C. 2016. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, 38(1): 147-156.

Carollo, F.G.; Di Stefano, C.; Ferro, V. & Pampalone, V. 2015. Measuring rill erosion at plot scale by a drone-based technology. *Hydrological Processes*, 29(17): 3802-3811.

Carvalho, M.V.; Kux, H.J.H. & Florenzano, T.G. 2012. Urban land cover classification with worldview-2 images using data mining and object-based image analysis. In: GEOBIA, 4, Rio de Janeiro, 2012. *Proceedings*, Trabalho completo, Rio de Janeiro, INPE, p. 431-436.

Cohen, J. 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1): 37-46.

De Melo, F.C.A.; Vieira, R.R.T.; Berberian, C.D.F.D.Q.; Dias Filho, N. & De Albuquerque, N.R.A. 2015. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. *Revista do TCU*, 133: 40-53.

Díaz-Vilariño, L.; González-Jorge, H.; Martínez-Sánchez, J.; Bueno, M. & Arias, P. 2016. Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff. *Measurement*, 85: 132-141.

Esquerdo, M.D.C.J. & Da Silva, J.S.V. 2012. Uso de geotecnologias na redefinição dos limites das sub-bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4, Bonito, 2012. Trabalho completo, Bonito, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 1033-1042, Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/70793/1/p180.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

González-Jorge, H.; Puente, I.; Roca, D.; Martínez-Sánchez, J.; Conde, B. & Arias, P. 2014. UAV photogrammetry application to the monitoring of rubble mound breakwaters. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(1): 04014194.

Harriman L. & Muhlhausen, J. 2013. A new eye in the sky: Eco-drones. Disponível em: <https://na.unep.net/geas/getUNEPPageWithArticleIDScript.php?article_id=100>. Acesso em: 13.Jul.2017

Hinkley, E.A. & Zajkowski, T. 2011. USDA forest service—NASA: unmanned aerial systems demonstrations—pushing the leading edge in fire mapping. *Geocarto International*, 26(2): 103-111.

Hakala, T.; Suomalainen, J. & Peltoniemi, J.I. 2010. Acquisition of bidirectional reflectance factor dataset using a micro unmanned aerial vehicle and a consumer camera.

- Remote Sensing*, 2(3): 819-832.
- Jenson, S.K. & Domingue, J.O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 54(11): 1593-1600.
- Laliberte, A.S.; Goforth M.A.; Steele C.M. & Rango A. 2011. Multispectral remote sensing from unmanned aircraft: Image processing workflows and applications for rangeland environments. *Remote Sensing*, 3(11): 2529-2551.
- Laliberte, A.S. & Rango, A. 2009. Texture and scale in object-based analysis of subdecimeter resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3): 761-770.
- Liu, P.; Chen, A. Y.; Huang, Y. N.; Han, J. Y.; Lai, J. S.; Kang, S. C.; Wu, T. H.; Wen, M.C. & Tsai, M. (2014). A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Struct. Syst*, 13(6): 1065-1094.
- Lucieer, A.; Robinson, S.A. & Turner, D. 2011. Unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing for hyperspatial terrain mapping of Antarctic moss beds based on structure from motion (SfM) point clouds. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 34, Sydney, 2011, *Proceedings*, Trabalho completo, Sydney, ISRSE34.
- Landis, J. & Koch, G. G. 1977. The measurements of agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(3): 159-179.
- Mendes, C.A.B. & Cirilo, J.A. 2013. *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. 2ª edição revisada e ampliada. Porto Alegre, ABRH. 535p
- Nagai, M.; Chen, T.; Ahmed, A. & Shibasaki, R. 2008. UAV Borne mapping by multi sensor integration. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1): 1215-1221.
- NOAA. 2012. NOAA Scientists Part of NASA-Led Mission to Study the Damaging Storms with Unmanned Aircraft, New Instruments. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <<http://uas.noaa.gov/news/target-hurricanes.html>>. Acesso em: 19.fev.2016
- Paz, A.R.; Collischonn, W. & Silveira, A.L.L. 2006. Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models. *Water Resources Research*, 42(8), W08502, 1-7. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005WR004544/epdf>>. Acesso em 25 de outubro de 2017.
- Paz, A.R. & Collischonn, W. 2008. Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. *Rev. Geogr. Acadêmica*, 2(2): 84-95.
- Perry, J.H. & Ryan, R.J. 2011. Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: Challenges and opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 48(1): 99-111.
- Rennó, C.D.; Nobre, A. D.; Cuartas, L.A.; Soares, J.V.; Hodnett, M.; Tomasella, J. & Waterloo, M.J. 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3469-3481.
- Roman, C.A.; Basso, R.E; Allasia, D.G. & Tassi, R. 2015. Comparação entre chuvas intensas obtidas a partir de relações IDF's e pela metodologia da relação entre durações. In: Poletto, C.; Silveira, A.L.L.; Cardoso, A.R.; Goldenfum, J.A.; Dornelles, F.; Tassi, R. & Moura, P.M. (eds.). *Águas Urbanas*. 1. ed. ABRH, p. 47-62.
- Shaad, K.; Ninsalam, Y.; Padawangi, R. & Burlandoet, P. 2016. Towards high resolution and cost-effective terrain mapping for urban hydrodynamic modelling in densely settled river-corridors. *Sustainable Cities and Society*, 20: 168-179.
- Siebert, S. & Teizer, J. 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41: 1-14.
- Smith, K.W. 2015. The Use of Drones in Environmental Management. In: WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2015: FLOODS, DROUGHTS, AND ECOSYSTEMS, Texas, 2015. *Trabalho completo*, Texas, American Society of Civil Engineers, p. 1352-1361.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. 2002. MANUAL DE DRENAGEM URBANA Região Metropolitana de Curitiba- PR. Versão 1.
- Sun, G.; Ranson, K.J.; Kharuk, V.I. & Kovacs, K. 2003. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*, 88(4): 401-411.
- Tarboton, D. G. & Mohammed, I. N. 2013. TauDEM 5.1 quick start guide to using the TauDEM ArcGIS toolbox, Utah State University (USU), United State. 38 p.
- Turner, D.; Lucieer, A. & Watson, C. 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5): 1392-1410.
- Tucci, C.E.M. 2003. Drenagem Urbana. *Ciência e cultura*, 55(4): 36-37 Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020> Acesso em: 10 jun. 2016.
- USDA/NRC. *Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55*, Technical Release 55. Washington DC, 1986.
- Vidal, A.M.F. 2013. *Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Dissertação de Mestrado, 59p.
- Vivoni, E.R.; Rango, A.; Anderson, C.A.; Pierini, N. A.; Schreiner-McGraw, A.P.; Saripalli, S. & Laliberte, A.S. 2014. Ecohydrology with unmanned aerial vehicles. *Ecosphere*, 5(10): 1-14.
- Watts, A.C.; Ambrosia, V.G. & Hinkley, E.A. 2012. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*, 4(6): 1671 – 1692.
- WWF. 2012. Google Helps WWF Stop Wildlife Crime. Disponível em: <http://worldwildlife.org/stories/google-helps-wwf-stop-wildlife-crime?utm_source=twitter.com>. Acesso em 20 maio 2016.
- Yastikli, N.; Bagci, I. & Beser, C. 2013. The processing of image data collected by light UAV systems for GIS data capture and updating. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(2): 267-270.
- Zhang, C. & Elaksher, A. 2012. An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses1. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(2): 118-129.