

AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE RPA QUADRIRROTOR PARA LEVANTAMENTO DE ÁREAS DE REMENDOS EM PAVIMENTOS URBANOS

Paulo de Souza Lima Neto
Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

O emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como ferramenta para obtenção de imagens fotogramétricas é uma realidade no contexto da Engenharia de Transportes. Dessa maneira, o objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial de um RPA quadrirrotor para identificar defeitos do tipo remendo em pavimentos urbanos, mensurando suas áreas em quatro alturas de voo distintas sem a utilização de pontos de controle e comparando com medidas efetuadas *in loco*. Utilizou-se *software* de processamento de imagens para a geração dos ortomosaicos de uma via da cidade de Fortaleza/CE. Assim, possibilitou-se o cálculo dos erros percentuais obtendo resultados de erro mínimo de mensuração de área de 1,06% e máximo de 7,18%. Concluiu-se que as diferentes alturas de voo interferem no fotolevantamento dos defeitos de pavimentos urbanos, além de ser possível perceber que o tamanho do defeito influencia na porcentagem de erro da mensuração.

ABSTRACT

The use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) as a tool to obtain photogrammetric images is a reality in the context of Transport Engineering. In this way, the objective of this research is to evaluate the potential of a RPA to identify patch-like defects in urban pavements, measuring its areas at four distinct flight heights without the use of control points and comparing with measures performed *in loco*. Image processing software was used for the generation of an orthomosaic of a highway from the city of Fortaleza / CE. Thus, it was possible to calculate the percentage errors, obtaining results of minimum error of measurement of area of 1.06% and maximum of 7.18%. It was concluded that the different flight heights interfere with the photogrammetric survey of the defects of urban pavements, besides it is possible to perceive that the size of the defect influences the percentage of error of the measurement.

1. INTRODUÇÃO

Uma das novas ferramentas introduzidas no mercado e que vem sendo cada vez mais aplicada em diversos campos da Engenharia são as Aeronaves Remotamente Pilotadas, em inglês, *Remotely-Piloted Aircrafts* (RPAs). Sua empregabilidade vai desde a obtenção de imagens e filmagens comerciais até técnicas da aerofotogrametria, visando o monitoramento ambiental e de tráfego, agricultura de precisão, entre outros. Estudos de Pessoa *et al.* (2017) e Komazaki *et al.* (2017) mostraram que é possível obter bons resultados tanto qualitativos, como quantitativos, aplicando estes veículos no auxílio dos levantamentos aerofotogramétricos.

Com a constante evolução das ferramentas e métodos empregados na área de pavimentação, a *Federal Highway Administration (FHWA)* desenvolveu um *Roadmap* para auxiliar na identificação do caminho que seria necessário para contemplar os desafios e as lacunas existentes na gerência de pavimentos e determinar iniciativas e prioridade de pesquisa e desenvolvimento. Castelo Branco (2016), analisando esse *Roadmap*, identificou uma lista de desafios, onde um desses é o uso de imagens aéreas para análise de defeitos em pavimentos.

O emprego das RPAs na Engenharia de Transportes ainda se encontra em um estágio inicial, existindo poucos trabalhos teóricos e práticos. A Engenharia Rodoviária é uma parte do mercado que começou há pouco tempo a utilizar RPAs como meio de obtenção de dados para projetos e construção de novas vias, para a determinação do volume de jazidas de solos para empréstimo, verificação de defeitos de pavimentos, contagem de tráfego, entre outros fins.

Como principal modo de transporte do País, as rodovias brasileiras devem estar em constante análise, sendo verificado seu estado para que os usuários possam utilizá-las de uma forma mais segura, com maior conforto e menor custo operacional. Segundo CNT (2018), o Brasil possui uma malha rodoviária de 1.720.700 km (12,4% pavimentada), representando 61% da movimentação anual de cargas e 95% da de passageiros. Além disso, 57% das rodovias analisadas apresentavam algum problema no pavimento, sinalização ou geometria.

Desta forma, os defeitos de pavimentos devem ser identificados e corrigidos de forma que não proporcionem riscos e maiores custos aos usuários. Existem alguns métodos para levantamento de defeitos de pavimentos como: avaliação objetiva da superfície, levantamento visual contínuo, avaliação subjetiva da superfície, entre outros. Todavia, a maioria desses ou demandam bastante tempo e custo ou são bastante subjetivos existindo uma certa imprecisão nos seus levantamentos. Com isso, para que seja possível diminuir a quantidade de tempo, custos e erros dos levantamentos de defeitos em pavimentos é necessária a aplicação de novas tecnologias presentes na atualidade.

Adotando uma ferramenta como a RPA para levantamento de defeitos de vias, é possível identificar e mensurar as localidades dos defeitos. Assim, com levantamentos periódicos, torna-se possível uma análise temporal do pavimento e de suas áreas afetadas por defeitos. Vale ressaltar que essa ferramenta não tem como finalidade substituir os métodos existentes e, sim, complementá-los e auxiliá-los na obtenção de dados.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é avaliar o potencial de um RPA quadrirrotor para identificar e caracterizar defeitos do tipo remendo em pavimentos flexíveis urbanos, a fim de comparar as medidas de áreas levantadas *in loco* com os valores obtidos no ortomosaico gerado após processamento de imagens sem a utilização de pontos de controle.

2. FOTOGRAMETRIA E MOSAICOS FOTOGRAMÉTRICOS

A ASP (*American Society of Photogrammetry*), em 1979, definiu fotogrametria como sendo a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes (Tomasseli, 2009).

A fotogrametria pode ser classificada de diversas formas, sendo uma das principais a classificação por instrumentação adotada para a medição e redução dos dados. Os métodos mais arcaicos de processamento de dados fotogramétricos necessitavam de instrumentos analógicos, assim o processo ficou conhecido como fotogrametria analógica. Com a chegada dos computadores e a evolução desses equipamentos ao longo dos últimos anos, tornou-se possível a redução da participação instrumental no processo fotogramétrico. Assim, gerou-se um aumento na precisão e uma sofisticação nos modelos matemáticos, sendo essa descrita como fotogrametria analítica (Tomasseli, 2009).

Segundo Lima *et al.* (2010), com o grande aumento do emprego da Fotogrametria Digital, tornou-se possível a utilização de fotografias para a geração direta de um mapa. Assim, com o tratamento e a adição de algumas informações essa fotografia passa de ser um insumo e se torna parte do mapa. O produto resultante é denominado ortofotocarta.

Para que seja possível uma melhor visualização da ampla área fotografada, são feita

montagens de imagens, ou seja, um mosaico fotogramétrico. Esse procedimento causa uma impressão de continuidade entre as fotografias, pois faz-se entender que ali é uma única imagem formada por todas as outras.

Para entender melhor a formação dos mosaicos, é necessário compreender que existem imagens sobrepostas em um recobrimento aéreo. Segundo Coelho Filho (2007), mesmo com o número de fotografias maior, o recobrimento permite uma maior operacionalidade delas. Existindo dois tipos distintos de sobreposição: lateral e longitudinal, a primeira sendo aquela cujo valor é geralmente 30% e ocorre entre as faixas do bloco; a segunda sendo, geralmente, superior a 60% e que ocorre entre as fotografias, como mostrado na Figura 2.

Segundo Ferreira (2014), quando utilizado aeronaves, o recobrimento na linha de voo é obtido de forma que haja superposição longitudinal (ao longo da faixa de voo) que, geralmente, é da ordem de 60%. De maneira semelhante, entre faixas de fotos existe uma superposição lateral (transversalmente à direção de voo) que é da ordem de 30%, permitindo, assim, a composição de pares estereoscópicos, como demonstrado na Figura 1. Estes valores são utilizados em fotogrametria de grande formato e podem ser alterados de acordo com o levantamento.

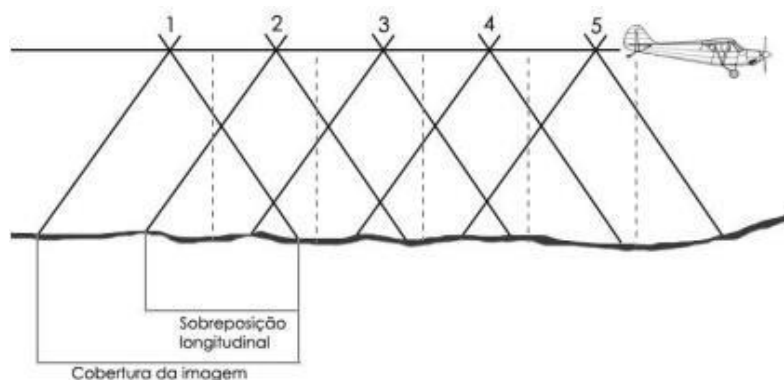


Figura 1: Exemplificação de levantamento aéreo com sobreposição longitudinal

Segundo Pereira e Tamamaru (2013), no processamento de imagens da RPA utiliza-se de técnicas automáticas implementadas em *softwares* baseados em algoritmos SfM (*Structure from Motion Procedures*) que possibilitam a segmentação de pontos chave em imagens tomadas pelas câmeras, em angulações distintas. Tais pontos são então representados nos planos X, Y e Z. Posteriormente são gerados automaticamente o mosaico georreferenciado e ortorretificado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Como localidade de estudo, foi escolhido um trecho urbano de cerca de 400 metros de extensão, da Avenida Corrêa Lima. A via possui quatro faixas de tráfego, pavimentada em concreto asfáltico e com canteiro dividindo em duas pistas (Figura 2).



Figura 2: Trecho de estudo da Avenida Corrêa Lima

A região onde está localizada essa via é de grande importância, pois serve para interligar dois bairros de Fortaleza - CE, o Sapiranga e o Edson Queiroz. Dessa maneira, a via apresenta um fluxo de tráfego leve e predominante de veículos de passeio, além de ter locais apropriados para o pouso e decolagem, facilitando a realização dos levantamentos necessários.

3.2. Materiais

3.2.1. RPA

Para a coleta de imagens foi utilizado o RPA quadricóptero Phantom 4 Pro (Figura 3). O equipamento compreende uma plataforma aérea com sensores e câmera acoplados que possibilitam a obtenção de imagens fotogramétricas, sensores que aumentam a estabilidade da aeronave, como também a transmissão de dados para que seja possível o acompanhamento da missão em tempo real.



Figura 3: RPA quadricóptero Phantom 4 Pro

O RPA escolhido já vem acoplado com uma câmera, que segundo a própria fabricante, tem as seguintes especificações: um sensor de 1 polegada atualizado com capacidades fotográficas de 20 megapixels. Esse sensor maior lhe permite 11,6 pontos de alcance dinâmico, o que mantém uma grande precisão, mesmo em situações ruins de iluminação, além de a mesma já ser acoplada a um *Gimbal* avançado de 3 eixos que elimina vibrações e movimentos indesejados durante o voo, permitindo que a câmera capture imagens suaves e fluidas mesmo durante manobras complexas.

3.2.3. Software para planejamento de voos

Para o planejamento dos voos autônomos, foi utilizado o *software Map Pilot*, versão 4.0.4 (Figura 4), proveniente da empresa *Maps Made Easy*. Nele, podem-se definir algumas variáveis, como: altura, sobreposição de imagens, quantidade de baterias necessárias, entre outros. Sua interface também é bastante desenvolvida, disponibilizando todos os dados para realização e controle do voo, podendo ser verificado onde estão sendo feitas as imagens e acompanhar a movimentação do RPA em tempo real.

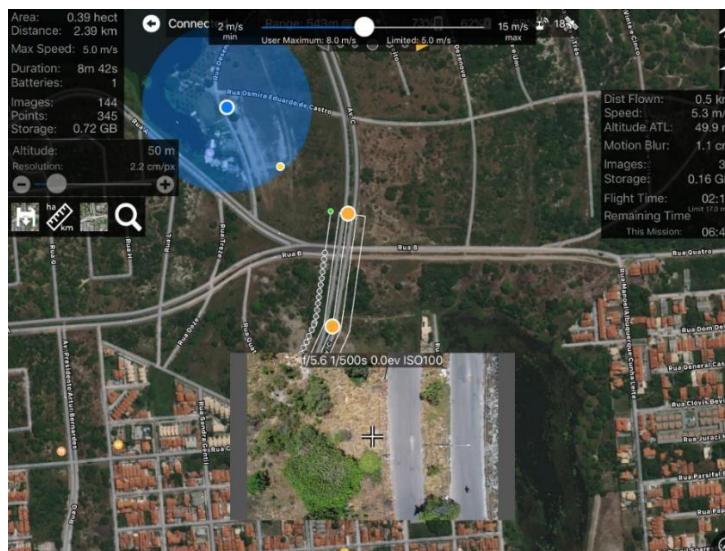


Figura 4: Plano de voo no *software Map Pilot*

Para a presente pesquisa, o *software* escolhido para o processamento de imagens foi o *Agisoft PhotoScan*, versão 1.4.2, desenvolvido pela empresa *Agisoft*, que realiza o processamento das fotografias e gera os ortomosaicos e o modelo 3D da área levantada. Estes dados são então inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a realização das medições indiretas de largura, comprimento e área de objetos em várias escalas.

A tecnologia empregada no *Agisoft PhotoScan* utiliza-se da técnica de fotogrametria digital implementada com métodos de visão por computador. Isso resulta em um sistema de processamento automatizado e inteligente, que pode ajustar o fluxo de trabalho para várias tarefas específicas e para tipos de dados obtidos.

Para cumprir uma tarefa de georreferenciamento, o programa usa dados de GPS aerotransportados, combinados com uma tecnologia de nuvem de pontos para uma execução de resultados mais precisos. Com a introdução de pontos de controle em terra, pode ocorrer uma significativa melhora na precisão dos resultados.

3.3. Métodos

Após a escolha da área de estudo, foi feita uma verificação *in loco* para que fosse possível analisar e mensurar com uma trena os defeitos do tipo remendo presentes na via (Figura 5), estes foram escolhidos por serem mais perceptíveis nas imagens obtidas. Em seguida, foram realizados os levantamentos fotogramétricos com o quadricóptero. Antes do voo, foram realizados os planos de voo no *software Map Pilot*, nos quais selecionam-se a altura, a velocidade e o percentual de sobreposição das fotos, sendo estabelecido automaticamente o tempo de voo, o GSD, e o uso das baterias. Para o presente artigo foi

estabelecido um único plano de voo para identificação de defeitos em um trecho de 400 m de extensão, mantendo as faixas de sobreposição de 70% lateral e 80% longitudinal, variando as alturas em 30, 40, 50 e 60 metros.



Figura 5: Exemplos de remendos encontrados na região de estudo.

Após o voo, as imagens foram armazenadas no dispositivo de memória do RPA e as missões ficaram registradas nos aplicativos utilizados. Assim, foi possível verificar a quantidade de imagens capturadas e o tempo de voo. As imagens foram transferidas para o computador para que fosse possível realizar os processamentos no *Agisoft PhotoScan*.

O programa *Agisoft PhotoScan* trabalha em um sequenciamento de etapas. Desta maneira, para que seja possível realizar o processamento de imagens para a construção do ortomosaico, cada uma das etapas foi seguida rigorosamente. Assim, essas etapas são: remoção de erros e distorções provenientes do processo de levantamento de imagens, geração de pontos para a fotorretificação, geração de modelo digital de terreno e geração de ortomosaico com precisão. Em seguida, após os processos de correção, as imagens puderam ser georreferenciadas pelo mesmo *software*, que obtém os pontos de GPS levantados juntamente com as imagens e, de acordo com as coordenadas, orienta todas para a formação de um mosaico georreferenciado.

Com a obtenção deste mosaico, foram escolhidos 5 defeitos do tipo remendo e assim realizar as mensurações dos valores de área (Figura 6). Desta maneira, com os dados obtidos, foram comparadas as diferenças medidas entre o levantamento fotogramétrico e levantamento *in loco* e calculou-se as porcentagens de erros.

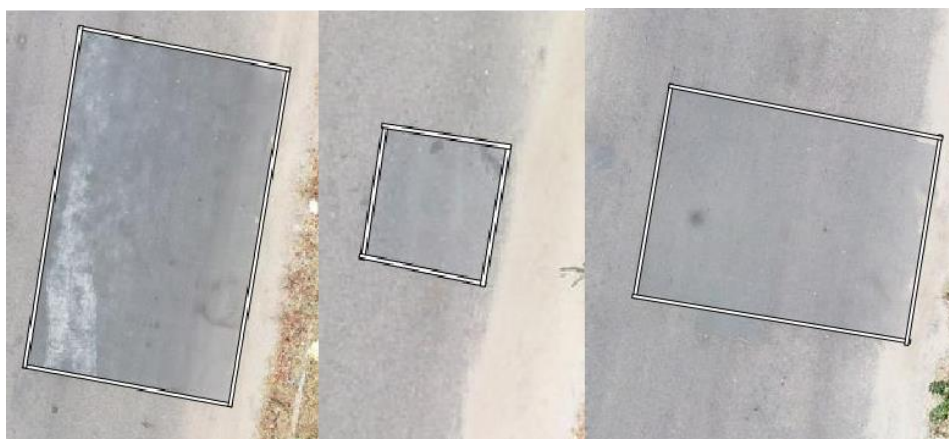


Figura 6: Mensuração de defeitos tipo remendo no ortomosaico

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para que fosse possível realizar uma comparação entre os resultados, foram elaboradas as Tabelas 1 e 2 e a Figura 7. Nelas, encontram-se presentes os valores de áreas medidas dos 5 defeitos *in loco* e no ortomosaico, além dos erros médios dos valores de áreas dos remendos.

Tabela 1: Valores de áreas levantados.

Defeitos	Alturas de Voo				
	30m	40m	50m	60m	Área Real (m ²)
1	5,68	5,54	5,45	5,43	5,78
2	26,74	26,58	26,60	26,32	27,39
3	12,25	12,21	12,14	12,14	12,61
4	34,70	34,62	34,46	34,40	35,64
5	3,72	3,63	3,52	3,49	3,76

Tabela 2: Erros percentuais para as mensurações no ortomosaico.

Defeitos	Erros em %				Média dos erros (%)
	30 m	40 m	50 m	60 m	
1	1,73	4,15	5,71	6,06	4,41
2	2,37	2,96	2,88	3,91	3,03
3	2,85	3,17	3,73	3,73	3,37
4	2,64	2,86	3,31	3,48	3,07
5	1,06	3,46	6,38	7,18	4,52

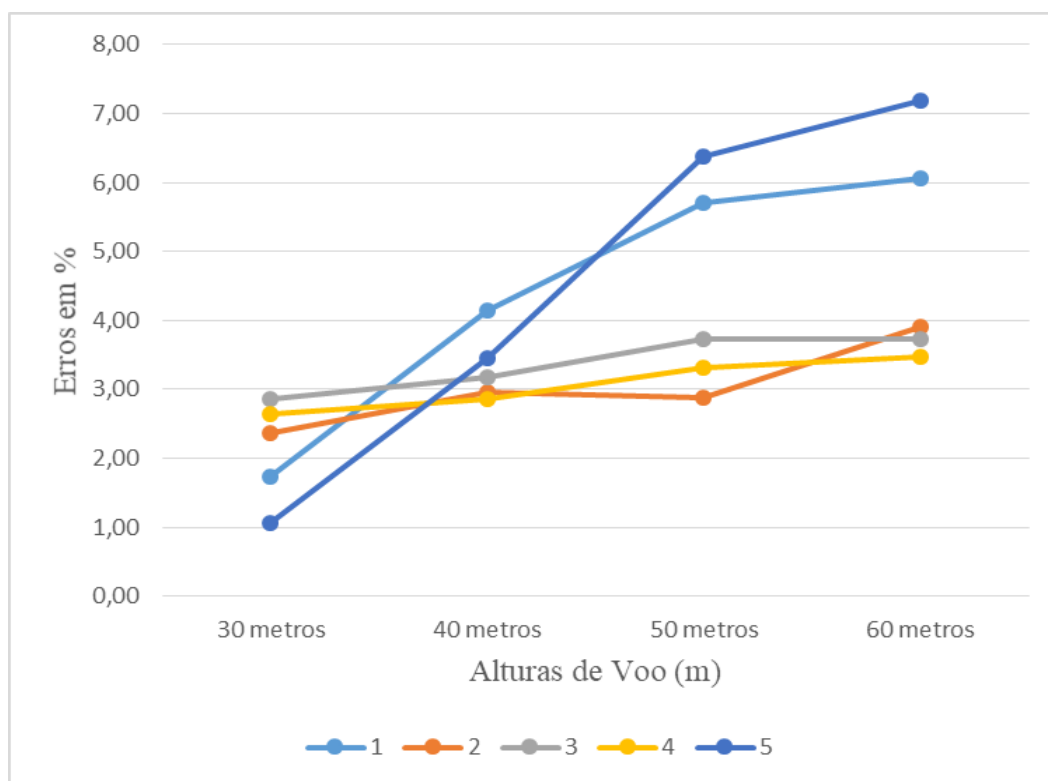


Figura 7: Comparação dos erros percentuais entre cada defeito levantado.

Com a verificação do gráfico da Figura 7 e das Tabelas 1 e 2, é perceptível que os erros médios tendem a crescer de acordo com o aumento das alturas; isso ocorre, provavelmente, pela melhor resolução das imagens em alturas menores. Vale ressaltar que, quanto menor a altura de voo, menor a área de abrangência da imagem, ou seja, maior será a quantidade de tempo de levantamento e de imagens obtidas para processamento. Assim, com uma maior quantidade de imagens, maior será a quantidade de dados fornecidos para processamento. Com isso, como valores mínimos de erro médio, obteve-se 1,06% em área na altura de 30m para o defeito 5, podendo alcançar um valor de erro médio máximo de 7,18% em área na altura de 60m também para o defeito 5.

Percebe-se que ocorrem maiores variações nos erros médios de acordo com a altura em defeitos de menores dimensões de área; isso deve acontecer, também, por influência da quantidade de imagens obtidas e sobrepostas do mesmo defeitos, visto que defeitos de maiores dimensões estarão presentes em diversas capturas, gerando, assim, uma maior quantidade de dados no processamento e fazendo com que o mesmo tenha uma maior precisão nos dados, diferentemente dos defeitos de menores dimensões. Além disso, valores de diferenças de medições de 5cm influenciam muito mais percentualmente valores de áreas de menores proporções.

5. CONCLUSÃO

Com os dados obtidos neste artigo, foi possível verificar que existe uma diferença entre os dados levantados em campo com os dados obtidos com os processamentos, obtendo como valor mínimo de erro 1,06% e como valor máximo de erro 7,18% para a medição de áreas de remendos. Isso mostra que, mesmo sem a utilização de pontos de controle, é possível fazer a verificação de áreas de remendos em pavimentos urbanos com o emprego deste tipo de RPA.

Além disso, também se verificou que as diferenças de alturas de voo e de tamanhos dos defeitos presentes nos pavimentos influenciaram no processamento das imagens e nos valores medidos. É importante salientar que essa metodologia tem o intuito de agregar dados aos outros levantamentos que são feitos para verificação de defeitos em pavimentos flexíveis, visto que proporciona mosaicos que podem ser medidos, possibilitando o acompanhamento da evolução dos defeitos. Devido a falta de trabalhos que verifiquem de maneira minuciosa e com diferentes alturas as porcentagens de erros de levantamento de área, não foi possível realizar a comparação desses dados com os de outros autores.

Por fim, é possível afirmar que, quanto menor a altura de voo, menores os valores de erros obtidos. Nesse sentido, o usuário pode definir qual o método de voo (de acordo com a altura, por exemplo) que apresenta um erro que se adequa melhor a sua necessidade. Assim, é perceptível que a utilização de RPA quadricóptero para levantamentos de defeitos em pavimentos é uma ferramenta promissora no contexto da infraestrutura urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castelo Branco, L. H. (2016). *MANIAC: Uma Metodologia Para O Monitoramento Automatizado das Condições dos Pavimentos Utilizando VANTs*. 2016. São Carlos, SP, Brasil: Universidade de São Carlos.
- CNT (2018). *Pesquisa CNT de rodovias 2018: Relatório Gerencial*. Brasília, Brasil: CNT.
- Coelho Filho, Luiz Carlos Teixeira; SILVA, Jorge Luís Nunes Brito. *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: Eduerj, 2007. 196 p.
- Ferreira, A. M. R. (2014). *Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado-VANT, para uso em aerolevantamento*. Brasília, Brasil: Universidade Brasília.
- Komazaki J. M., Camargo P. O., Galo M., Amorim A. (2017). “*Avaliação da qualidade geométrica de modelos*

digitais do terreno obtidos a partir de imagens adquiridas com VANT”, XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, pp. 576-580.

Lima, E. M.; Thomaz, T. A. M.; Severo, T. C.(2016). *Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato*. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pereira, O. J. R.; Tamamaru, R.(2013). *Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia digital, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente*. Foz do Iguaçu, Brasil: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Pessoa G. G., Carrilho A. C., Miyoshi G. T. (2017). “*Análise da qualidade posicional de modelo digital de superfície gerado a partir de correspondência de imagens aéreas obtidas por VANTs*”, XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, pp 763-767.

Tommaselli, A. M. G. (2009). “*Fotogrametria Básica*”. UNESP, São Paulo, Brasil. pp 1-14.

Paulo de Souza Lima Neto (paulodesouza@det.ufc.br)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará