

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/4: 643-650  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **DETECÇÃO DO CONTORNO DE ALVOS EM IMAGENS ADQUIRIDAS POR VANT**

*Detection of Targets Contour in Images Acquired by UAV*

**Nina Machado Figueira & Carlos Frederico de Sá Volotão**

**Instituto Militar de Engenharia – IME**

**Pós-Graduação em Engenharia de Defesa**

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha - CEP 22290-270 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

nina\_figueira@hotmail.com

volotao@dpi.inpe.br

*Recebido em 18 de maio, 2012/ Aceito em 01 de setembro, 2012*

*Received on May 18, 2012/ Accepted on September 01, 2012*

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta um procedimento que permita a identificação de alvos em imagens coloridas obtidas a partir de câmara de vídeo de baixo custo acoplada em plataforma não estabilizada, embarcada em veículo aéreo não tripulado (VANT). O VANT VT-15 é um projeto do Exército Brasileiro e possui a bordo uma câmara que produz vídeos com a finalidade de permitir a navegação visual e identificar alvos na superfície do terreno. As imagens utilizadas são geradas a partir da conversão de formato das cenas visualmente pré-selecionadas no arquivo digital do vídeo. O método utilizado consiste nas seguintes fases: (1) pré-processamento do vídeo e das cenas selecionadas utilizando a transformação por componentes principais, filtragem e manipulação de histograma; (2) detecção de bordas utilizando o método de Canny, delimitação supervisionada do contorno (geração da imagem binária), perseguição da borda através do código da cadeia de Freeman; (3) transformação para o espaço da função de ângulo tangente (TF) e detecção do objeto a partir da TF. A análise dos resultados apresentados indica a exequibilidade da modelagem proposta e a viabilidade da utilização do procedimento para a detecção de alvos em imagens de baixa qualidade.

**Palavras chaves:** Detecção de Alvos, VANT, Detecção de Bordas, Função Tangente, Componentes Principais.

### **ABSTRACT**

This paper presents a procedure to help the identification of targets in color images obtained from a low-cost video camera coupled to a non-stabilized platform, embedded in unmanned aerial vehicle (UAV). The UAV VT-15 was designed and built by the Brazilian Army Technologic Center (CTEx) and has an onboard camera that captures video with the purpose of allowing image-based navigation and identification of targets on the ground surface. The method proposed is divided into the following phases: (1) pre-processing of video and selected scenes using the principal component transformation, filtering and histogram manipulation, (2) edge detection using Canny method, delimitation supervised contour, chase through the edge chain code, (3) transformation for the space of tangent function (TF) and object detection from the TF. The results demonstrate the feasibility of the modeling procedure proposed and the practicability

of this method to detect targets in low quality images.

**Keywords:** Target Detection, UAV, Edge Detection, Turning Function, The Principal Components.

## 1. INTRODUÇÃO

O termo VANT foi adotado pela FAA (*Federal Aviation Administration*) e pela comunidade acadêmica internacional para designar sistemas que incluem não apenas os aviões, mas todos os elementos associados, tais como a carga paga (*payload*), a estação de controle terrestre e estruturas de comunicação (GAO, 2008). Um VANT pode operar por um longo período de tempo sem a intervenção de um operador humano e imagear continuamente áreas extensas.

Os VANTs têm sido amplamente utilizados como plataformas nas quais são embarcados sensores de atitude, vídeo e imagens, caracterizando uma relevante fonte de aquisição de dados geográficos em geral. Destacam-se atualmente entre as principais aplicações dos VANTs: a agricultura de precisão, ações de segurança nacional (missões militares), planejamento urbano e monitoramento ambiental.

Nos próximos anos é previsto que os VANTs tenham crescente emprego no espaço aéreo para a realização de diferentes missões, desde agrícolas passando por inspeções de fronteira chegando até ao transporte automático de cargas.

Existem diferentes tipos de VANTs apresentando diferentes capacidades. Algumas aeronaves podem voar de forma autônoma, seguindo uma trajetória de voo pré-programada (baseada em um *grid* ou uma sequência de *waypoints*) (TRINDADE JR ET AL., 2010), enquanto outras voam recebendo comandos a partir de estações terrestres operadas por pilotos. O tamanho da aeronave pode variar desde o micro até o grande, e a estação de controle terrestre pode ser estruturadas em smartphones, tablets, notebooks ou redes de estações de trabalho (estações de controle distribuídas). O avião pode variar não apenas em tamanho, mas também na forma, no tipo de propulsão e no desempenho.

Os artigos relacionados a VANTs encontrados na literatura apresentam sistemas de VANTs usando abordagens tradicionais para processamento de imagens (NEITZEL E KLONOWSKI, 2011; HAARBRINK, 2011). Existem documentos que ilustram os avanços esperados para os VANTs, publicados periodicamente por organizações

militares, como a Força Aérea dos Estados Unidos (DEMPSEY, 2012).

Esse uso crescente dos VANTs deve fazer com que eles se tornem populares, passando a ser comercializados de forma mais ampla e utilizados para diversas aplicações, dentre elas a aquisição de imagens em tempo real com baixo custo. Nesse contexto, as técnicas propostas neste projeto de pesquisa facilitarão o desenvolvimento de aplicações automatizadas de VANTs, permitindo que esses veículos possam ser inseridos e incorporados mais facilmente ao ambiente cartográfico e ao processamento digital de imagens em geral.

O objetivo básico deste artigo é apresentar um procedimento baseado em processamento de imagens contendo TF, perseguição de bordas e componentes principais para auxiliar na detecção de alvos em imagens coloridas de baixa resolução espacial, obtidas a partir de câmara de vídeo de baixo custo acoplada em plataforma não estabilizada, embarcada em veículo aéreo não tripulado (VANT).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

O uso dos recursos de processamento de imagens permite a melhoria das condições de reconhecimento dos alvos em imagens, com baixa resolução radiométrica, obtidas a partir de câmara de vídeo de baixo custo acoplada em plataforma não estabilizada, embarcada em veículo aéreo não tripulado (VANT).

Esta seção tem por finalidade descrever sucintamente os recursos computacionais e imagens utilizadas no método apresentado.

### 2.1 Os Sistemas Computacionais Utilizados

A câmara utilizada gera arquivos de vídeo. Esses arquivos são convertidos para o formato AVI. Faz-se a seleção das imagens por meio do programa *VLC Media Player* (VIDEOLAN, 2011), que permite a identificação de quadros específicos e a sua conversão em arquivos de imagem no formato JPG com alto fator de compressão, o que, apesar de degradar a imagem original, mostrou-se compatível com o nível de qualidade original do arquivo recebido, gerado pela câmara utilizada. A resolução espacial é baixa em relação aos produtos utilizados na cartografia, mas este é um fator que

depende da qualidade da câmara, problema que este trabalho se propôs a considerar.

Utilizou-se o programa de processamento e análise geoespacial de imagens *ENvironment for Visualizing Images* (ENVI), que disponibiliza diferentes métodos de processamento de imagens (CANTY, 2010). Após a geração de cada imagem binária para a definição da respectiva estrutura de dados binários, os algoritmos referentes a esse trabalho foram desenvolvidos em ambiente de programação na linguagem IDL, parte do pacote do programa ENVI.

Adicionalmente foram utilizados programas auxiliares gratuitos, como o editor de imagens *PhotoImpression* (ARCSOFT, 2011), o programa de captura de imagens *PtrScreen* (FIASARTA, 2011) e o reprodutor de vídeos VLC.

## 2.2 A Câmara e as Imagens Utilizadas

A câmara de vigilância “Axis 233D” fica acoplada na fuselagem do VANT VT-15. Os voos de teste com o veículo desenvolvido pelo Centro Tecnológico do Exército (CTEx) em parceria com a empresa Flight Solutions são realizados em sua maioria no Comando de Aviação do Exército (CAvEx) em Taubaté, no estado de São Paulo. A Figura 1 apresenta o posicionamento da câmara na aeronave.

As imagens utilizadas foram geradas a partir do vídeo capturado pela câmara de vídeo durante a “Operação Agulhas Negras – OPAN”, operação que envolve tropas do Exército. Essa operação realizou-se na cidade de Pirassununga-SP em novembro de 2010.

Uma das constatações inicialmente feitas sobre a qualidade das imagens foi a verificação da baixa resolução espectral, evidenciado pela técnica estatística-matemática da análise por componentes



Fig.1 - VANT VT-15 e câmara de vídeo Axis 233D embarcada.

principais (ARONOFF, 2005). A alta correlação entre as bandas fica visível nas novas componentes geradas. Observou-se que além da primeira componente, as demais não apresentam informações visualmente identificáveis, mas apenas figuras como mosaicos quadrados, o que é indicativo de que houve severa perda de informação espectral pelo processo de compressão ou que o sensor foi incapaz de obter tais informações. Os processamentos utilizando apenas a primeira componente principal foram justificados pela alta correlação das bandas coloridas RGB, o que indica que quase todas as informações encontram-se nessa componente.

Além disso, percebeu-se a existência de vultos localizados em pequenas regiões específicas das imagens, indicando que pode ter havido a captação de sujeira pela cúpula protetora da lente, já que as manchas moviam-se com a trajetória e deslocavam-se quando a câmara mudava de posição durante o voo. Foi atribuída também ao processo automático de focalização e mudança de abertura da lente uma redução da nitidez em muitos quadros. Foi realizada inicialmente uma inspeção visual no vídeo para selecionar quadros com supostos alvos. Especificações técnicas referentes à aeronave e à câmara que foi utilizada no projeto encontram-se descritos na Tabela 1.

Para obter as imagens a partir do vídeo foi feita a captura de quadros selecionados. Os alvos de interesse foram definidos como construções,

Tabela 1 - Especificações técnicas do VANT VT-15 e da câmara Axis 233D.

VANT VT-15	
Teto	3000 m
Autonomia	2 horas
Alcance	15 km
Peso	75 kg
Carga Paga	10-12 kg
Largura	420 cm
Comprimento	287 cm
Altura	100 cm
Velocidade de Cruzeiro	126 km/h
Câmara Axis 233D	
Sensor de Imagem	CCD de digitalização progressiva de 1/4"
Lente	3,4 a 119 mm e F1.4 a 4.2
Foco e Abertura	Automáticos
Posições de Direcionamento	100 posições predefinidas

veículos e feições antrópicas no terreno ou algo que pudesse sugerir a ocupação humana.

A seleção das partes das cenas foi feita de modo supervisionado, aplicando conceitos de interpretação visual como os apresentados por Lillesand et al. (2008), e foi motivada pela necessidade de verificação da viabilidade do processo sugerido para este trabalho.

Para o processo ser automático é necessário a inclusão de rotinas automáticas ao processo de seleção de alvos prováveis e uma rotina de casamento de modelos com as assinaturas das formas.

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho divide-se nas seguintes fases: (1) pré-processamento; (2) detecção de borda, extração supervisionada do contorno e perseguição da borda; (3) transformação para o espaço da função de ângulo tangente e reconhecimento do objeto a partir da TF.

#### 3.1 Pré-Processamento

As partes do vídeo original que continham alvos de interesse foram visualmente selecionadas e a Figura 2 exemplifica o tipo de imagem utilizado no trabalho. Tratando-se de imagem em formato comprimido, é esperado que possa apresentar três tipos de compressão: redundância espacial devido à correlação de vizinhança; redundância espectral, devido à correlação entre as três bandas; e redundância temporal, devido à correlação entre diferentes quadros numa sequência de imagens (RABBANI E JONES, 1991).

O pré-processamento foi realizado com a finalidade de reforçar algumas informações relevantes e convertê-las em uma imagem de uma banda, permitindo que posteriormente fossem identificados alvos e produzidas imagens binárias contendo o contorno de cada alvo.

Uma das operações realizadas em todas as imagens foi a transformação por componentes principais e a utilização da primeira componente, seguida de ajuste de contraste e brilho. De acordo com o caso foram aplicados diferentes filtros em toda a imagem ou em partes, de modo que os alvos visualmente identificados pudessem ter o contorno automaticamente extraído. O processamento das imagens para a seleção dos alvos está ilustrado na Tabela 2.



Fig.2 - Imagem obtida a partir do vídeo produzido pela câmara Axis 233D embarcada no VANT VT-15.

#### 3.2 Detecção de Bordas e Extração do Contorno

As bordas foram realçadas por filtros de realce de bordas e, posteriormente, pelo operador de Canny, obtendo-se uma imagem com as bordas adicionadas à imagem original (Figura 3).

Com as bordas adicionadas o trabalho de extração do contorno do alvo passa a ser uma operação de sucessivos ajustes em histograma, havendo, eventualmente, a necessidade de modificar alguns píxeis e realizar a limpeza manual de áreas de contorno, deixando na imagem apenas o alvo em preto (valor zero) e os demais píxeis em branco (valor 255).

Após a obtenção do arquivo binário, um algoritmo de perseguição de bordas produz a sequência do código da cadeia de 8 direções (GONZALES E WOODS, 2002 E FREEMAN, 1974), permitindo a representação vetorial do polígono do contorno.

#### 3.3 Uso da Função de Ângulo Tangente para a Detecção de Alvos

O método de comparação de polígonos por TF, apresentado por Arkin et al. (1991), é métrico, simples e invariante à translação, rotação e mudança de escala. A etapa do método relacionado às TF deste trabalho é aplicação de Volotão et al. (2010a), que descrevem o uso e propriedades das TF e propõem um método de modificação dos contornos diretamente no espaço transformado.

Volotão et al. (2010b) aprofundam e formalizam o método e Volotão et al. (2010c) fazem

Tabela 2 - Avaliação dos resultados.

Alvos	Dificuldade de interpretação	Complexidade da forma	Resultado
Igreja	média	média	Identificação de contorno após diversos processamentos na imagem; a modificação do contorno buscou realçar padrões locais detectados (torres laterais e centrais) e alinhamentos dos lados da figura.
Estação de Tratamento de Água (ETA)	baixa	média	Aceitável
Granja	média	média	Bom
Pista	baixa	simples	Bom
Carroceria	alta	simples	Fraco
Esteira	alta	simples	Fraco

uma descrição geral de uma proposta de modificação dos segmentos resultantes por um processo de segmentação. A vantagem dessa abordagem é a capacidade de identificação de padrões definidos de partes do contorno e a sensibilidade gráfica aos ruídos de forma, que podem ser facilmente identificados. A proposta de modificação não é abordada neste trabalho, o enfoque é dado à capacidade de modelagem robusta proposta nessa bibliografia.

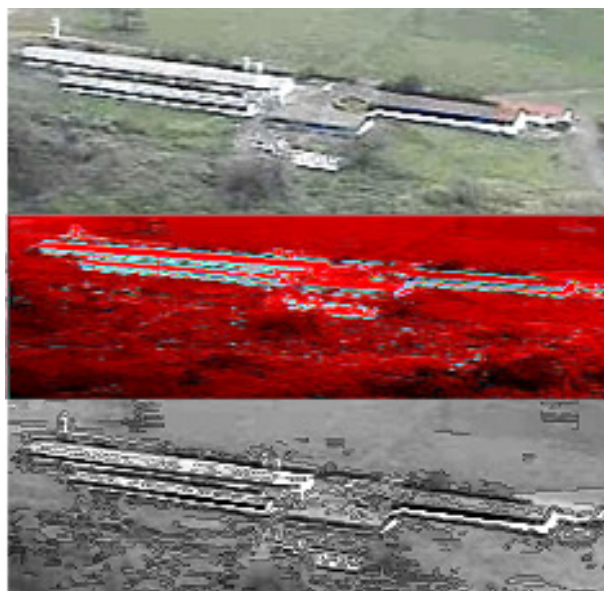


Fig.3 - Exemplo de pré-processamento da imagem. Imagem original (acima). Composição colorida de média variância e contraste a partir da primeira componente principal extraída da imagem original (meio). Primeira componente principal adicionada das bordas detectadas por operador de Canny (abaixo).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 é o contorno de uma cúpula de edificação. O contorno original apresenta ruídos devido aos problemas associados ao imageamento. A simplificação dos padrões de ruído característicos, feita pela substituição de porções do contorno resulta num contorno modificado cuja TF aproxima-se de uma função degrau. Uma função degrau na TF indica um polígono regular, portanto a regularidade torna-se visível no espaço transformado.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam resultados de processos análogos ao descrito anteriormente, obtidos a partir de imagens de referência constantes nas Tabelas 2 e 3 no final do artigo.

As TF resultantes e modificadas definem padrões básicos para o reconhecimento dos alvos.

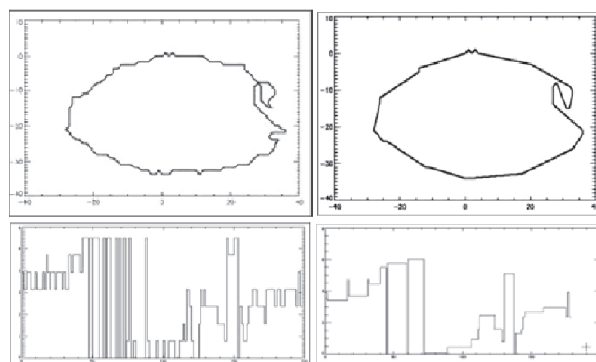


Fig.4 - Contorno original (à esquerda e acima), TF do contorno original com ruídos facilmente identificáveis (à esquerda e abaixo), TF modificada com base nos padrões identificados (à direita e abaixo) e o contorno modificado (à direita e acima).

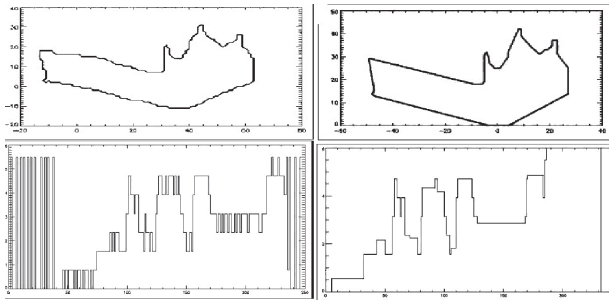


Fig.5 - Contorno original de parede de uma igreja (à esquerda e acima), TF do contorno original (à esquerda e abaixo), TF modificada (à direita e abaixo) e contorno resultante (à direita e acima).

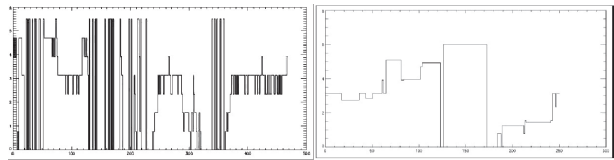


Fig.6 - TF original e modificada de parte de uma carcaça de veículo.

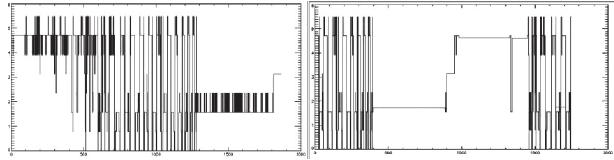


Fig.7 - TF original e modificada de uma pista de pouso.

Diferentes formas podem ser comparadas pelas métricas existentes na literatura e nas bibliografias apresentadas anteriormente. Um banco de formas onde se extrai características relevantes deve ser montado para a automação do processo. A identificação visual das características dos alvos considerados é a existência de algum tipo de regularidade visual nas TF. A avaliação dos resul-

tados em relação à identificação dos alvos é apresentada na Tabela 3.

### 5. CONCLUSÕES

Os métodos descritos no trabalho podem ser úteis para o reconhecimento de alvos em imagens VANT. O VANT pode servir para explorar o mesmo alvo em regiões de difícil acesso, obtendo imagens de diversos ângulos e resoluções.

Tabela 3. Processamento para a seleção dos alvos

ALVOS	Original JPG	Deteção Bordas (Canny)	Imagem Binária (alvo convertido em imagem binária)
Igreja			
Estação de Tratamento de Água (ETA)			
Granja			
Pista			
Carroceria			
Linha de Alta Tensão (LAT)			

Foi apresentado um procedimento que permite o reconhecimento de alvos em imagens coloridas a partir da identificação de cenas contendo possíveis alvos. As imagens utilizadas foram obtidas por câmara de vídeo de baixo custo acoplada em plataforma não estabilizada de VANT e, por essa razão, apresentaram limitações em diversos sentidos.

A câmara a bordo do VANT VT-15 permite navegar à distância, mas também é capaz de identificar alvos na superfície do terreno, mas com limitações que afetam a capacidade de identificar alvos visualmente e a qualidade do produto final apresentado. O processamento digital proposto das imagens extraídas do vídeo é um procedimento inteiramente supervisionado. O trabalho permitiu uma avaliação da qualidade de extração de informações detalhadas a respeito da forma dos alvos. Uma fase de pré-processamento prepara a imagem para a extração do contorno, o que é feito com a ajuda de algoritmos como o operador de Canny e a manipulação de histograma. O arquivo binário extraído tem seu contorno obtido pela codificação conhecida como código da cadeia e depois é feita a transformação para o espaço da TF. O reconhecimento do objeto é feito pela identificação visual de partes da TF.

A TF é utilizada neste trabalho para a identificação do alvo de modo visual. A proposta supervisionada pode ser automatizada em trabalhos futuros e permite a comparação de diferentes formatos. Cada parte simplificada da TF constitui uma unidade de padrão e a operação de limpeza utilizada no pré-processamento consiste na modificação diretamente na TF. Isso gera contornos mais simples e não modifica a forma básica. A análise desses padrões é que indica preliminarmente a existência de um alvo de interesse.

A automatização do procedimento de modificação da forma pelas TF pode ser futuramente desenvolvida pelo uso de um campo vetorial de contornos aplicado à imagem processada como contorno ativo aplicado à TF (BORKOWSKI ET AL., 1999; VOLOTÃO ET AL., 2011).

Os resultados indicam a viabilidade da utilização do procedimento proposto para o reconhecimento de alvos. No entanto, deve-se destacar que as características dos exemplos de alvos selecionados influenciaram os resultados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Tecnológico do Exército e à empresa *Flight Solutions* pelo fornecimento das amostras de vídeo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCISOFT, **PhotoImpression**, aplicativo para edição de imagens, informações disponíveis online, 2011. Online: [www.arcisoft.com/products/photoimpression/](http://www.arcisoft.com/products/photoimpression/).

ARKIN, E.M., CHEW, L.P., HUTTENLOCHER D.P., KEDEM, K., MITCHELL, J.S.B. **An Efficiently Computable Metric for Comparing Polygonal Shapes**, IEEE Transaction on PAMI, 13(3) (1991), 209-215.

ARONOFF, S. **Remote sensing for GIS managers**, 1<sup>st</sup> edition, 499p., ESRI Press, Redlands, 2005.

BORKOWSKI, A.; BURGHARDT, D.; MEYER, S. **A fast snakes algorithm using the tangent angle function**. IASPRS, v. 32, Part 3-2W5, Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, Munchen, 1999.

CANTY, M. J. **Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL**, 2nd edition, 441p. CRC 2010.

CTEx. Memória 013 - **Projeto VANT**, de 21 de Setembro 2009. Centro Tecnológico do Exército (CTEx), de 21 de Setembro de 2009.

DEMPSEY, M. E. **Eyes of the Army – U.S. Army Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010–2035**. Online: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap%202010%202035.pdf>

FLIGHT TECHNOLOGIES. **Amostras de vídeo**, 10 de Novembro de 2010. Operação Agulhas Negras, Academia da Força Aérea (AFA), Pirassununga, São Paulo. DVD.

FREEMAN, H. Computer Processing of Line-Drawing Images, **ACM Computing Surveys**, v.6, n.1, pp.57-97, 1974.

FIASTARTA, **PrtScr**, aplicativo disponível online para seleção visual de captura, freeware, 2011. Online: <http://www.fiastarta.com/PrtScr/>.

- GAO. **Unmanned aircraft systems - federal actions needed to ensure safety and expand their potential uses within the national airspace system.** GAO-08-511, 2008. 73p.
- GONZALES, R. C e WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** Prentice-Hall, ed. 2, Upper Saddle River, NJ, 2002. 954p.
- HAARBRINK, R. B. **UAS for Geo-Information: Current Status and Perspectives.** Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), 2011, Vol. XXXVIII, Zurich, Switzerland.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**, 6<sup>th</sup> edition, Wiley, Hoboken, 2008. 763p.
- NEITZEL, F., KLONOWSKI, J. **Mobile 3D mapping with a low-cost UAV system.** Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), 2011, Vol. XXXVIII, Zurich, Switzerland.
- TRINDADE JR, O., NERIS, L. O., BARBOSA, L., BRANCO, K. R. L. J. C. **A Layered Approach to Design Autopilots.** In: IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology, 2010, Viña del Mar. IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology. Santiago, Chile : IEEE Press, 2010. v. v1. p. 1395-1400.
- RABBANI, M.; e JONES, P. W. **Digital image compression techniques**, SPIE, 1991. 238 p.
- VIDEOLAN. VLC Media Player, aplicativo *freeware e open source* para visualização de videos, 2011. Online: [www.videolan.org](http://www.videolan.org).
- VOLOTÃO, C. F. S.; SANTOS, R. D. C.; DUTRA, L. V.; ERTHAL, G. J. **Using turning functions to refine shapes.** In: Barneva et. al. (Eds), Object Modeling, Algorithms and Applications. Research Publishing, pp. 31-44, 2010a.
- VOLOTÃO, C. F. S.; SANTOS, R. D. C.; ERTHAL, G. J.; DUTRA, L. V. **Shape characterization with turning functions.** In: 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Rio de Janeiro. 2010b. 10p.
- VOLOTÃO, C. F. S.; DUTRA, L. V.; SANTOS, R. D. C. **Uso de função tangente para modificar segmentos de imagens.** In: X Worcap, INPE, São José dos Campos, **Anais...** 2010c.
- VOLOTÃO, C. F. S.; ERTHAL, G. J.; SANTOS, R. D. C e DUTRA, L.V. **Image segmentation refinement by modeling in turning function space.** In: Image Processing: Algorithms and Systems IX, Proceedings, SPIE, 2011. 4p.