

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE SOMBRAS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

Automatic shadows detection in high resolution images

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS
QUINTINO DALMOLIN
MARCOS AURÉLIO BASSO
Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico
CEP81531-990 Curitiba /PR, Brasil
{danielsantos;qdalmolin@ufpr.br}

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um filtro de detecção automática de sombras presentes em imagens de alta resolução. As sombras são elementos que permitem a obtenção de informação de vizinhança a cerca de objetos presentes em imagens aéreas, bem como auxilia na análise de fluxo de tráfego entre outras aplicações. Por outro lado, são elementos indesejáveis na análise de imagens digitais, principalmente porque ofuscam a informação de cor ou intensidade do objeto sobre o qual é projetada. Várias técnicas de Processamento Digital de Imagens e tratamento radiométrico diferenciado estão sendo implementadas com a finalidade de solucionar o problema automaticamente. O objetivo deste trabalho é propor um filtro de detecção automática de sombras (*Shadows Automatic Detection - SAD*), que será testado em imagens de alta resolução tomadas por câmaras não métricas. Nos experimentos realizados, os resultados mostraram que o filtro proposto é eficiente e adequado na detecção automática de sombras em imagens de alta resolução.

Palavras chaves: Filtro, *SAD*, Sombras, Análise de imagens, Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT

This paper presents a development of filter for shadows detection in high resolution digital image. Shadows, many times, are very useful elements as information of contextual objects in digital images. Usually, in many image analysis and interpretation applications, shadows are critical to solve problems to automatic

objects extraction and interpretation. For this reason, shadow segmentation is an important step in image analysis and many techniques have been proposed to solve the problem automatically. The proposed techniques identify automatically the shadows which are present in high resolution images. The results showed that the proposed filter is efficient in identifying shadows for a large class of scenes.

Keywords: Automatic shadow detection, Image analysis, Digital Image Processing.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia permitiu o desenvolvimento de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), Visão Computacional, que combinadas contribuem efetivamente com a Inteligência Artificial. Este avanço de conhecimentos tornou possível a automação de várias tarefas, anteriormente despendidas pelo operador humano e permitiu a manipulação digital de imagens para as diversas aplicações da Fotogrametria e áreas afins. A implementação computacional na automação dos processos fotogramétricos envolve a interpretação dos objetos presentes na imagem. Para isto, a interpretação cognitiva e o reconhecimento dos objetos presentes na imagem são de difícil automação e exige combinações de várias técnicas.

Os objetos de interesse neste trabalho são os elementos de sombra constantemente presente em imagens aéreas. Sua informação pode indicar a presença de uma edificação e/ou árvore, bem como de veículos e outros objetos. Por outro lado, as sombras são elementos indesejáveis na análise de imagens digitais, principalmente porque ofuscam a informação de cor ou intensidade dos objetos onde está projetada. Ou seja, a projeção de sombra pode obstruir total ou parcialmente a extração e identificação dos objetos significativos na imagem, tais como edificações, rodovias, carros, vegetação entre outros.

A comunidade científica vem buscando alternativas para detectar e identificar automaticamente os objetos de sombra presentes em imagens. Vários algoritmos de PDI combinados com tratamentos radiométricos diferenciados, estão sendo implementados com a finalidade de solucionar o problema de forma automática. No entanto, a tarefa é de difícil solução, por exigir a combinação de várias técnicas e o uso de reconhecimento dos objetos.

As informações extraídas, podem ser utilizadas no processo de detecção e identificação de elementos indesejáveis na reconhecimento automático de edificações e rodovias, tais como, a presença de veículos e vegetação. Outras aplicações que motivam o estudo realizado são detecção de acidentes em estradas por meio da detecção de sombras projetadas por veículos, gerenciamento de cruzamentos de vias, controle de fluxo de tráfego, dimensionamento de veículos de pequeno e grande porte, entre outras aplicações.

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um filtro de detecção automática de sombras presentes em imagens de alta resolução. As

imagens de alta resolução foram toamdas com uma câmara não métrica da Sony DSC-F717 gentilmente cedida pela empresa de Aerolevantamentos AGRITEC/S.A.. O filtro proposto atribui à imagem de saída o valor do pixel central de menor magnitude determinado pelo processo de convolução entre a imagem original e o filtro proposto.

Os experimentos realizados mostraram que, o filtro de detecção de sombras proposto é eficiente e bastante promissor para o mister ao qual se destina. No entanto, experimentos com diversas imagens estão sendo realizados para analisar a robustez do filtro, principalmente no que tange sua aplicação para auxiliar o reconhecimento automático de objetos ofuscados pelas sombras, tais como, edificações e rodovias.

2. TRABALHOS RELATADOS

Um dos grandes problemas na análise e interpretação automática de imagens, bem como no reconhecimento e extração automática de objetos, é a presença de sombras. Neste item serão apresentados alguns trabalhos referentes ao objeto de estudo.

HINZ e BAUMGARTNER (2000), modelaram rodovias urbanas baseando-se na relação de contexto de objetos e a presença de sombras. Edificações adjacentes são grandes indicadores de objetos rodovia.

LAPTEV et al. (2000), utilizaram imagens de alta resolução para a extração automática de rodovias, apontando como um dos grandes problemas encontrados, as oclusões causadas por sombras.

BEVILACQUA e ROFFILLI (2001), desenvolveram um método para detecção de sombras para aplicações em fluxo de tráfego de veículos, no qual a priori os ruídos na imagem são atenuados com o uso de um algoritmo de crescimento de regiões, com a finalidade de reduzir o número de falsas detecções posteriores. A posteriori as sombras são detectadas e removidas da imagem para identificar objetos em movimento. Neste método utilizam-se informações espaciais e radiométricas dos objetos presentes na imagem para separar as sombras dos demais objetos.

PRATI et al. (2001), desenvolveram e testaram dois sistemas para detecção automática de sombras para controle de fluxo de veículos e gerenciamento de acidentes. O primeiro sistema adota um modelo determinístico e o segundo sistema um modelo paramétrico estatístico. O primeiro modelo considera o plano de fundo como informação a priori para a detecção dos objetos sombras projetados pelos veículos e o segundo modelo é baseado no uso da informação espacial, local e temporal do veículo em movimento. Ambos os sistemas utilizam informação de cor e não exploram qualquer modelagem dos objetos presentes na mesma, uma vez que é utilizado dois espaços de cores (RGB e IHS), o cálculo do local é realizado por um suavizador Gaussiano, que implica em um detector mais compacto consolidado pela exploração da informação espacial.

POLIDORO et al. (2003), apresentaram um índice de grau de artificialidade dos objetos presentes na cena que quantifica os objetos sombra através de uma equação bastante simples. O índice quantificador utiliza as bandas de intensidade e saturação do modelo *HSI* (*Hue, Saturation, Intensity*). No entanto, devido as correlações existentes entre as tonalidades de cor dos objetos sombras e vegetação, ambos são classificados numa mesma classe. Este fato mostra a complexidade em detectar os objetos sombras com eficiência e robustez.

SUZUKI et al. (2004), implementaram um método para identificar objetos ofuscados pelas sombras, e reconstruí-los automaticamente fornecendo seus valores de cinza natural. A priori o método calcula a probabilidade dos pixels pertencerem à classe de objetos sombra e não sombra, utilizando informações de cor dos componentes de baixa frequência da imagem. Posteriormente, a intensidade e saturação de cada pixel são compensadas de acordo com a probabilidade calculada a posteriori. Os resultados obtidos mostram que os objetos ofuscados pela sombra na imagem original são parcialmente recuperados com a aplicação do método proposto. O filtro proposto não é totalmente eficiente, porque elimina alguns objetos significativos na imagem original além de produzirem ruídos.

Atualmente, SALVADOR et al. (2004), propuseram um novo algoritmo de segmentação de sombras. A técnica proposta explora propriedades espectrais e geométricas dos objetos sombra. Imagens coloridas e propriedades da sombra são combinadas para verificar as hipóteses geradas destes objetos.

LI et al. (2004), apresentaram uma metodologia para detectar e remover sombras presentes em imagens de alta resolução em ambiente urbano para aplicações em SIG (Sistema de Informação Geográfica). As sombras são detectadas com uso de um MDT (Modelo Digital do Terreno) e do azimute do Sol. Neste caso, a detecção da sombra necessita de informações externas, tais como as apresentadas anteriormente. O algoritmo é eficiente na detecção de sombras projetadas por edificações, porém não apresenta eficiência quando projetado por veículos e vegetação de pequeno porte.

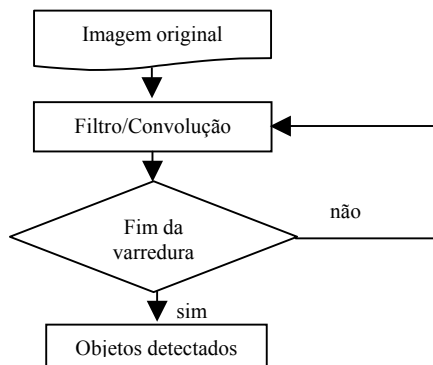
3. METODOLOGIA

Os objetos de interesse neste trabalho são as sombras projetadas pelas edificações, veículos e vegetação em imagens aéreas de alta resolução.

Técnicas de PDI, filtros de caráter atenuador e/ou preservador de bordas e índices de realce do grau de artificialidade das feições, estão sendo bastante utilizadas na solução de problemas de reconhecimento automático e semi-automático com finalidade de classificação e detecção de objetos presentes em imagens digitais. Neste trabalho, será proposto um filtro de detecção automática de sombras em imagens de alta resolução.

Neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um filtro para detectar objetos sombras projetadas em imagens aéreas de alta resolução. A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia empregada na detecção dos objetos.

Figura 1: Fluxograma do processo de detecção automática de sombras.



A magnitude do gradiente numa determinada localização da imagem pode ser calculada em função dos gradientes do pixel. Os gradientes são determinados em função da ponderação entre os níveis de cinza da imagem original e os valores dispostos no filtro que realçam as variações existentes. Assim, admitindo que numa dada janela de dimensão 3x3, extraída de uma imagem original O, se têm os seguintes valores de brilho:

O=

O1	O2	O3
O4	O5	O6
O7	O8	O9

O valor de saída para o pixel central poderá ser determinado por meio da convolução da matriz O por um filtro M, composta por pesos e escrita genericamente por:

M=

M1	M2	M3
M4	M5	M6
M7	M8	M9

O valor de saída do pixel central será calculado pela soma dos produtos dos coeficientes do filtro M pelos níveis de cinza da imagem original O. Ou seja, o pixel central é calculado pela equação que segue:

$$Pc = \sum_{i=1}^9 M_i O_i \quad (01)$$

onde,

P_c : valor de saída do pixel central.

A Equação (01) implica em estimar as diferenças ponderadas entre o ponto central e seus vizinhos. O filtro proposto é aplicado sobre a imagem original de forma que, o valor de saída do pixel central de menor magnitude será a resposta atribuída à imagem resultante. A Figura 2 apresenta a máscara do filtro proposto.

Figura 2: Máscara do filtro proposto.

$$\frac{1}{8} \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 32 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

O filtro desenvolvido trabalha com uma máscara 3x3 e consiste em classificar os pixels pertencentes ao objeto sombra, incluindo-os numa classe denominada natural. Este filtro possui uma característica similar às máscaras de detecção de pontos isolados, ou seja, apenas as grandes diferenças são pontos de interesse, sendo possível analisar o nível de cinza de cada feição ponto-a-ponto. Ou seja, o filtro adota como nível de cinza resultante o valor de cinza de menor resposta.

A principal característica do filtro proposto é priorizar os objetos que possuem baixo valor de cinza. Desta forma, para que filtro tenha maior influência sobre as respostas de menor valor de cinza determinou-se como valor central da máscara do filtro proposto um valor 4 vezes maior que a soma dos coeficientes que definem a máscara. Ou seja, o valor central da máscara do filtro proposto tem como objetivo extrapolar os valores que não são pertencentes ao objeto sombra. O elemento divisor é inversamente proporcional à soma dos coeficientes que definem a máscara.

O filtro proposto varre a imagem original da esquerda para a direita e de cima para baixo e realiza um processamento local, no qual os objetos sombra são isolados na imagem original. Nos casos em que o valor de cinza do pixel a ser pesquisado (imagem original), quando multiplicado pelo valor central do filtro proposto, determina um valor de magnitude maior que 255 (para imagens de 8 bits), o pixel pesquisado é eliminado do processamento. Isto é, se o valor de cinza do pixel de saída for maior que 255, é atribuído a este pixel um valor 999, informando ao algoritmo que este pixel não pertence a um objeto sombra. Caso contrário, é atribuído valor 1 indicando que o pixel pertence ao objeto sombra.

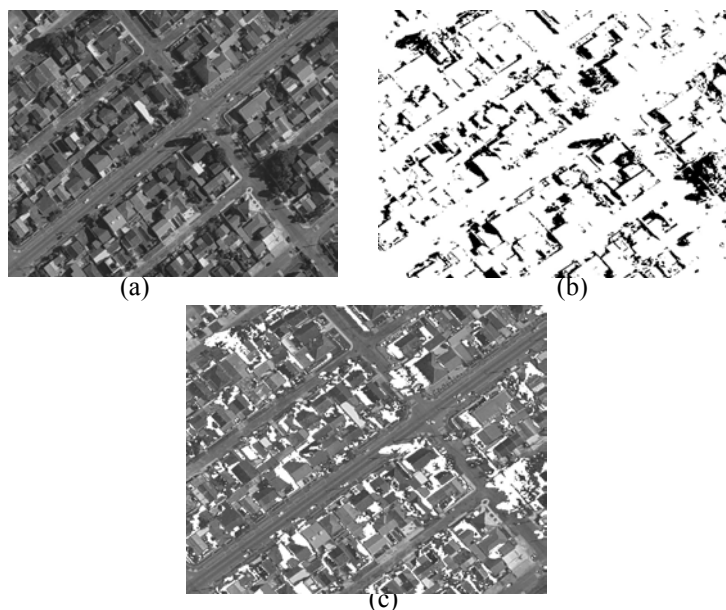
4. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O filtro proposto foi aplicado em várias imagens de alta resolução e os resultados obtidos foram analisados e discutidos. Os experimentos foram divididos em 2 grupos em função das imagens, ou seja:

- 1º grupo: o filtro foi aplicado em imagens digitais de alta resolução dentro de uma área urbana com pouca presença de vegetação; e
- 2º grupo: foram utilizadas imagens de áreas com presença de vegetação densa.

As imagens de alta resolução utilizadas neste trabalho foram adquiridas com uma câmara digital não métrica Sony DSC-717, gentilmente cedida pela empresa AGRITEC/S.A. A Figura 3 apresenta o experimento referente ao 1º grupo de experimentos.

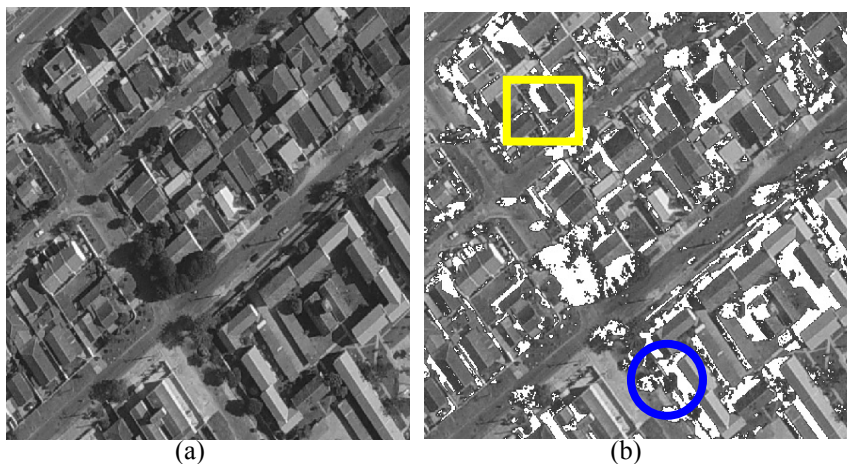
Figura 3: (a) Imagem digital original; (b) Sombras preservadas na aplicação do filtro proposto; (c) Imagem original com as sombras eliminadas.



Nota-se na Figura 3b que, os elementos de sombras projetadas pelas edificações e árvores, foram totalmente detectados e preservados com a aplicação do filtro proposto. Percebe-se também que, as informações de sombras poderão ser utilizadas facilmente em aplicações que sejam destinadas ao processo de determinação 3D de edificações e também na detecção dos objetos adjacentes, tais como, rodovias, veículos etc.

A Figura 3c, apresenta a imagem original sem a presença das sombras, ou seja, as sombras foram eliminadas da imagem. Pode-se notar também que, além das sombras as árvores foram parcialmente eliminadas da imagem original, isto mostra a dificuldade em separar objetos com alta correlação radiométrica. Neste contexto é necessário estudar o desenvolvimento de filtros eficientes na separação de objetos com estas características. Esta análise permite dizer que, para este experimento o filtro apresentou-se eficiente na detecção dos objetos de interesse, porém com problemas quando ocorre a presença de sombras. A Figura 4 apresenta mais um resultado obtido com imagens pertencentes ao 1º grupo de experimentos.

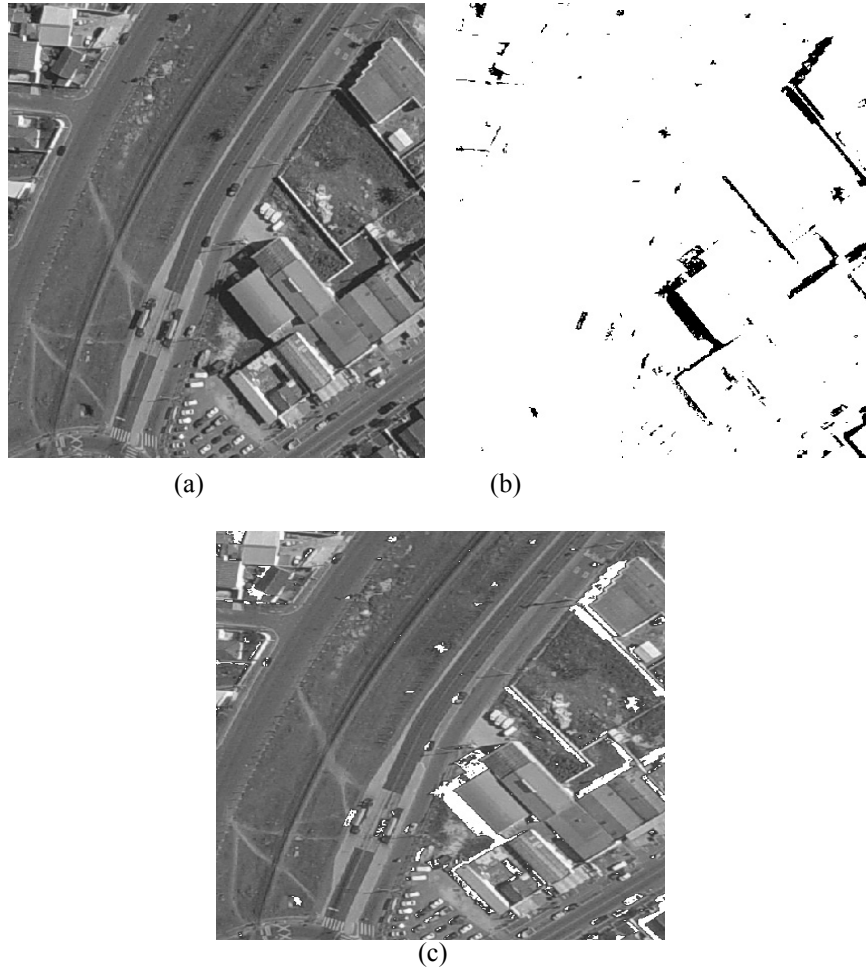
Figura 4: (a) Imagem digital original; (b) Imagem com as sombras eliminadas.



Percebe-se visualmente na Figura 4b que, em algumas situações, tal como as apresentadas pela figura quadrada (lado esquerdo superior da Fig. 4b), as sombras projetadas pelos objetos não foram detectadas. Este fator pode ser explicado devido ao baixo contraste que a sombra faz com os objetos adjacentes, descaracterizando a eficiência do filtro.

Neste experimento o filtro apresentou-se mais eficiente em relação à falsa detecção de árvores, pois em alguns casos, tal como os evidenciados pela figura circular (parte inferior da Fig. 4b), os objetos vegetação não foram detectados pelo filtro. Porém, em situações em que ocorre presença de sombras projetadas sobre a vegetação o filtro atua evidenciando os objetos na classe natural. A Figura 5 apresenta o resultado da aplicação do filtro proposto em uma região da imagem sem a presença de vegetação.

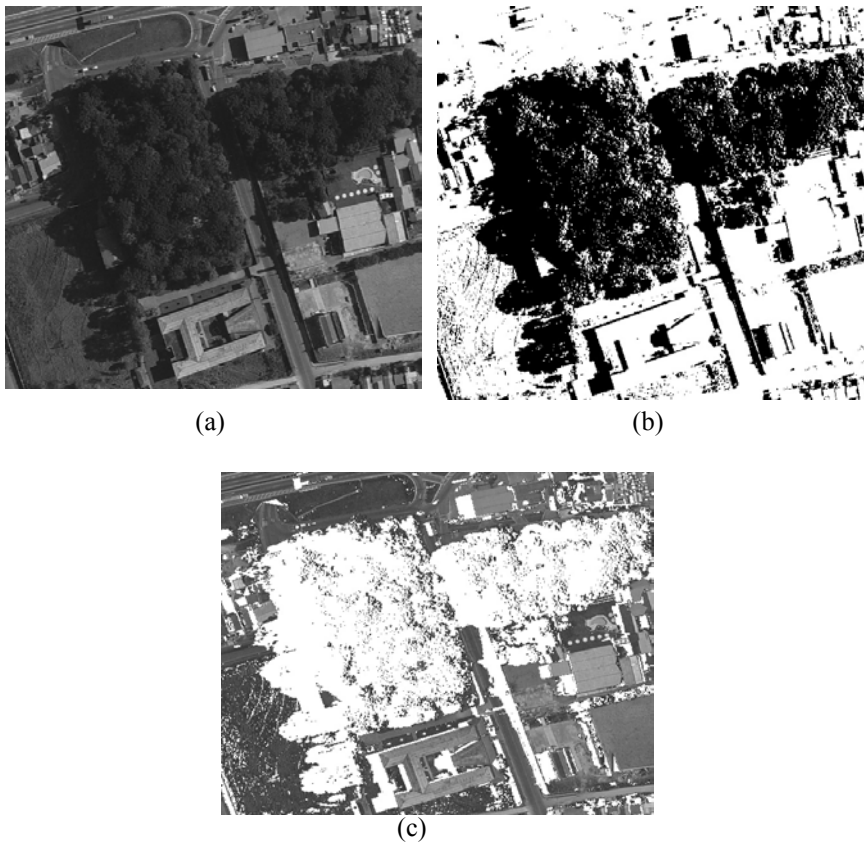
Figura 5: (a) Imagem digital original; (b) Sombras preservadas na aplicação do filtro proposto; (c) Imagem original com as sombras eliminadas.



Verifica-se na Figura 5b, que os objetos sombras presentes na imagem original (Figura 5a), são detectada com eficiência com a ação do filtro proposto. Pode-se perceber visualmente que, as sombras projetadas pelos veículos também são detectadas na imagem resultante. A característica do filtro em analisar os pixels pontualmente possibilita a detecção de sombras projetadas por objetos menores, tais como, veículos.

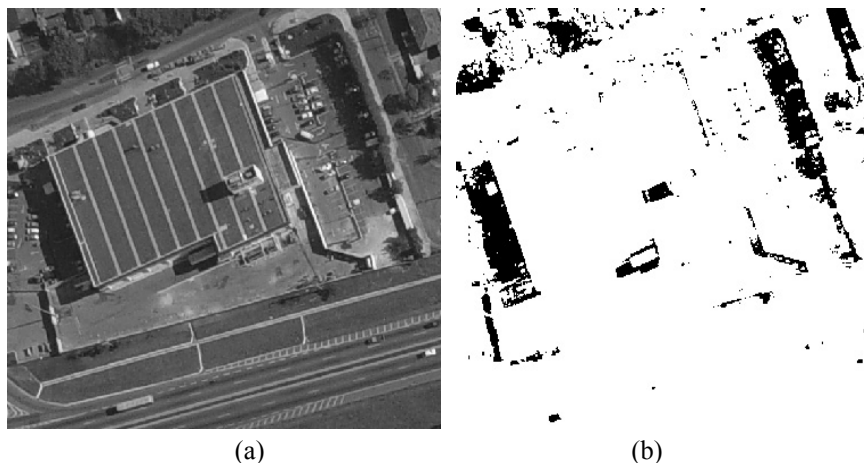
Com a finalidade de apresentar o comportamento do filtro em regiões com alta densidade de vegetação, a Figura 6 apresenta resultados com imagens referentes ao 2º grupo de experimentos.

Figura 6: (a) Imagem digital original; (b) Peçaço da imagem original com presença de vegetação; (c) Imagem original com as sombras eliminadas.



A vegetação apresentada na Figura 6a possui uma textura bastante rugosa e heterogênea, e como podem ser observados os topos da vegetação projetam sombras nas partes mais baixas. A Figura 6b mostra que, toda a vegetação foi classificada na classe natural, pois a heterogeneidade tornou a análise do algoritmo complexa. Por outro lado, quando não ocorre projeção de sombra sobre os objetos de vegetação verifica-se que, o filtro não classifica as vegetações como objeto sombra. A Figura 7a, apresenta uma imagem com vegetação exposta e a Figura 7b, mostra que a conclusão descrita acima é verdadeira.

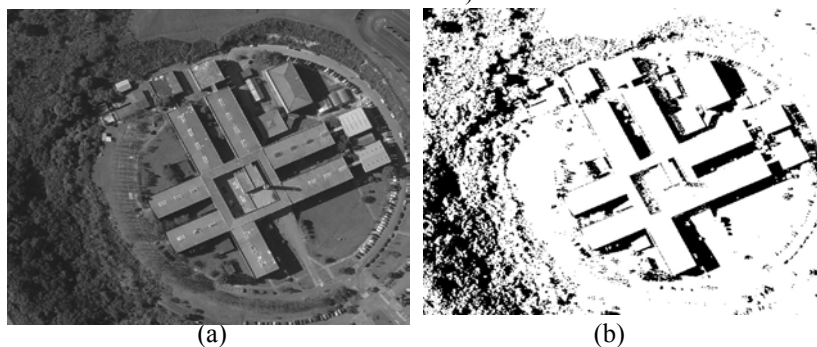
Figura 7: (a) Imagem original; (b) Objeto vegetação eliminado.



Na Figura 7b, o objeto vegetação exposto na figura 7a, não é classificada na classe natural. Isto mostra que, o filtro proposto aplicado em objetos vegetação isolados apresenta-se com melhor eficiência, principalmente em termos de visualização dos objetos na imagem resultante. Porém, não apresenta eficiência em casos que os objetos sombra e vegetação se misturam.

Sendo assim, a Figura 8 apresenta uma situação no qual as copas de um conjunto de árvores são, em média, de mesma altura. Neste caso, o conjunto de árvores é totalmente eliminado do processo. O problema então, fica restrito às áreas com vegetação onde as copas possuem alturas irregulares.

Figura 8: (a) Imagem original; (b) Objeto vegetação eliminado (figuras não estão em escala).



A Figura 8b apresenta as vegetações eliminadas do processo (em branco), mostrando o comportamento do filtro em situações em que a copa das árvores possuem a mesma altura.

De acordo com os experimentos realizados o filtro proposto comporta-se com eficiência em situações isoladas, não sendo pertinente com a presença de vegetação misturada com a projeção das sombras.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um filtro de detecção automática de sombras aplicado em imagens de alta resolução. A eficiência do filtro proposto foi analisada considerando situações adversas de presença de sombra em imagens aéreas de alta resolução. Com a análise dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

a- O filtro proposto detecta sombras em imagens de alta resolução, porém não apresenta eficiência na separação de objetos vegetação, principalmente quando os objetos se misturam na cena;

b- A metodologia apresentada poderá contribuir efetivamente em vários aspectos, tais como, eliminação de sombra para correlação automática de imagens e geração de Modelo Numérico de Elevações e Terreno, reconstrução de objetos ofuscados pela presença de sombra, auxiliar no reconhecimento de objetos adjacentes (veículos, árvores, edificações etc), entre outras, caracterizando sua versatilidade;

c- O filtro vem confrontar com os índices de grau de artificialidade propostos por diversos autores, e devido às peculiaridades apresentadas, outros trabalhos podem ser conduzidos para avaliar a eficiência e robustez, principalmente com presença de alta densidade de vegetação; e

d- Um fator relevante que deve ser discutido é a dificuldade em preservar as informações de vegetação, pois como as alturas das copas são bastante heterogêneas, parte da sombra é projetada sobre o próprio objeto. Sendo assim, parte da árvore com sombra projetada também é classificada na classe natural.

Sabe-se que regiões de sombra são áreas críticas para a solução do problema de correlação de imagens, extração automática de edificações e rodovias, pois além de ofuscarem objetos importantes no processo de correlação, produzem regiões de bordas artificiais e danificam o processo de segmentação da borda. Por isso, estão sendo realizados experimentos para reconstruir automaticamente objetos ofuscados pela presença de sombra. Estas informações podem ser utilizadas a posteriori na identificação de objetos adjacentes.

Experimentos mais sofisticados estão sendo realizados para comprovar a eficiência e robustez do filtro. E como trabalho futuro estão sendo realizados experimentos para avaliar a robustez do filtro, principalmente no que tange sua aplicação para auxiliar a reconstrução automática de objetos mais complexos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos a empresa de Aerolevantamentos AGRITEC/S.A., por disponibilizar as imagens digitais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEVILACQUA, A.; ROFFILLI, M.; *Robust denoising and moving shadows detection in traffic scenes. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. USA, pp. 1-4, 2001.
- HABIB, A.F., AL-RUZOUQ, R. I., KIM, C. J. *Semi-automatic registration and change detection using multi-source imagery with varying geometric and radiometric properties*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing -ISPRS. Commission 2. Istanbul, 2004.
- HINZ, S., BAUMGARTNER A. *Road extraction in urban areas supported by context objects*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII. Part B3. Amsterdam. Netherlands, 2000.
- LAPTEV, I., MAYER, H, LINDEBERG, T., ECKSTEIN, W., STEGER, C., BAUMGARTNER, A. *Automatic extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes*. Machine Vision and Application. Springer-Verlag. pp. 23-31, 2000.
- LI et al. (2004). *A system of the shadow detection and shadow removal for high resolution city aerial photo*. Proceedings of XXth ISPRS Congress, Commission 3, 2004.
- POLIDORO, A. M., IMAI, N. N., TOMMASELLI, A. M. G., Flores, F. C., Franco, C. *Automatic shadow segmentation in aerial color images*. Proceedings of XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. São Carlos, Brazil, pp. 270-277, 2003.
- PRATI, A.; MIKIC, I.; GRANA, C.; TRIVEDI, M .M. *Shadow detection algorithms for traffic flow analysis: a comparative study*. In: Proceedings of IEEE Int'l Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 340-345, 2001.
- SALVADOR, E., CAVALLARO, A., EBRAHIMI, T. *Cast shadow segmentation using invariant colour feature*. Computer Vision and Image Understand. Vol. 95, pp. 238-259, 2004.
- SUZUKI, A.; SHIO, A.; AMI, H.; OHTSUKA, S. *Dynamic Shadow Compensation of Aerial Images Based on Color and Spatial Analysis*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 10, 2000.

(Recebido em novembro/2005 e aceito em abril/2006)