

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS COM USO DE IMAGENS DE INTENSIDADE LASER E ANAGLIFO

AUTOMATIC DETECTION OF VEHICLES USING INTENSITY LASER AND ANAGLYPH IMAGE

Daniel Rodrigues dos Santos
Quintino Dalmolin
Hideo Araki

Universidade Federal do Paraná
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Departamento de Geomática
Centro Politécnico
CEP 81531-990 Curitiba /PR, Brasil
{danielsantos;qdalmolin;araki;@ufpr.br}

RESUMO

Neste trabalho propõe-se uma metodologia para detecção automática de veículos que estavam em movimento no instante da tomada de imagens aéreas digitais de áreas urbanas utilizando imagens de intensidade laser, imagem anaglifo e da subtração entre imagens originais. A imagem anaglifo é utilizada no auxílio à identificação automática dos veículos em movimento no momento da exposição. Este procedimento é possível porque os veículos em movimento se apresentam em cor vermelha na imagem anaglifo devido à falta de homologia na imagem da direita. Um modelo implícito foi desenvolvido para fornecer um valor digital ao pixel, o qual possui uma propriedade especificada anteriormente através da razão entre os atributos de cor RGB dos objetos de interesse, visualizados na imagem anaglifo. A imagem de intensidade laser é utilizada para restringir o processamento, apenas nos locais de ruas e rodovias. A imagem resultante é aplicada com a finalidade de eliminar falsas detecções resultantes das marcas das rodovias e faixas de acostamento. O objetivo do trabalho é detectar automaticamente veículos que estavam em movimento no instante da tomada de imagens aéreas digitais em áreas urbanas por meio da integração de diferentes sensores. O algoritmo implementado aplica uma normalização nas imagens da esquerda e direita com posterior translação para a geração do anaglifo e os resultados comprovam a aplicabilidade do método bem como a potencialidade na detecção de veículos em imagens digitais. Mostra ainda, que a metodologia é eficiente e robusta para a detecção automática de veículos.

Palavras chaves: Detecção automática de veículos; Processamento digital de imagem; Anaglifo; Modelo implícito.

ABSTRACT

In this work is presented a methodology to automatic car detection motion presents in digital aerial image on urban area using intensity, anaglyph and subtracting images. The anaglyph image is used to identify the motion cars on the expose take, because the cars provide red color due the not homology between objects. An implicit model was developed to provide a digital pixel value that has the specific propriety presented early, using the ratio between the RGB color of car object in the anaglyph image. The intensity image is used to decrease the false positive and to do the processing to work into roads and streets. The subtracting image is applied to decrease the false positives obtained due the markings road. The goal of this paper is automatically detect motion cars presents in digital aerial image in urban areas. The algorithm implemented applies normalization on the left and right images and later form the anaglyph with using the translation. The results show the applicability of proposed method and it potentiality on the automatic car detection and presented the performance of proposed methodology.

Keywords: Automatic car detection; Digital image processing; Anaglyph; Implicit model.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um algoritmo que detecte automaticamente veículos em imagens aéreas é o motivo desta pesquisa. Este algoritmo pode fornecer suporte para análise de imagens em várias aplicações, tais como, a geração de dados para

planejamento urbano e espacial, controle de poluição sonora, estimativa e simulação da qualidade do ar, além de gerenciamento automático do fluxo de tráfego. Outras aplicações encontradas no reconhecimento de veículos são para fins militares e extração de dados para Sistema de Informação Geográfica.

A informação dos veículos indica a presença de rodovias, ruas e estacionamentos e é útil na análise e avaliação de algoritmos para extração automática de feições. Uma aplicação específica na área de Fotogrametria Digital é a extração automática de rodovias. A eficiência da detecção de rodovias depende da identificação de objetos presentes nela, como por exemplo, os veículos. O processo de extração pode sofrer distúrbios com a presença de obstáculos que impedem a representação do eixo central da rodovia. Outro problema acarretado pela presença de veículos em imagens aéreas é a projeção de sombras, que também influencia a extração automática de rodovias. Por isso, este algoritmo também se torna relevante para a extração automática de rodovias.

No contexto do problema apresentado, pesquisas para detecção de veículos em imagens aéreas utilizam modelos matemáticos implícitos e/ou explícitos para modelar os veículos presentes na cena.

Os modelos matemáticos implícitos utilizam apenas as propriedades radiométricas do objeto de interesse, como o nível de cinza ou a cor RGB dos veículos. Estes atributos são então compostos em um modelo matemático linear e utiliza um limiar pré-definido para separar os pixels que compõem os veículos e os pixels de fundo. Neste caso, os resultados dependem dos atributos que parametrizam o modelo envolvido.

Os modelos matemáticos explícitos descrevem os atributos geométricos e radiométricos dos veículos de forma bi ou tridimensional, com o uso de filtros ou *templates*. Neste caso, o modelo de referência é correlacionado com a imagem de pesquisa ou, as feições extraídas são agrupadas para formar uma estrutura similar ao modelo. O veículo é considerado detectado quando existir uma similaridade entre as propriedades provenientes do modelo explícito e a imagem de pesquisa.

Neste trabalho o enfoque será a modelagem matemática implícita para a detecção de veículos em movimento no momento da tomada de imagens aéreas digitais. Portanto, o objetivo é apresentar uma metodologia para a detecção automática de veículos em movimento, em imagens aéreas digitais de áreas urbanas, utilizando a imagem anaglifo, a imagem de intensidade laser e uma imagem resultante da subtração entre as imagens originais coloridas e retificadas do estereopar.

O modelo matemático implícito permitirá a detecção automática de veículos em movimento através da razão entre os atributos RGB do pixel analisado, onde os mesmos serão visualizados na cor vermelha na imagem anaglifo. A solução apresentada é exequível devido à não homologia entre as posições dos veículos presentes na imagem da esquerda e da direita, provocada pelo deslocamento do mesmo durante o intervalo das tomadas das imagens. Neste caso, os veículos na imagem da esquerda aparecem no anaglifo com a cor vermelha, enquanto que os

mesmos veículos aparecem na imagem da direita na cor ciano, ou variações harmônicas desta.

Com a finalidade de restringir o processamento aos locais de ruas e rodovia, propõe-se o uso da imagem de intensidade laser, projetando as coordenadas ENH dos pontos do espaço-objeto provenientes do arquivo bruto do sistema de varredura laser, correspondentes das ruas e rodovias para o espaço-imagem. Com o propósito de eliminar falsas detecções devido às marcas e faixas de acostamento das rodovias, propõe-se o uso de uma imagem resultante proveniente da subtração entre as imagens originais.

Os experimentos realizados mostraram que a metodologia é eficiente e contribui na detecção de veículos em movimento. Como limitação, ressalta-se que o algoritmo não detecta veículos que apresentam cor escura no mundo real, pois os mesmos não são visualizados na imagem anaglifo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A detecção de veículos tem sido muito difundida pela comunidade computacional, pois os veículos são objetos presentes em imagens digitais e apresentam-se como informação relevante para a eficiência de algoritmos para extração de rodovias e também para as diversas aplicações citadas na seção 1. Neste item serão apresentados alguns trabalhos referentes ao objeto de estudo.

PANTAVUNGKOUR e SHIBASAKI (2003), propuseram uma metodologia para detecção automática de rodovias e veículos baseado no método de crescimento de regiões e descritor de formas, com o uso de imagens aéreas adquiridas com um sensor tri-linear. O método proposto aplica morfologia matemática para reduzir os ruídos na imagem e os objetos presentes na rodovia são selecionados como candidatos a veículos. Posteriormente, são comparados com um modelo explícito pré-definido. Uma desvantagem deste método é que todos os objetos com tamanho similar aos veículos são detectados de forma a onerar o processamento, além de aumentar a porcentagem na detecção de falsos candidatos.

Para ZHAO e NEVATIA (2003), é necessário a priori aplicar um teste de psicologia da forma para encontrar características humanas na detecção de veículos em imagens aéreas. A partir das peculiaridades do funcionamento da percepção humana é construído o modelo tridimensional do veículo, bem como das projeções de sombra, com uso de informações a priori da posição solar no momento da tomada das imagens aéreas. As informações obtidas são combinadas por meio de um modelo *Baysiano* implícito. Uma desvantagem do método é o tempo de processamento do algoritmo de extração de bordas, pois as mesmas são extraídas em toda a extensão da imagem, a fim de serem utilizadas a priori na classificação automática dos veículos.

HINZ et al. (2005), apresentaram uma metodologia para detecção automática de hipóteses

de veículos em imagens de alta resolução para áreas urbanizadas. A detecção é realizada com o uso de um modelo explícito tridimensional de veículos, descrito pelas características geométricas e radiométricas baseadas na construção de um modelo tridimensional (*frame*). No processo de detecção, o modelo tridimensional se adapta automaticamente em função dos atributos relacionados à cor e direção de deslocamento do veículo. O método tem como vantagem a irrelevância do uso de informações adicionais como, por exemplo, uma base cartográfica para orientação do algoritmo. Em contrapartida, o algoritmo limita a sua robustez ao usar apenas uma imagem, não permitindo a reconstrução tridimensional do veículo detectado.

LEITLOFF et al. (2005), implementaram um método de detecção de veículos em imagens aéreas de alta resolução baseado no método do gradiente para detecção de bordas de veículos. Nesta abordagem os eixos das rodovias são extraídos como hipóteses lineares para reduzir o espaço de busca de veículos na imagem, bem como feições lineares que representam alguns atributos do veículo. Uma limitação deste método está no fato do modelo explícito exigir imagens de alta resolução para ser aplicado, além de necessitar da base cartográfica com informações do eixo das rodovias.

O anaglifo tem sido bastante utilizado para solucionar problemas de atualização cartográfica e

reconstrução tridimensional de objetos presentes em imagens. De acordo com AMORIM (2000), o uso da técnica de anaglifo é uma proposta metodológica rápida econômica e eficiente para atualização cartográfica. Também pode ser utilizada na detecção de alterações de objetos em imagens aéreas.

3. METODOLOGIA

Neste contexto propõe-se uma metodologia para detectar automaticamente veículos em movimento, presentes em imagens aéreas digitais de áreas urbanas, apresentando um modelo matemático implícito que relaciona os atributos radiométricos de veículos na imagem anaglifo, bem como a combinação de dados e informações adquiridas com diferentes sensores.

Os objetos de interesse neste trabalho são os veículos em movimento nas rodovias e ruas de uma área urbana, presente nas imagens aéreas digitais de alta resolução, isto é, pixels menores que 70cm no terreno. A metodologia proposta utiliza imagens anaglifo, imagens de intensidade laser e uma imagem resultante da subtração entre as imagens originais do estereopar previamente retificadas. O algoritmo da metodologia proposta foi desenvolvido na linguagem C++ Builder 5.0 da Borland. A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia empregada na detecção de veículos em movimento.

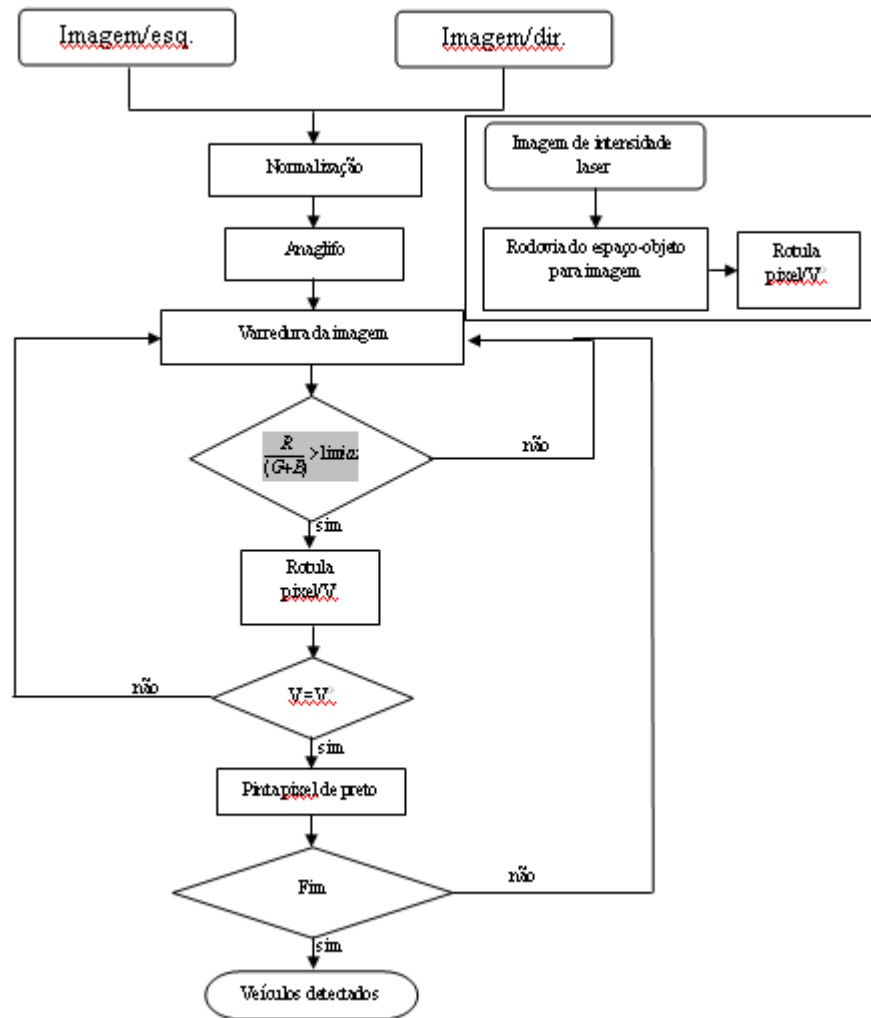


Figura 1: Fluxograma do processo de detecção de veículos em movimento.

Uma seqüência de etapas deve ser realizada para a detecção automática de veículos em movimento, presentes em imagens aéreas digitais.

A etapa de retificação ou normalização das imagens originais deve ser realizada com a finalidade de eliminar a paralaxe em y que desloca aparentemente a posição dos objetos na direção do eixo y do sistema de imagem (Geometria Epipolar). O processo de normalização de imagens consiste em transformá-las para suas posições verticais com o intuito de corrigir a atitude da aeronave.

Para MIKHAIL et al. (2001), a normalização das imagens aéreas é realizada a partir do relacionamento entre a matriz de rotação dos parâmetros de orientação exterior ($\kappa, \phi, \omega, X^0, Y^0, Z^0$) das imagens (R^T) e a matriz de rotação da base (R_B), determinadas pelas direções espaciais da base no espaço-objeto. A matriz de rotação normalizada é finalmente determinada a partir do produto entre as matrizes R^T e R_B .

Desta forma, as coordenadas referidas no sistema fotogramétrico (x_f, y_f) na imagem original, são transformadas para a suas posições normalizadas (x_N, y_N), por meio da equação de colinearidade.

Para RUY (2002), as coordenadas na imagem normalizada são transformadas para suas

posições correlatas nas imagens originais por meio da transformação inversa, dada por:

$$\begin{aligned} x_f &= -f \frac{x_N R_{N11} + y_N R_{N21} + R_{N31}(-f)}{x_N R_{N13} + y_N R_{N23} + R_{N33}(-f)} \\ y_f &= -f \frac{x_N R_{N12} + y_N R_{N22} + R_{N32}(-f)}{x_N R_{N13} + y_N R_{N23} + R_{N33}(-f)} \end{aligned} \quad (01)$$

onde,

- f : distância focal da câmara; e
- R_{Nij} : elementos da matriz de rotação normalizada, para i e j variando de 1,...,3.

Para o relacionamento entre as coordenadas no sistema da imagem normalizada e a imagem original é necessário aplicar uma função de interpolação, a fim de obter os níveis de cinza correspondentes. A função de interpolação utilizada neste trabalho foi a bilinear. Portanto, de posse das imagens normalizadas, a geração do anaglifo foi realizada com as informações das componentes R (Red), para a imagem da esquerda, e as componentes G e B (Green e Blue) da imagem da direita. A Figura 2 apresenta o anaglifo gerado com a metodologia.



Figura 2: Anaglifo gerado.

A imagem anaglifo apresenta uma característica bastante promissora na detecção de alterações em imagens digitais. No contexto deste trabalho, no momento de exposição da imagem da esquerda (E_1), um veículo qualquer em movimento encontra-se numa dada posição x_1 , enquanto que no momento de exposição da imagem da direita (E_2), o mesmo veículo encontra-se deslocado para a posição x_2 , como mostra a Figura 3.

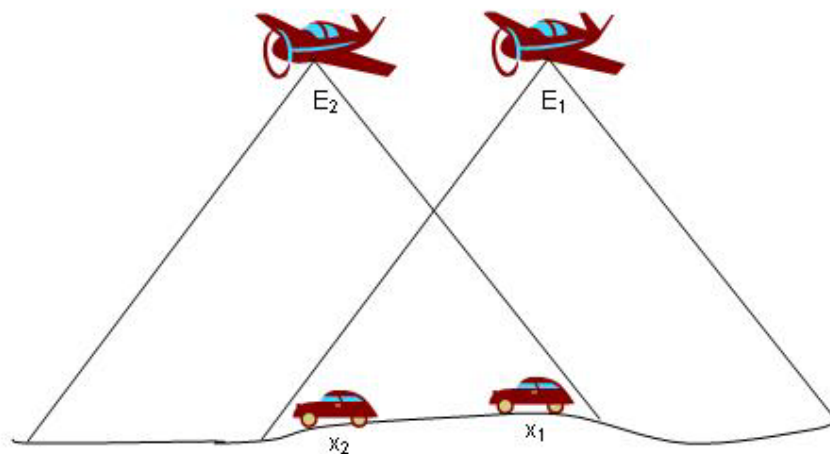


Figura 3: Deslocamento do veículo na tomada das imagens.

Desta forma, ao gerar o anaglifo, os veículos em movimento presentes na imagem da esquerda não se encontrarão nas posições homólogas na imagem da direita. Sendo assim, os mesmos serão visualizados na imagem anaglifo na cor vermelha,

como indicam as setas brancas (Figura 4). Por outro lado, os veículos presentes na imagem da direita serão vistos na imagem anaglifo na cor ciano, como indicado com a seta azul (Figura 4).

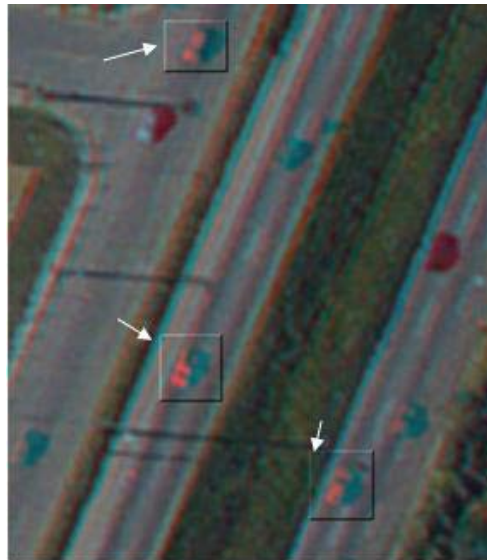


Figura 4: Objetos sem correspondência em destaque na cor vermelha.

Um modelo matemático implícito foi desenvolvido com a finalidade de definir o valor digital para os pixels que compõem os veículos em movimento, presentes na imagem aérea. A imagem anaglifo foi utilizada como informação auxiliar na identificação dos veículos. O modelo matemático implícito é dado pela razão entre a componente R e a

O algoritmo implementado varre toda a imagem e analisa cada pixel na imagem anaglifo. Nos casos em que $0.6 \leq dv \leq 1.0$, indica que o pixel atual pertence à um veículo em movimento na rodovia e atribui-se ao pixel analisado um rótulo V^I e o nível de cinza igual a 255. Caso contrário, o pixel permanece com seu nível de cor original e não é rotulado.

O pixel rotulado é armazenado em um vetor, o qual será posteriormente utilizado para análise e verificação de sua pertinência ao objeto veículo, em função das informações de intensidade (imagem de intensidade laser) e das coordenadas ENH do ponto correspondente no espaço-objeto, provenientes do

soma entre as componentes G e B de cada pixel que compõe o veículo em movimento:

$$dv = \frac{R}{(G + B)} \quad (02)$$

onde, dv representa o valor digital do pixel .

arquivo bruto do sistema de varredura laser. Desta forma, com a finalidade de restringir o processamento aos locais de rodovia e também evitar as possíveis falsas detecções, é proposto o uso das informações de intensidade e coordenadas ENH dos pontos no espaço-objeto.

Na imagem de intensidade laser o objeto rodovia aparece com um contraste bastante diferenciado em relação às suas adjacências, como pode ser verificado visualmente na Figura 5.

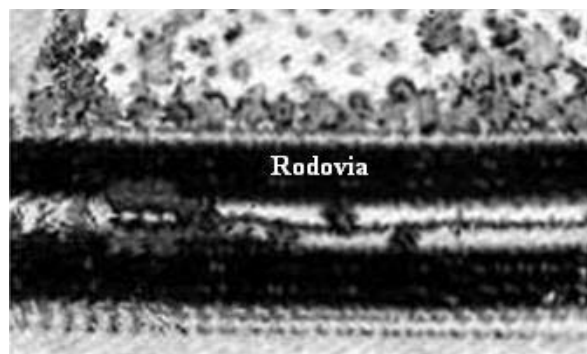


Figura 5: Rodovia na imagem de intensidade laser.

Para verificar a pertinência do pixel rotulado como V^I é necessário considerar seu valor de intensidade gravado no arquivo bruto, com suas correspondentes coordenadas tridimensionais no

espaço-objeto. No entanto, a partir das informações das coordenadas ENH dos pontos no espaço-objeto, provenientes do arquivo bruto fornecido pelo sistema de varredura laser (maiores informações ver

SANTOS, 2005), os pontos no espaço-objeto são projetados para o espaço-imagem, via equação de colinearidade direta (LUGNANI, 1989).

Neste caso, o que se tem são coordenadas fotogramétricas isentas de erros e para que as mesmas sejam transformadas para a sua posição exata no sistema de coordenadas da imagem digital

(Coluna, Linha), é necessário que seja aplicada uma adição dos erros sistemáticos. Desta forma, cada ponto no espaço-objeto com intensidade média de valor igual à 40 (pertence à rodovia) será rotulado como V^0 . A Figura 6 apresenta os pontos no espaço-objeto que pertencem ao objeto rodovia, projetados para a imagem anaglifo (em azul).

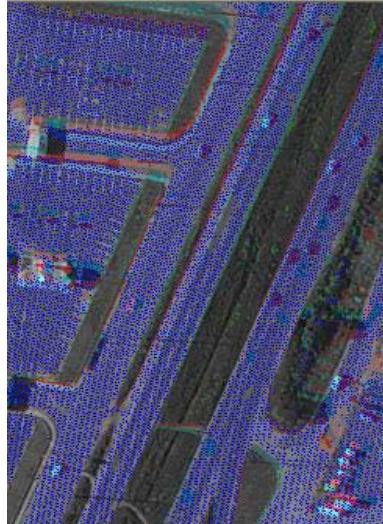


Figura 6: Pontos de rodovia no espaço-objeto projetados para o espaço-imagem.

O fluxograma apresentado na Figura 1 mostra que, no momento que o pixel é varrido pelo algoritmo e calculado o seu dv inicia-se o processo de análise e verificação deste pixel. No caso do pixel possui rótulo igual à V^1 e possuir as mesmas coordenadas (Coluna e Linha) do ponto projetado do espaço-objeto para o espaço-imagem, ou seja, rótulo igual à V^0 , então o pixel pertence ao objeto veículo em movimento na rodovia. Assim, este pixel recebe o rótulo V^P e lhe é atribuído o nível de cinza igual a 0 (zero) na imagem original. Caso contrário, o pixel não é rotulado e permanece com sua cor original.

Como as falsas detecções podem ocorrer, porque as bordas de algumas feições possuem deslocamentos, tal como as edificações, as marcas nas rodovias, as faixas de acostamento entre outras, causados pelo efeito de paralaxe dos objetos devido à geração da imagem anaglifo. Então, com a finalidade de atenuar ou eliminar as possíveis falsas detecções, propõe-se o uso de uma imagem resultante derivada da subtração das imagens originais coloridas previamente retificadas.

O processo é concluído com a varredura

total da imagem, pelo algoritmo, resultando na detecção dos veículos em movimento presentes. Na próxima seção, serão apresentados experimentos e a análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia.

4. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A metodologia proposta foi aplicada em imagens de alta resolução com resolução do pixel no terreno de 40 cm. As imagens de alta resolução utilizadas neste trabalho foram adquiridas com uma câmara digital não métrica de pequeno formato da Sony DSC-717 com resolução de $5,4 \mu\text{m}$ 1629×1222 , gentilmente cedida pela empresa de aerolevantamentos AGRITEC/S.A (n^{os} 12, 13, 15 e 16), tomadas na região do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. A Figura 7 apresenta os veículos detectados na imagem de alta resolução de números 12 e 13, com o uso da metodologia proposta.

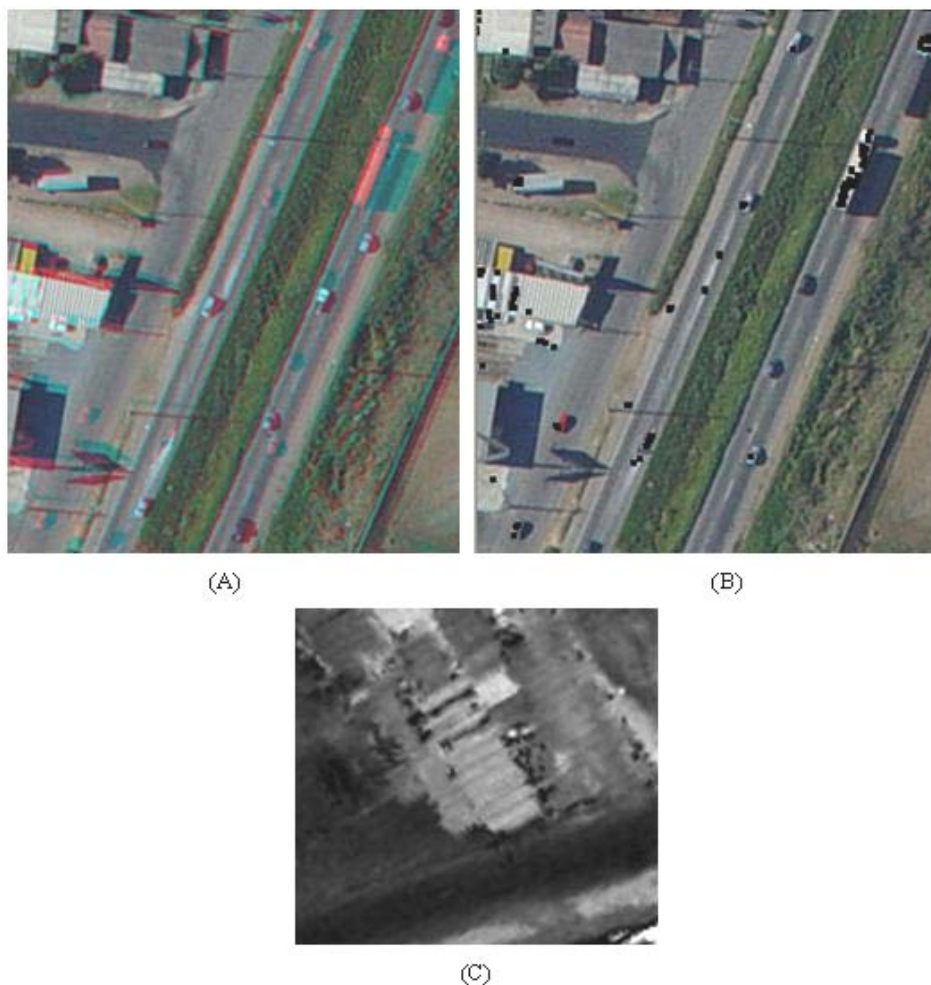


Figura 7: veículos detectados. (a) veículos em movimento (cor vermelha); (b) veículos detectados (pontos pretos); (c) parte da imagem de intensidade laser.

Com a análise visual da Figura 7, percebe-se que:

- Dos 12 veículos em movimento na rodovia, visualizados na imagem da esquerda original, 10 foram detectados;
- O algoritmo não foi totalmente eficiente por não detectar veículos de cor escura (veículos pretos, por exemplo). Isto mostra que a eficiência do algoritmo limita-se a veículos em movimento com cores claras;
- O uso da imagem de intensidade laser combinada com a imagem anaglifo restringiu o processamento aos locais de rodovias. A combinação dos dados evita a ocorrência de falsas detecções que poderiam ser causadas pelo efeito de paralaxe de objetos altos, tais como, edificações e vegetação. Um exemplo da eficiência da combinação dos dados é que, a borda da edificação à esquerda na Figura 7a, apresenta a cor vermelha indicando a presença de veículo em movimento. No entanto, na figura 7b mostra que a borda da edificação mencionada não foi detectada, evitando, desta forma, a ocorrência de falsa detecção;
- Porém, com a análise visual da Figura 7b, percebe-se que além dos veículos em movimento terem sido detectados algumas partes no interior do cume da edificação, bem como um veículo estacionado, na parte superior à esquerda, não pertence à classe de veículos em movimento. Isto é, ocorreram falsas detecções;
- Uma das causas do fato acima mencionado pode ser explicada ao visualizar a Figura 7c, onde algumas partes do interior do cume da edificação (pontos pretos), foram rotuladas como V^P (veículos em movimento). Nestas posições o valor de intensidade dos pontos no espaço-objeto, correspondentes aos pixels no espaço-imagem, é similar ao valor de intensidade dos objetos que definem as rodovias (ver Figura 7c, onde é apresentado na imagem de intensidade laser, a edificação mencionada, no qual existem pontos com valor de intensidade médio igual a 40); e
- Outro aspecto a ser mencionado ao visualizar a Figura 7b, são alguns trechos da rodovia que foram detectados e rotulados como V^P , porém são considerados como falsas detecções, pois são objetos que

representam as marcas da rodovia e as faixas do acostamento (ambos apresentados na cor vermelha em alguns trechos da rodovia,

também devido ao efeito de paralaxe dos objetos na geração do anaglifo).



Figura 8: Imagem anaglifo e resultante da subtração entre as imagens 12 e 13.

A partir da análise descrita acima, foi proposto um filtro adicional para melhorar a eficiência do algoritmo na detecção de veículos em movimento, principalmente no que tange a eliminação de falsas detecções. O filtro adicional é derivado de uma subtração das imagens originais coloridas previamente retificadas. A finalidade do filtro adicional é atenuar e/ou eliminar falsas detecções, ou seja, objetos que não são veículos em movimento, desta forma, os resultados apresentados e discutidos a partir da Figura 7b deverão ser eliminados do processamento.

Com o filtro adicional é possível visualizar na imagem resultante apenas os objetos que não possuem homologia nas imagens originais, ou seja, os veículos em movimento na rodovia e as bordas das edificações e árvores, devido ao efeito de paralaxe dos objetos na geração do anaglifo (Figura 8).

Na Figura 8 pode ser observada à esquerda a imagem anaglifo e à direita a imagem resultante da subtração das imagens originais previamente retificadas. Como as bordas das edificações e das árvores não estão presentes sobre a rodovia o uso das informações de intensidade e coordenadas ENH dos pontos no espaço-objeto projetados para o espaço-imagem, elimina automaticamente essas possíveis falsas detecções. No entanto, para solucionar o problema das falsas detecções que ocorrem sobre algumas partes do interior do cume da edificação, mencionada anteriormente, é necessário o uso do filtro adicional, pois todo o interior do cume da referida edificação é eliminado do processamento.

A Figura 9 apresenta o mesmo experimento da Figura 7, mas com uso do filtro adicional.

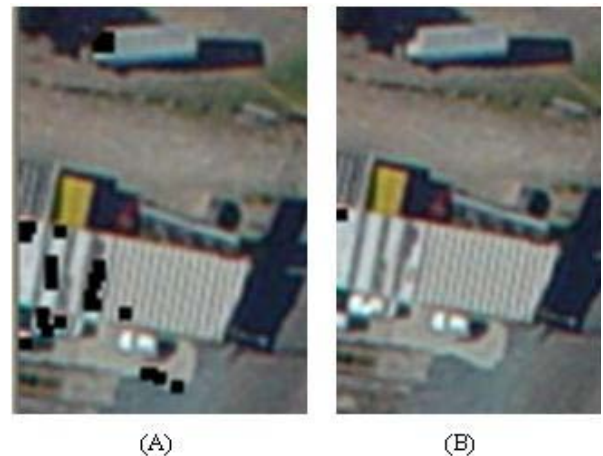


Figura 9: (a) Falsas detecções apresentadas no experimento anterior (Fig. 7); (b) Falsas detecções eliminadas com o uso do filtro adicional.

A análise visual da Figura 9, permite concluir que:

- Na Figura 9a, verifica-se a presença de falsas detecções descritas anteriormente as quais, com o uso do filtro adicional foram eliminadas do processamento, como pode ser visualizado na Figura 9b;
- A Figura 9a (parte superior) mostra o caso em que um veículo estacionado foi falsamente detectado. Porém, com o uso do filtro adicional o mesmo foi eliminado do processamento (9b); e
- Os resultados apresentados indicaram que houve uma melhora significativa na

eficiência do método com o uso do filtro adicional.

A Figura 10 apresenta os demais experimentos realizados com as imagens de alta resolução de números 12 e 13, já com o uso do filtro adicional.



Figura 10: (a) Imagem anaglifo e veículos em movimento (cor vermelha); (b) Veículos detectados pelo algoritmo (pontos pretos sobre os veículos).

Ao visualizar a Figura 10 verifica-se que:

- Entre os 5 veículos em movimento na imagem da Figura 10a, 3 foram detectados com sucesso (Fig. 10b). Os casos em que o algoritmo não foi eficiente são aqueles já comentados; e
- Na Figura 10b, percebe-se que não ocorreram falsas detecções, devido ao efeito de paralaxe das marcas das rodovias e faixa de

acostamento na formação do anaglifo. Apontando novamente a melhoria na eficiência do algoritmo com o uso do filtro adicional.

A Figura 11 apresenta experimentos realizados com as imagens de alta resolução, sem o uso do filtro adicional para que sejam analisados e discutidos outros problemas.

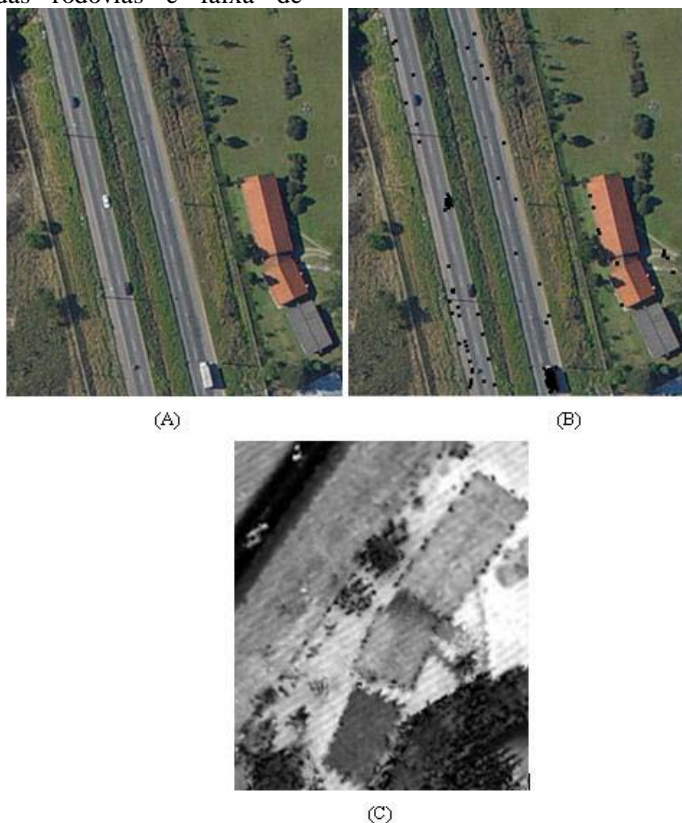


Figura 11: (a) Imagem original; (b) Veículos e marcas da rodovia detectados (pontos pretos); (c) Porção da imagem de intensidade laser.

Com a análise visual da Figura 11, percebe-se que:

- Na Figura 11b, tanto os veículos em movimento quanto algumas marcas da rodovia foram detectados pelo algoritmo, assim como alguns pontos das bordas da edificação à direita da Figura mencionada;
- Os pontos de borda da edificação que aparecem como falsas detecções na figura 11b, deve-se ao fato que, como pode ser visualizado na Figura 11c, os pontos correspondentes na imagem de intensidade

laser (espaço-objeto), possuem valor de intensidade similar ao valor de intensidade do objeto rodovia; e

- No caso descrito acima e no caso das marcas das rodovias serem falsas detecções, novamente o problema pode ser solucionado com o uso do filtro adicional (ver Fig. 12c).

A Figura 12 apresenta o mesmo experimento, porém com o uso do filtro adicional proposto.

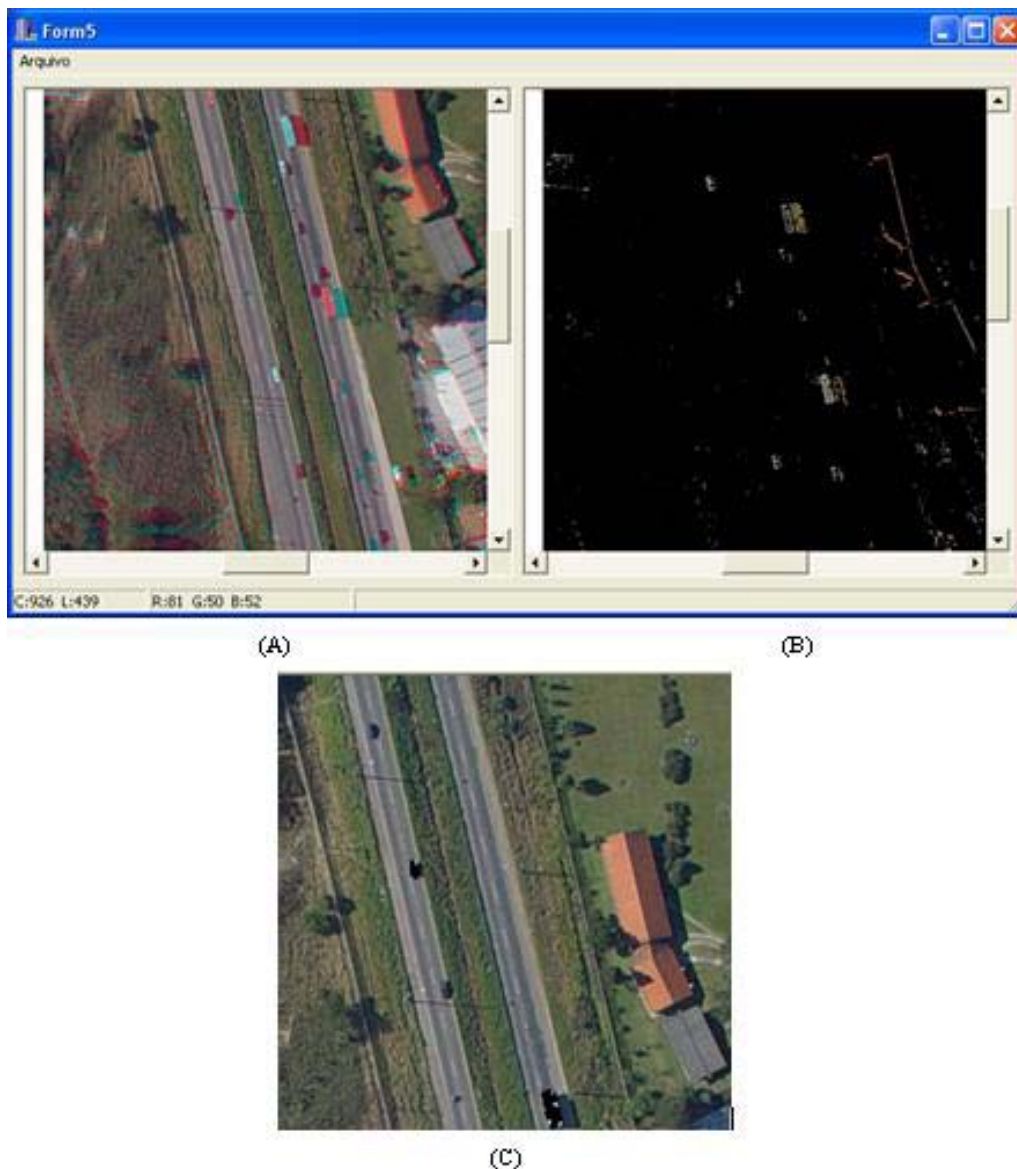


Figura 12: (a) Imagem anaglifo; (b) Imagem resultante do filtro adicional; (c) Veículos detectados (pontos pretos).

Ao analisar visualmente a Figura 12c verifica-se a eficiência do algoritmo com o uso do filtro adicional, pois as bordas das edificações não

foram detectadas tal como apresentado no experimento anterior (Figura 11b). Porém, novamente os veículos em movimento com cores

escuras não foram detectados pelo algoritmo. Sendo assim, pode-se estabelecer uma análise geral dos experimentos realizados:

- Todos os veículos que apresentam cores claras foram detectados com sucesso pelo algoritmo implementado;
- A metodologia apresentou-se com uma eficiência de 88% na detecção de veículos em movimento, no caso dos experimentos realizados. Isto mostra que o modelo implícito desenvolvido é promissor;
- A eficiência da metodologia melhorou significativamente com o uso do filtro adicional e da imagem de intensidade laser. Pois, as ocorrências de falsas detecções são eliminadas do processo, assim como o processamento é restringido aos locais de rodovia, aumentando a velocidade computacional;
- O modelo matemático implícito desenvolvido considera veículos em movimento pertinentes à imagem da esquerda (representados na cor vermelha na imagem anaglifo). Para considerar os veículos em movimento na imagem da direita basta utilizar $\frac{G}{(R+B)}$ (representados na cor ciano na imagem anaglifo). Além de o modelo matemático ser simples, é eficiente na identificação dos veículos em movimento presentes na imagem anaglifo;
- A resolução da imagem é fator de influência na eficiência da detecção dos veículos, pois em imagens com baixa resolução (tamanho do pixel maior que 5 m) não é possível visualizar os objetos de interesse na rodovia;
- Os efeitos de perspectiva que provocam obstruções e de paralaxe dos objetos, em alguns pontos da imagem, principalmente em bordas de edificações, são contornados pelo uso da imagem de intensidade laser que, em casos de não eficiência total (como apresentado nas figuras 7b e 11b), o uso do filtro adicional soluciona o problema, como pode ser visto nas Figuras 8b e 12c;
- O uso de atributos mais eficientes e a implementação de um modelo matemático explícito (perspectiva futura) aumentarão a eficiência e a robustez do método proposto; e
- Um aspecto importante é o desenvolvimento de modelos matemáticos implícitos com atributos radiométricos mais robustos que serão utilizados como injeção ao modelo proposto.

A seguir serão apresentadas as conclusões referentes aos experimentos realizados e discutidos, bem como perspectivas futuras para o desenvolvimento da metodologia proposta.

Revista Brasileira de Cartografia Nº 59/02, Agosto 2007. (ISSN 1808-0936)

5. CONCLUSÕES

A principal característica da metodologia proposta é detectar automaticamente veículos em movimento presentes em rodovias em áreas urbanas com uso de imagens de alta resolução, imagem anaglifo, de intensidade laser e um filtro adicional resultante da subtração das imagens originais previamente retificadas, que compõem o estereopar fotográfico. Neste contexto, o trabalho apresentado mostrou sua potencialidade e eficiência baseada nos resultados obtidos e analisados. Com a análise dos resultados pôde-se concluir que:

a- A imagem anaglifo é bastante promissora na detecção de veículos em movimento presentes em rodovias em áreas urbanas de alta resolução;

b- A metodologia apresentada poderá contribuir efetivamente em várias aplicações, tais como as citadas no item 1 deste trabalho;

c- A eficiência do método proposto depende da qualidade dos parâmetros de orientação exterior da câmara, pois parâmetros de baixa qualidade diminuem a probabilidade de eliminação da paralaxe entre os objetos e aumenta a probabilidade de geração de falsas detecções;

d- O modelo matemático implícito desenvolvido é simples, eficiente, de baixo custo computacional e apresenta resultados promissores para auxiliar o modelo matemático explícito que está sendo desenvolvido para trabalhos futuros;

e- Falsas detecções são eliminadas do processamento com o uso da imagem de intensidade laser e do filtro adicional;

f- O algoritmo é eficiente em 88% dos resultados. Porém esta estatística depende do número de veículos em movimento que possuem cor escura. Um algoritmo de extração de feições retas está sendo desenvolvido para melhorar esta estatística; e

g- O uso da imagem de intensidade melhora a eficiência do método, pois evita que bordas de edificações sejam detectadas como veículos em movimento, pois restringe a detecção apenas à objetos presentes nas rodovias. Ainda assim, em alguns casos, bordas de edificações são detectadas, mas com o uso do filtro adicional são totalmente eliminadas do processamento.

De acordo com os experimentos realizados, a metodologia proposta comporta-se com eficiência. Contudo, sua robustez depende dos fatores apontados acima para que todos os veículos em movimento sejam detectados.

As vantagens do método proposto em relação aos trabalhos relatados na seção 2 são: o uso de duas imagens tomadas sequencialmente, permitindo a formação de uma imagem anaglifo para identificar automaticamente os veículos em movimento; o uso de informações do valor de intensidade e as coordenadas ENH dos pontos no espaço-objeto correspondentes aos pixels que

pertencem ao objeto de interesse para restringir o processamento do algoritmo à locais de rodovia, bem como diminuir o custo computacional e as ocorrências de falsas detecções; o uso do filtro adicional que elimina as possíveis causas de ocorrências de falsas detecções.

Como desvantagens do método, aponta-se a forte correlação existente entre a detecção dos veículos em movimento com a qualidade dos parâmetros de orientação exterior utilizados na normalização das imagens e que não é utilizada para a detecção de veículos com coloração escura. Além disto, a metodologia não se aplica para veículos estacionados.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos à empresa de Aerolevantamentos AGRITEC/S.A., por disponibilizar as imagens aéreas digitais e ao LACTEC por disponibilizar os dados de varredura laser.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM A., **Utilização de modelos estereoscópicos híbridos na atualização cartográfica**, Tese, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pp. 261, 2000.
HINZ S., SCHLOSSER C., REITBERGER J., **Automatic car detection in high resolution urban scenes based on an adaptive 3D – Model**, 2nd

GRSSi/ISPRS Joint Workshop on "Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas" 167, 2005.

LEITLOFF J., HINZ S., STILLA U., **Vehicle queue detection in satellite images of urban areas**, 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, Volume XXXVI, Part 8/W27, Tempe, AZ, USA, March 14-16, 2005.

MIKHAIL E. M., BETHEL J. S., MCGLONE J. C., **Introduction to modern Photogrammetry**, Inc. New York: John Wiley & Sons, pp. 479, 2001
PANTAVUNGKOUR S., SHIBASIKI R., **Feature object detection on the urban road surface by the application of three line scanner imagery**, The 23th Asian Conference on Remote Sensing, Kathmandu, Nepal, November 2003.

RUY R. S., **Geração automática de estereomodelos a partir de imagens digitais georreferenciadas**, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, pp. 133, 2004.

SANTOS, D., R., **Automação da resseção especial de imagens com uso de hipóteses de rodovia como controle de campo derivadas do sistema de varredura laser**, Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Dezembro, pp. 200, 2005.

ZHAO, T., NEVATIA R., **Car Detection in Low Resolution Aerial Images**, Image and Vision Computing Journal, vol.21, no.8, August, pp. 693-703, 2003.