

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE CRUZAMENTOS DE VIAS EM ÁREAS URBANAS USANDO IMAGEM DE INTENSIDADE DO PULSO LASER

Semi-Automatic Extraction of Urban Road Junctions from Intensity Image Derived from Airborne LASER System Data

Dalmar José dos Santos¹
Daniel Rodrigues dos Santos¹
Mario Luis Lopes Reiss²

¹**Universidade Federal do Paraná – UFPR**
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Caixa Postal 19001, CEP: 81531-990 - Curitiba, PR
dalmargeofoto@hotmail.com
danielsantos@ufpr.br

²**Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS**
Departamento de Geodésia
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia - Caixa Postal 15.001, CEP 91501-970 - Porto Alegre, RS
mario.reiss@ufrgs.br

RESUMO

O mapeamento de vias e malhas viárias é de fundamental importância para o desenvolvimento econômico de qualquer país, uma vez que representam os meios para o transporte convencional de bens e pessoas. Neste trabalho é apresentado e avaliado um método semi-automático para a extração do cruzamento de vias com o uso de imagens de intensidade do pulso Laser em cenas correspondentes a áreas urbanas densas. No método proposto, a extração da malha viária é realizada com a aplicação de operadores morfológicos e algoritmos de processamento de imagens que permitem: a geração de eixos de vias; a detecção de hipóteses de cruzamentos; a seleção de pontos de referência; e, por fim, a extração do cruzamento de vias. O método proposto foi testado com dados reais e os resultados obtidos foram analisados e discutidos, permitindo uma avaliação do método, bem como das situações potencialmente problemáticas. Os resultados encontrados demonstraram a viabilidade da extração de vias, em cenas de áreas urbanas densas, formadas por malhas viárias com cruzamentos simples e complexos presentes em imagens de intensidade do pulso Laser.

Palavras chaves: Cruzamentos de Vias, Malhas Viárias, Morfologia Matemática, Intensidade do Pulso Laser.

ABSTRACT

Roads and road networks is highly important for any country's economic progress, since they represent the means for the conventional transport of goods and individuals. The aim of this paper is present and asses a method for semi-automatic extraction of road junctions in the intensity image derived from airborne LASER system (ALS) data taken over urban areas. In the proposed strategy, the road network is extracted by applying morphological operators and image processing algorithms that allow the detection of skeletons, the junctions, selection of the reference points and the roads junction extraction. The proposed strategy was tested with real data and the results were analyzed, allowing an evaluation of the strategy, as well as potentially problematic situations. The results presented in the experiments demonstrated the feasibility of road extraction in urban area scenes, road networks, formed by simple and complex intersections present in image of laser pulse intensity.

Keywords: Road Junction, Road Network, Mathematical Morphology, Intensity Image Derived from ALS Data.

1. INTRODUÇÃO

Os centros urbanos estão em constante mudança devido à necessidade de aberturas de novas zonas de expansão urbana. Isto demanda a abertura de novas vias de acesso que permitem a ligação destas regiões a outras regiões dos centros urbanos. As vias de acesso, de forma geral, são organizadas como uma rede de malhas viárias conectando todas as zonas habitadas e exploradas pelos seres humanos. Quanto maior a densidade da área habitada, maior é a intensidade de uso da sua malha viária que pode ser útil em aplicações de monitoramento de segurança do tráfego; rastreamento de veículos; navegação; e negócios.

A modificação da malha viária provoca contínua desatualização de mapas e cartas topográficas que são utilizadas no cadastro de equipamentos públicos de abastecimento de água, serviços de esgotos, energia elétrica, coletas de água pluvial, rede telefônica, rede de gás canalizado, bens públicos e privados, geralmente relacionadas a um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A atualização da malha viária no SIG é uma tarefa morosa que necessita de muitas horas de iteração homem/máquina e, conseqüentemente, um grande esforço operacional.

Uma abordagem alternativa para reduzir este esforço operacional é a automação do processo de detecção e extração da malha viária a partir de imagens digitais.

Métodos de extração automática e semi-automática de vias ou rodovias em imagens têm sido bastante difundidos na comunidade científica, citam-se os trabalhos publicados por: Baumgartner *et al.* (1996, 1997, 1999a, 1999b); Baumgartner (1998); Dal Poz e Agouris (2000a, 2000b, 2001); Dal Poz *et al.* (2000c, 2000d, 2003, 2005, 2007, 2009, 2010); Dal Poz (2002); Gwinner *et al.* (1999); Hinz *et al.* (1999); Hinz e Baumgartner (2000); Hinz (2008); Ishibashi (2008); Kumar *et al.* (2006); Maktav (2009); Mayunga *et al.* (2007); Mena (2003); Mirnalinee *et al.* (2009); Pateraki e Baltsavias (2002 e 2003); dos Santos *et al.* (2004); Sarabandi *et al.* (2004); Steger (1996, 2000); Steger *et al.* (1997); Shukla *et al.* (2002); Wiedemann (2002); Zhou *et al.* (2005); dentre outros.

Basicamente, os objetos que compõem uma malha viária são: eixos e bordas de rodovias; marcas de sinalização; veículos; sombras projetadas por veículos, edificações e vegetação; e cruzamentos de vias.

Embora as etapas de detecção e extração dos cruzamentos de vias serem essenciais para a geração da malha viária, são raramente abordadas nos métodos de extração de rodovias.

Os principais trabalhos relacionados à extração automática e semi-automática de cruzamento de vias são: Mayer (1998); Barsi *et al.* (2002); Gautama *et al.* (2004);

Gerke (2006); Hinz *et al.* (1999); Hosomura (2008); Lin *et al.* (2008); Mayer *et al.* (1998); Ravanbakhsh *et al.* (2007); Silva e Dal Poz (2003); Teoh e Sowmya (2000); Vale (2003, 2004); Wiedemann (2002); Zanin (2004); Zhang (2003); dentre outros.

Atualmente os estudos sobre a extração do cruzamento de vias estão focados principalmente, no uso de imagens digitais de cenas de área rural onde a paisagem, geralmente, é menos complexa se comparada as da área urbana.

O avanço da tecnologia tem proporcionado novos meios de aquisição de imagens por meio de sensores ativos. Dentro desta perspectiva, o sistema de varredura LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é um sistema de imageamento ativo que, dentre outras funções, registra a intensidade do sinal de retorno do pulso, a medida que o mesmo interage com os objetos presentes no terreno. A partir das informações registradas pelo sistema, em pós-processamento, pode ser produzida uma imagem de intensidade, que tem sido utilizada como uma possibilidade para facilitar a tarefa da extração da malha viária. Trabalhos que integram dados derivados de Fotogrametria e sistema de varredura LASER podem ser encontrados em Hu *et al.* (2004), Zhu *et al.* (2004) e Tiwari *et al.* (2009). Enquanto os trabalhos de Alharthy e Bethel (2003), Clode *et al.* (2004). No trabalho de Clode *et al.* (2007) foram utilizados apenas os dados derivados do sistema de varredura LASER no processo de extração da malha viária.

O objetivo deste trabalho é avaliar em condições reais a potencialidade de um método semi-automático para a extração do cruzamento de vias com o uso de imagens de intensidade do pulso Laser em cenas correspondentes a áreas urbanas densas.

No método proposto os objetos que compõem a cena urbana são segmentados automaticamente e operadores morfológicos e algoritmos de processamento de imagens digitais são aplicados para detecção dos eixos de vias, hipóteses de cruzamentos e pontos de referência das vias, na definição dos pixels de bordas e na extração do cruzamento de vias.

Foram conduzidos experimentos com dados reais e os resultados obtidos mostraram que o método é promissor e possui potencialidade na extração do cruzamento de vias.

2. MÉTODO

2.1. Definição do problema

Nas áreas urbanas densas a complexidade da cena exige o desenvolvimento de algoritmos mais robustos e eficientes no tratamento das oclusões que podem provocar deformidades nas bordas e no interior das vias.

Estas oclusões devem ser identificadas e tratadas para que o processo de extração não seja prejudicado. Objetos naturais e antrópicos (feito pelo homem) como

edificações, veículos, faixas de sinalização e vegetação; apresentam uma grande diversidade de tonalidade, tamanho, forma, textura e localização que dificultam a automação dos processos de interpretação e extração dos cruzamentos de vias.

O cruzamento de vias é a área em que duas ou mais vias se unem, abrangendo todo espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. Eles constituem elementos de descontinuidade em qualquer malha viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. A adoção de um tipo de cruzamento depende, principalmente, da relação existente entre a topografia do terreno, o volume de tráfego de veículos, a sua composição, a capacidade das vias, a segurança, e os custos de implantação e operação. (BRASIL, 2005).

A Figura 1 apresenta os diversos tipos de cruzamentos que serão tratados neste trabalho.

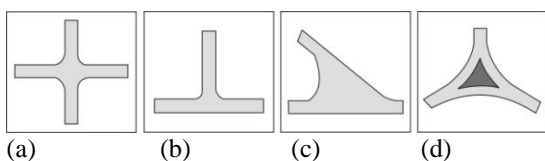


Fig. 1 – Tipos de cruzamentos simples e complexos. (ADAPTADO de SENÇO, 1980).

Na Figura 1a tem-se um cruzamento do tipo “+” não canalizado, na Figura 1b “T” não canalizado, 1c e 1d “Y” com vias de conversão.

Além do tipo, os cruzamentos são classificados como simples, quando apresentam um único ponto de cruzamento, e complexo, quando apresentam mais de um ponto de cruzamento.

Dentre os tipos de cruzamentos apresentados na Figura 1, são considerados cruzamentos simples as Figuras 1a, 1b e 1c, e cruzamento complexo a Figura 1d.

De acordo com Ravanbakhsh (2007) as bases de dados SIG contêm objetos antrópicos dentre os quais as rodovias são de especial importância, pois são utilizadas em diversas aplicações. No modelo conceitual proposto por Ravanbakhsh (2007) o cruzamento de vias é composto de duas partes: ramificações (vias) e cruzamentos.

Os cruzamentos, onde os ramos de vias estão conectados, é composto de borda de cruzamentos e da área central. Um ramo de via é definido em termos de: (a) **geometria**: onde é considerado um objeto retilíneo representado como uma faixa com largura constante e duas bordas paralelas; (b) **radiometria**: onde é considerado com sendo uma região homogênea com alto contraste em seu entorno.

A Figura 2 apresenta o modelo de cruzamentos de vias proposto por Ravanbakhsh (2007).

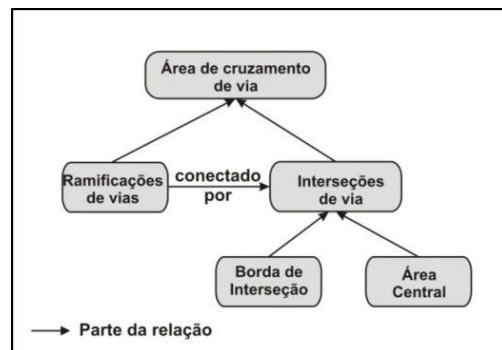


Fig. 2 – Modelo de cruzamento de vias proposto por Ravanbakhsh (2007).

No modelo proposto por Ravanbakhsh (2007), os distúrbios causados por oclusões e sombras não são considerados como parte da solução.

2.2. Metodologia

O método proposto neste trabalho leva em consideração o tratamento das oclusões com objetivo de reduzir os distúrbios por elas causados. Trata-se de uma solução simples e eficiente baseada no uso de imagens de intensidade do pulso LASER em áreas urbanas densas.

A Figura 3 mostra o fluxograma do método semi-automático proposto.

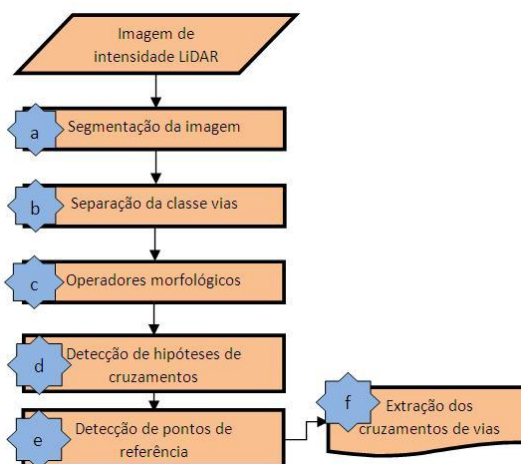


Fig. 3 – fluxograma do método.

De acordo com o fluxograma apresentado na Figura 3, o método apresentado é composto por seis etapas, a saber:

(a) **Segmentação da imagem** – A segmentação da imagem de intensidade do pulso Laser é realizada através da separação dos pixels com valor de tons de cinza menor ou igual a quarenta e cinco (maiores detalhes ver dos Santos *et al.* 2006 e 2008), separando-se desta forma os pixels pertencentes a classe vias. A Figura 4 apresenta a imagem de intensidade do pulso Laser, o objeto vias é discriminado na cena, em relação aos objetos vizinhos,

em função da tonalidade de cinza; o que permite uma segmentação semi-automática simples e eficiente.



Fig. 4 – Porção de uma área da imagem de intensidade do pulso Laser.

(b) **Separação da classe vias** – através de uma função expressão condicional do tipo: **se<condição>então<conseqüência**, os pixels com valor menor que 45 (quarenta e cinco) são separados dos demais formando uma imagem binária sobre a qual é aplicado um filtro de mediana (ver GONZALEZ E WOODS, 2008) que reduz em 30% a quantidade de pixels do exterior e complementa cerca de 5% dos pixels no interior das vias. A Figura 5 apresenta a imagem binária resultante da separação dos pixels pertencentes à classe vias.

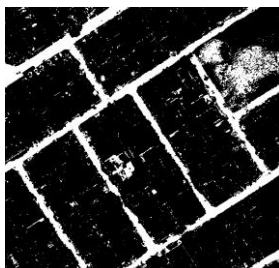


Fig. 5 – Resultado da separação dos pixels pertencentes à classe vias.

Pode-se observar na Figura 5 a existência de uma grande quantidade de pixels da classe vias no interior das quadras. Para a eliminação destes pixels é necessário a aplicação de operadores morfológicos.

(c) **Aplicação dos operadores morfológicos** – Sobre a imagem binária resultante de (b) é aplicado um operador morfológico de erosão com um elemento estruturante em forma de disco (com dimensão de 15 x 15 pixels). Na erosão os pixels externos às vias são eliminados e a falta de pixel no interior das vias, causados por veículos, são fundidos eliminando os vazios no interior das vias. A erosão de A pelo elemento estrutural B , denotada por $A \ominus B$, é definida como (GONZALEZ e WOODS, 2008):

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \cap A^c = \emptyset\} \quad (1)$$

Onde, \ominus representa a operação de erosão, A^c é o complemento de A e \emptyset é o conjunto vazio. A aplicação

do operador morfológico de erosão reduz em 90% os pixels no exterior e complementa 90% dos pixels do interior das vias. A Figura 6 apresenta o resultado da aplicação do operador morfológico de erosão.

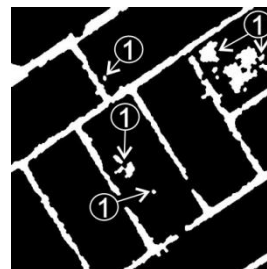


Fig. 6 – Resultado da aplicação do operador morfológico de erosão.

Pode-se observar na Figura 6 a existência de pixels da classe vias no interior das quadras, os quais se encontram indicados com o número 1. A eliminação destes pixels é realizada em três etapas:

- transformação dos pixels em polígonos fechados. Nesta etapa é aplicado um operador morfológico, na imagem binária da Figura 6, com um elemento estruturante de valores unitários de 4 x 4 pixels que define com o valor zero os pixels que possuem quatro vizinhos conectados, obtendo-se desta forma as bordas dos pixels. A Figura 7 apresenta este resultado;
- separação e quantificação de pontos dos polígonos. Na figura 7 pode-se observar a formação dos polígonos de vias identificados com o número 1, 2, 3, 4 e 5 e os demais polígonos que não pertencem a classe vias;

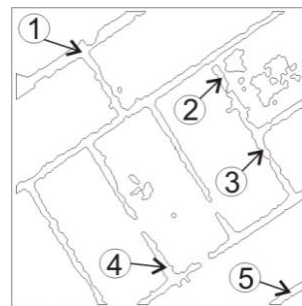


Fig. 7 – Resultado dos polígonos identificados na imagem.

- eliminação dos polígonos que não pertencem a classe vias e o preenchimento dos polígonos identificados no interior das vias. Para a eliminação e ou preenchimento de polígonos consideram-se os seguintes critérios:

- **Critério (1):** o maior polígono e os polígonos com mais do que 30% da quantidade de pontos deste polígono recebem o *status* de não deleção. Na Figura 7 estes polígonos estão identificados com os números 1, 3 e 4. Os demais polígonos são analisados pelo critério (2).

- **Critério (2):** de acordo com este critério é inserido o *status* de deleção nos polígonos que possuem quantidade

de pontos menor do que 30% da quantidade de pontos do maior polígono, na Figura 7 é o caso dos polígonos identificados com os números 2 e 5; e todos os polígonos sem número de identificação. Os polígonos identificados neste critério são analisados pelos critérios (3) e (4).

- **Critério (3):** neste critério é analisado se o polígono que será eliminado está contido ou não no interior de polígonos de via [identificados pelo critério (1)]; caso a resposta seja afirmativa o polígono é separado e analisado pelo critério (4);

- **Critério (4):** neste critério verifica se os pixels do interior do polígono separado pelo critério (3) possuem valor zero e em caso afirmativo aplica-se a substituição do status do polígono para preencher. Isto define o preenchimento do polígono com pixels de valor (1) até o limite de sua borda.

A aplicação destes critérios elimina os pixels de vias, classificados erroneamente no interior das quadras e preenche todos os vazios causados, no interior das vias, pelas obstruções de veículos e faixas de sinalização. A Figura 8 apresenta a imagem binária resultante do procedimento de eliminação e preenchimento de polígonos da classe vias, proposto neste trabalho.



Fig. 8 – Resultado do processo de eliminação e preenchimento de polígonos da classe vias.

Sobre a imagem resultante (Figura 8) é aplicado um operador morfológico de esqueletização (afinamento) e poda. O afinamento de um conjunto A pelo elemento estruturante B , denotado por $A \otimes B$, pode ser definido em termos da transformada de acerto ou erro (*hit or miss*), demonstrada a seguir (GONZALEZ e WOODS, 2008):

$$A \otimes B = A \cap (A \oplus B)^c \quad (2)$$

Onde \otimes representa a operação de esqueletização e \oplus representa a transformada $A \oplus B$. A expressão usada para o afinamento simétrico de A é baseada numa seqüência de elementos estruturantes, a saber, (GONZALEZ e WOODS, 2008):

$$\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\} \quad (3)$$

Onde B^i é a versão rotacionada de B^{i-1} . Usando este conceito, afinamento pode ser definido por uma seqüência de elementos estruturais como segue:

$$A \otimes \{B\} = ((\dots(A \otimes B^1) \otimes B^2) \dots) \otimes I \quad (4)$$

Como pequenos segmentos são formados durante o processo de afinamento deve ser aplicado um operador morfológico de poda para eliminar ruídos espúrios.

A poda de um conjunto de entrada A com uma seqüência de elementos estruturados designados para detectar somente pontos finais é realizada através da seguinte definição:

$$X_1 = A \textcircled{B} \quad (5)$$

Onde \textcircled{B} denota o elemento estruturado mostrado nas Figuras 9b e 9c.

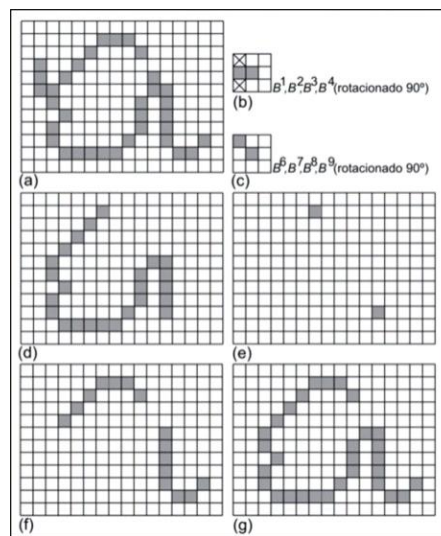


Fig. 9 – Exemplo de algoritmo de poda. (a) imagem original; (b) e (c) elementos estruturantes usados na eliminação de pontos finais; (d) resultado de três ciclos de afinamento; (e) Pontos finais; (f) dilatação e pontos finais condicionados; (g) resultado da aplicação do algoritmo de poda na imagem original. (FONTE: GONZALEZ e WOODS, 2008)

A solução deste problema está baseada na supressão dos pequenos segmentos por sucessivas eliminações de pontos finais. Neste trabalho foram utilizados elementos estruturantes com dimensão de 3 x 3 pixels (para maiores detalhes ver GONZALEZ e WOODS, 2008). A Figura 10 apresenta o resultado da esqueletização. Isto permite a detecção de hipóteses de cruzamento de vias.

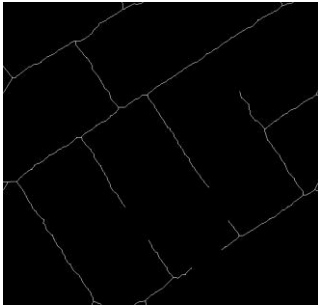


Fig. 10 – Resultado da esqueletização da classe vias.

(d) **Deteção de hipótese de cruzamentos** – A imagem (Figura 10) é varrida em linha e coluna e ao se encontrar um pixel do esqueleto, uma máscara 3 x 3 pixels é sobreposta, capturando-se todos os valores de pixels da imagem (Figura 10), aplicando em seguida um somatório destes valores. Para que um pixel do esqueleto obtenha o *status* hipótese de cruzamento ele deve atender um critério, isto é: o somatório dos pixels, no interior da máscara, deve estar no intervalo entre (3 e 4). Caso o critério seja atendido, a posição que os pixels, com valor unitário, ocupam na máscara 3 x 3, determina o tipo de cruzamento existente. A tabela 1 apresenta os tipos de cruzamentos considerados nos experimentos.

Tabela 1 – Tipos de cruzamentos.

Tipo de Cruzamento	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 04
T				
Y				
Y com diversas direções				
Cruz				

Na Tabela 1 a cor cinza, no inteiro das máscaras (3 x 3), indica a posição ocupada pelo pixel com valor 1 (um). Caso a distribuição dos pixels unitários da máscara 3 x 3 atendam a um dos tipos apresentados na Tabela 1, as coordenadas (linha, coluna) do pixel central da máscara são armazenadas na matriz (hipóteses de cruzamentos), gerando pontos de localização das hipóteses de cruzamentos. A Figura 11 apresenta, com círculo na cor branca, as hipóteses de cruzamentos encontrados.



Fig. 11 – Resultado das vias, eixos de vias e hipóteses de cruzamentos.

Na Figura 11 os retângulos, na cor branca, indicam a localização dos falsos positivos sendo necessária a determinação dos pontos de referência dos cruzamentos.

(e) **Determinação semi-automática de pontos de referência dos cruzamentos** – Para a eliminação dos falsos positivos, a matriz (determinada no processo anterior) é percorrida do primeiro ao último ponto

seguinte os passos, a saber: as coordenadas dos pontos de hipótese de cruzamento são utilizadas como pixel central; a partir deste pixel central é definido um buffer com dimensão 20 x 20 pixels; sobre as bordas deste buffer são analisados os seguintes critérios:

- **Critério (5):** a existência de no mínimo 2 (dois) pixels pertencentes à borda das vias;
- **Critério (6):** a existência de pelo menos dois pixels pertencentes ao esqueleto das vias;
- **Critério (7):** caso sejam atendidos os critérios (5) e (6), o ponto recebe o *status* de ponto de dando origem a matriz (cruzamentos) que contém as coordenadas (linha, coluna) dos cruzamentos das vias.

(f) **Extração do cruzamento de vias** – A matriz (cruzamentos) é percorrida do primeiro ao último ponto seguinte os passos, a saber: as coordenadas do ponto de referência do cruzamento são utilizadas como pixel central; a partir do pixel central é definido um buffer com dimensão 20 x 20 pixels; os pixels de borda da classe vias, dentro do buffer, são percorridos sendo marcados como pertencentes ao cruzamento da vias, aqueles ao limite interno do buffer.

Os pixels de borda dos cruzamentos das vias, muitas vezes, formam segmentos lineares que produzem um efeito conhecido como *aliasing* (dente de serra). A Figura 12 apresenta (em vermelho) o segmento linear que une os pontos $D1(x1, y1)$ e $D2(x2, y2)$, e (em cinza) os pixels de borda da via com o efeito *aliasing*.

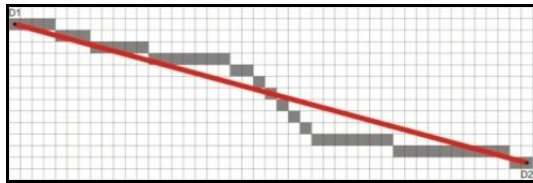


Fig. 12 – Efeito *aliasing*.

Este efeito pode ser minimizado aplicando-se o algoritmo de Bresenham (1965). A princípio, considere um segmento de reta cujas coordenadas $D1(x_1, y_1)$ e $D2(x_2, y_2)$, são todas inteiras, pertencentes ao primeiro quadrante e dentro do espaço imagem, respeitando as seguintes relações, a saber: $0 < x_1 < x_2$; $0 < y_1 < y_2$; $y_2 - y_1 < x_2 - x_1$.

Se a linha formada pelo segmento linear na Figura 12 passa acima ou abaixo do ponto médio $(x + 1, y + \frac{1}{2})$. Então, uma variável de decisão V (equação 6), é dada pela classificação do ponto médio em relação ao semi-espaço definido pelo segmento linear, como apresentado na Figura 13.

$$(ax + by + c = V)$$

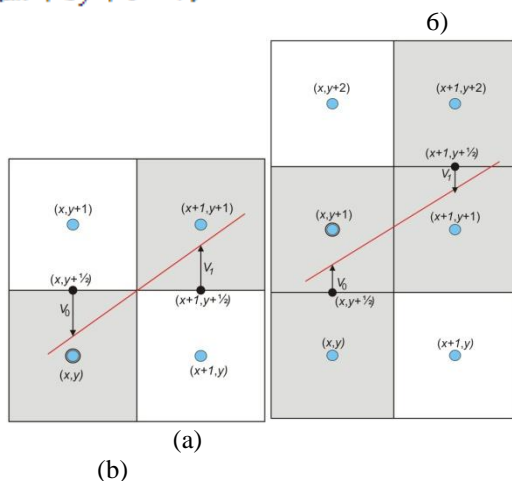


Fig. 13 – Algoritmo de Bresenham (a) caso 1; (b) caso 2.

No caso 1: ($V < 0$), o segmento linear, representado na cor vermelha, passa abaixo do ponto médio, localizado entre o centro do pixel (x, y) e o pixel $(x, y + 1)$, como indicado na Figura 13a. Sendo assim, $V_1 = V_0 + a$, onde $V_0 = ax + b(y + \frac{1}{2}) + c$; e $V_1 = a(x + 1) + b(y + \frac{1}{2}) + c$.

No caso 2: ($V > 0$), o segmento linear passa acima do ponto médio localizado entre o centro do pixel (x, y) e o pixel $(x, y + 1)$, como indicado na Figura 13b. Sendo assim, $V_1 = V_0 + a + b$.

Em ambos os casos os coeficientes do segmento de reta são:

$$a = y_2 - y_1 \quad 7)$$

$$b = x_1 - x_2 \quad 8)$$

$$c = x_2 y_1 - x_1 y_2 \quad 9)$$

Para iniciar o algoritmo, o valor de V em $(x_1 + 1, y_1 + \frac{1}{2})$ é dado por:

$$V = 2 * a + b \quad 10)$$

A seguir serão apresentados os experimentos e os resultados obtidos com a aplicação do método proposto neste trabalho.

3. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para conduzir os experimentos apresentados neste trabalho foram utilizados os seguintes dados, a saber: um arquivo bruto ASCII de pontos por linha, contendo coordenadas tridimensionais referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), derivado do sistema de varredura LASER ALTM 2050 aerotransportado, com 2,24 pontos/m², interpolado para 80 cm por meio da técnica de interpolação conhecida como inverso do peso da distância e seus respectivos valores de intensidade do pulso LASER refletidos pelos objetos perfilados na superfície física. É importante lembrar que os dados utilizados nos experimentos recobrem parte da região de Curitiba, especificamente, a região do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. A imagem de intensidade do pulso Laser é composta por 60% de objetos antrópicos e 40% de objetos naturais.

Os algoritmos utilizados para conduzir os experimentos foram implementados na linguagem C++ BUILDER 6.0 para Windows e em MATLAB.

Onze experimentos foram realizados e as Figuras 14 e 15 mostram os resultados encontrados com a aplicação das etapas (a até f), apresentadas no fluxograma da Figura 3.

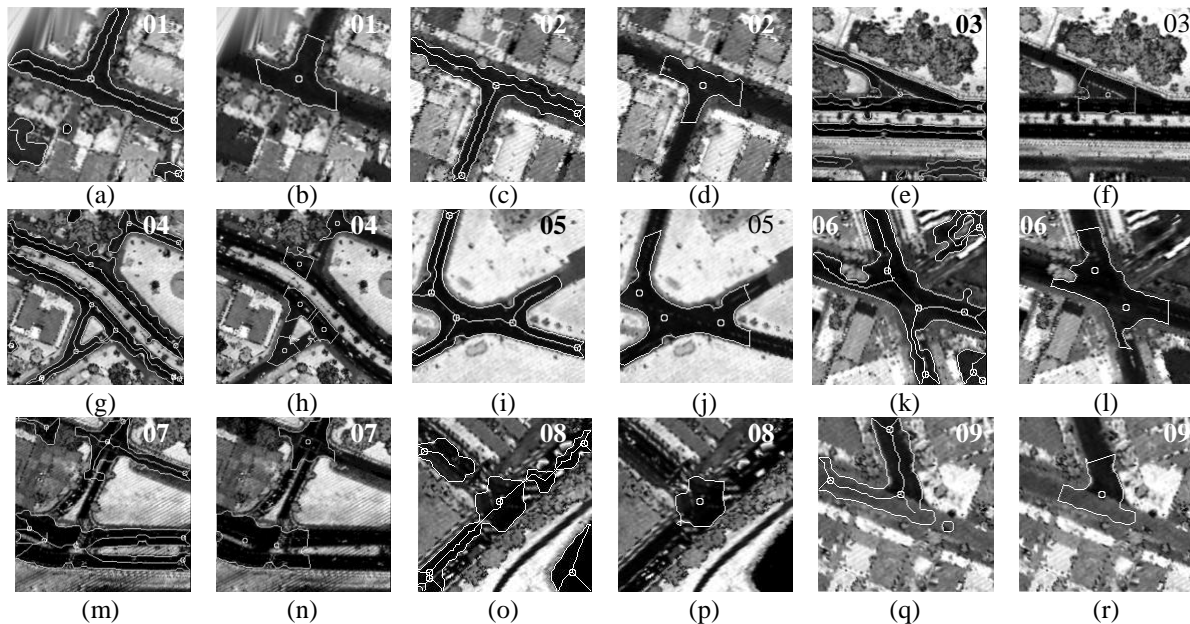


Fig. 14 – Experimentos 01-09. (a), (c), (e), (g), (i), (k), (m), (o) e (q) hipóteses de cruzamentos e pontos de referência de vias detectados; (b), (d), (f), (h), (j), (l), (n), (p) e (r) cruzamentos de vias extraídos.



Fig. 15 – Experimentos 10 e 11 com os pontos de referência e os cruzamentos de vias extraídos na imagem de intensidade do pulso Laser.

Para auxiliar a avaliação e discussão dos resultados, os cruzamentos foram separados em duas classes, a saber:

- **Cruzamentos simples:** formados por um único ponto de cruzamento de via do tipo “Cruz (+)” formado por 4 ramos de vias (ver Figura 14 - experimentos 01, 02, 03, 08 e 09 e Figura 15 experimentos 10 e 11);

- **Cruzamentos complexos:** formados por mais de um ponto de cruzamento de via dos tipos “T” e “Y”. Isto permite analisar o comportamento do algoritmo na extração do cruzamento (ver Figura 14 - experimentos 04, 05, 06 e 07).

Considerando válidos os experimentos que obtiveram no mínimo 50% dos pontos de referência de cruzamento de vias detectados; de um total de 11 (onze) experimentos realizados (ver Figuras 14 e 15), apenas em 1 (um) caso não houve solução para o problema (ver na Figura 15 do experimento 11 o retângulo na cor branca). Isto demonstra a viabilidade do método semi-automático proposto neste trabalho.

No experimento (11) a solução da extração dos cruzamentos de vias foi parcial. Dos 10 (dez) cruzamentos de vias presentes na cena, 9 (nove) foram resolvidos com a aplicação do método proposto, resultando um total de 90,00% de acerto. O cruzamento de via parcialmente solucionado (ver na Figura 15 do experimento 11 o retângulo na cor branca), apresenta

regiões com falha na formação da imagem de intensidade do pulso Laser; o que dificultou a solução do problema.

Outro fator que dificulta a eficiência do algoritmo é o tipo de revestimento do asfalto, refletindo na sua resposta espectral. Como o limiar pré-estabelecido é de 45 (valor escolhido em função da resposta atribuída ao objeto vias na imagem de intensidade do pulso Laser e armazenada no arquivo bruto derivado do sistema, ver Santos *et al.* (2004), o algoritmo não segmenta corretamente as regiões supracitadas.

Nos demais experimentos, todos os pontos de referência e cruzamentos de vias foram detectados e extraídos, respectivamente. Ou seja, um total de 91,70% de experimentos foram totalmente solucionados.

Ao se observar as Figuras 14 e 15 percebe-se a complexidade da cena em áreas urbanas, provocada pela presença de veículos, vegetação e diferença do tipo de asfalto. Esses elementos prejudicam o delineamento perfeito dos pixels de borda das vias. Entretanto, o método apresentado solucionou a extração de cruzamentos de vias.

Em todos os experimentos, o algoritmo de Bresenham suavizou ou melhorou a definição dos pixels de borda que delineiam as vias.

É interessante notar que em alguns casos, os cruzamentos de vias não apresentam formas bem definidas, uma vez que este fator está relacionado com a quantidade de perturbações presentes no cruzamento; o que não eliminou a possibilidade do algoritmo extrair os cruzamentos destas vias.

Entretanto, a falta de refinamento no delineamento dos cruzamentos de vias extraídos era esperada, tendo em vista que este detalhe não é proposto neste trabalho.

Outro aspecto a ser notado é que o operador morfológico de erosão não desconecta os pixels de borda em função da presença de perturbações, o que facilita a detecção das hipóteses de cruzamentos de vias e posteriormente sua extração.

No caso do detector de bordas de Canny o problema das perturbações reflete consideravelmente na detecção das bordas e, conseqüentemente, dificulta o processo de extração de vias.

De uma forma geral, os cruzamentos de vias são totalmente extraídos; embora algumas oclusões e perturbações ligadas às bordas das vias também são extraídas.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi apresentado e avaliado um método semi-automático para a extração do cruzamento de vias com o uso de imagens de intensidade do pulso Laser em cenas correspondentes a áreas urbanas densas.

No método proposto a extração da malha viária é realizada através da separação dos pixels da classe vias, na imagem de intensidade do pulso Laser, pela aplicação do valor limiar menor que 45 (quarenta e cinco) para a resposta espectral dos pixels da imagem.

Após a separação e o tratamento da malha viária foram aplicados operadores morfológicos e algoritmos de processamento de imagens para a geração de eixos de vias, a detecção de hipóteses de cruzamentos, a seleção de pontos de referência e a extração do cruzamento de vias.

O método proposto foi testado com dados reais e os resultados obtidos foram analisados e discutidos, permitindo uma avaliação do método, bem como das situações potencialmente problemáticas.

Os resultados obtidos mostraram a viabilidade do método proposto aplicados, em imagens de intensidade do pulso Laser de cenas de áreas urbanas densas, para extração dos cruzamentos de vias formados por malhas viárias com cruzamentos simples e complexos.

Baseado nas análises dos resultados encontrados foi observado que as oclusões ocasionadas por veículos e sombras de objetos projetadas sobre as bordas das vias não prejudicaram a localização do eixo e, conseqüentemente, a extração do cruzamento de vias, devido ao uso dos critérios (1) a (4) propostos e descritos no subitem 2.2 estratégia (c).

O tempo de processo dos experimentos variou de acordo com o tamanho de linha e coluna da imagem do cruzamento de via. O uso do MATLAB não se mostrou favorável as aplicações com imagens de dimensão maiores que 1000 x 1000 pixels e esta limitação deve ser levada em consideração no caso de aplicações futuras.

Considerando que são válidos os experimentos que obtiveram mais do que 50% dos pontos de referência e a extração de cruzamento de vias pode-se afirmar que o método proposto solucionou 94,44% dos casos.

Embora o sucesso da extração dos cruzamentos de vias, as bordas dos cruzamentos não se apresentam bem definidas. Entretanto, este resultado era esperado, uma vez que o refinamento dos mesmos não foi tema de pesquisa neste trabalho.

Apesar da complexidade da cena correspondente a áreas urbanas, para o caso presente, ou seja, com o uso de imagens de intensidade do pulso Laser, o algoritmo se comportou eficientemente e sua potencialidade foi testada e avaliada.

Por fim, recomenda-se: a implementação de algoritmos de detecção e análise de áreas de sombra e a localização de faixas e veículos existentes sobre a pista rolamento das vias, para melhorar a eficiência do algoritmo implementado para extração semi-automática de cruzamentos de vias usando imagens de intensidade do pulso Laser; desenvolver um método para refinamento

das bordas dos cruzamentos extraídos em áreas urbanas; integrar dados espaciais de outras fontes de informação; e estudar a aplicabilidade de diferentes tipos de amostras relacionadas com as características espectrais do asfalto da via.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao e ao LACTEC pelo fornecimento da imagem de intensidade do pulso Laser e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio concedido ao projeto: Jovens Pesquisadores n.º. 570316/2008.

REFERÊNCIAS

- ALHARTHY, A., BETHEL, J. 2003. Automated Road Extraction from LIDAR Data. In: **Proceedings of ASPRS Annual Conference**.
- BAUMGARTNER, A., STEGER, C.T., WIEDEMANN, C., MAYER, H., ECKSTEIN, W., EBNER, H., 1996. Update of Roads in GIS from Aerial Imagery: Verification and Multi-Resolution Extraction. In: **IAPRS International archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 31 (b3), pp. 53-58.
- BAUMGARTNER, A., STEGER, C., MAYER, C., ECKSTEIN, W., EBNER, H., 1999a. Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context. In: **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 65 (7), p. 777-785.
- BAUMGARTNER, A., ECKSTEIN, W., HEIPKE, C., HINZ S., MAYER, H., RADIG, B., STEGER, C., WIEDEMANN, C., 1996b. T-rex: tum research on road extraction. In: Heipke, C., Mayer, H. (Eds.), *Festschrift für Prof. Dr. Ing. Heinrich Ebner zum 60. Geburtstag*, Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, p. 43-64.
- BAUMGARTNER, A., ECKSTEIN, W., MAYER, H., HEIPKE, C., EBNER H., 1997. **Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**. Ed. A. Gruen – Basel, Boston, Berlin, Birkhauser, 2, p. 299-302.
- BAUMGARTNER, A., 1998. A. Extraction of roads from aerial imagery based on grouping and local context. In: **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, ISPRS Symposium, Commission III, Columbus, Ohio, USA, jul. 6-10, 32 (3/1), p. 196-201.
- BARSI, A., HEIPKE, C., WILLRICH, F., 2002. Junction extraction by artificial neural network system jeans. In: **ISPRS Technical Commission III Symposium 2002. Photogrammetry Compute Vision, PCV'02, Graz 2002 International**. Arch. Photogrammetry and Remote Sensing. Graz, Australia, 34 (b-18), p. 9-13.
- BRASIL, 2005. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto de interseções**. 2.ed. 528 p., Rio de Janeiro.
- BRESENHAM, J., 1965. Algorithm for Computer Control of a Digital Plotter. In: **IBM Systems Journal**, 4 (1), p. 25-30.
- CANNY, J., 1986. **A Computational approach to edge detection**, **IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine Intelligence**, 8 (6), p. 679-698.
- CLODE, S., KOOTSOOKOS, P., ROTTENSTEINER, F. 2004, The automatic extraction of roads from LIDAR data. In: **ISPRS**, p. 231-237.
- CLODE, S., ROTTENSTEINER, F., KOOTSOOKOS, P., ZELNIKER, E. 2007. Detection and vectorisation of roads from LIDAR data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 73(5): 517-535.
- DAL POZ, A. P., AGOURIS, P., 2000a. Georeferenced road extraction and formulation of hypotheses for new road segments. In: **Spie's 12th annual international symposium on aerospace/defense sensing, simulation, and control**, V. 4054, 2000, Orlando-FL, USA – Conference Automated Geo-Spatial Image and Data Exploitation, Orlando-FL, USA, p. 56-65.
- DAL POZ, A. P., AGOURIS, P., 2000b. Extração semi-automática de rodovias usando programação dinâmica. In: **II Workshop Brasileiro de Geoinformática**, São Paulo, p. 3-9.
- DAL POZ, A. P., GYFTAKIS, S., AGOURIS, P., 2000c. Semi-automated Road extraction: Comparison of methodologies and experiments. In: **DC 2000 ASPRS ANNUAL CONFERENCE**, 2000. Washington-DC, EUA. DC.
- DAL POZ, A. P., AGOURIS, P., GYFTAKIS, S., 2000d. Metodologias para a Extração Semi-automática de rodovias em imagens digitais: In: **IV Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis – SC: UFSC.
- DAL POZ, A. P., AGOURIS, P., 2001. Um algoritmo de otimização global para a extração de rodovias em

imagens digitais. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, 53, p. 65-72.

DAL POZ, A. P., VALE, G. M., OLIVEIRA, R. M. S., 2003. Extração semi-automática de rodovias em imagens digitais usando metodologias baseadas em programação dinâmica e contorno ativo. In: **XXI Congresso Brasileiro de Cartografia**, Belo Horizonte, Minas Gerais, 134-f14.

DAL POZ, A. P., VALE, G. M., 2003. Dynamic programming approach for semi-automated road extraction from medium- and high- resolution images. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**, Munique, Vol. 34, pp. 87-91. *Machine Vision and Applications*, 12 (1), pp. 22-31.

DAL POZ, A. P., ZANIN, R. B., VALE, G. M., 2005. Extração automática da malha viária em imagens de média e alta resolução de cenas rurais. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia - GO, 16-21 abril, p.1183-1190.

DAL POZ, ZANIN, R. B., VALE, G. M., 2007. Extração automática de feições rodoviárias em imagens digitais. In: **SBA Controle & Automação**, 18 (1), p. 44-54.

DAL POZ, HABIB, A. F., MARCATO, V. J., CORREIA, L. S., 2009. Uso de dados fotogramétricos no refinamento geométrico de contornos de telhados de edifícios extraídos de dados laser. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. artigos, Curitiba, 15 (4), p.594-614.

DAL POZ, GALLIS, R. A., SILVA, J. F. C., 2010. Extração semi-automática de rodovia baseada em um par estéreo de imagens aéreas e em otimização por programação dinâmica no espaço-objeto. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. artigos, Curitiba, 16 (2), p.189-209.

GAUTAMA, S., GOEMAN, W.; D'HAeyer, J., 2004. Robust detection of road junctions in VHR images using an improved ridge detector. In: **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 35 (b3), p. 815–819.

GERKE, M., 2006. Automatic quality assessment of road databases using remotely sensed imagery. In: **Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover** 261, and Deutsche Geodatische Kommission, Reihe C, n. 599. Beck Verlag Munchen – Germany, p.105.

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. 2008 **Digital image processing**. 3. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

GWINNER K., HAUBER E., HOFFMANN H., SCHOLTEN F., JAUMANN R., NEUKUM G., PUGLISI G., COLTELLI M., 1999. The HRSC-A Experiment on High Resolution Multispectral Imaging and DEM Generation at the Aeolian Islands. In: **13th Int. Conf. on Applied Geologic Remote Sensing**, Vancouver B.C., Canada, 1, p. 560-569, 1-3 mar.

HINZ, S., BAUMGARTNER, A., STEGER, C., MAYER, H., ECKSTERIN, W., EBNER, H., RADING, B., 1999. Road Extraction in Rural and Urban Areas. In: **Proc. of Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps (SMATI)**, München. Ed. Förstner, Liedtke and Bückner.

HINZ, S., BAUMGARTNER, A., 2000. Road extraction in urban areas supported by context objects. In: **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing** 33 (b3), p. 405– 412.

HINZ, S., 2008. Automatic object extraction for change detection and gis update. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPR08. 37 (B4), p.277-284, Beijing, China.

HOSOMURA, T., 2008. Road extraction from high resolution satellite image by using circle area. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPR08. 37 (B3b), 505 ff, Beijing, China.

HU, X., TAO, C. V., HU, Y., 2004. Automatic road extraction from dense urban area by integrated processing of high resolution imagery and LIDAR data. In: **ISPRS**, p.320-325.

ISHIBASHI, R., 2008. Extração de segmentos de rodovias em imagens de resolução variadas usando o princípio de bordas paralelas. 136 f. **Dissertação de Mestrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP**, Presidente Prudente - SP.

KUMAR, K. V., MARTHA, T. R., ROY, P. S., 2006. Mapping damage in the Jammu and Kashmir caused by 8 October 2005 Mw 7.3 earthquake from the Cartosat-1 and Resourcesat-1 imagery. In: **International Journal of Remote Sensing**, 27 (20), p. 4449-4459.

LIN, X. G., ZHANG, J. X., LIU Z. J., SHEN, J., 2008. Semi-automatic extraction of ribbon roads from high resolution remotely sensed imagery by cooperation

between angular texture signature and template matching. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPR08, 37 (B3b), Beijing, China.

MAKTAV, D., 2009. Integration of remote sensing and SIG for archaeological investigations. In: **International Journal of Remote Sensing**, 30 (7), p. 1663-1673.

MAYER, H., LAPTEV, I., BAUMGARTNER, A., 1998. Multi-scale and snakes for automatic road extraction. In: **5th Europe. Conf. on Comput. Vision**, 1, p. 720-733.

MAYUNGA, S. D., COLEMAN, D. J., ZHANG, Y., 2007. A semi-automated approach for extracting buildings from Quickbird imagery applied to informal settlement mapping. In: **International Journal of Remote Sensing**, 28 (10), p. 2343-2357.

MENA, J. B., 2003. **State of the art on automatic road extraction for SIG update: a novel classification**. Pattern Recognition Lett. 24 (16), p. 3037-3058.

MIRNALINEE, T. T., SUKHENDU D., VARGHESE, K., 2009. Integration of Region and Edge-based information for Efficient Road Extraction from High Resolution Satellite Imagery. In: **Advances in Pattern Recognition**, 2009. ICAPR '09. Seventh International Conference, p. 373-376.

PATERAKI, M. N., BALTSAVIAS, E., 2002. Adaptive multi-image matching algorithm for the airborne digital sensor ADS40. In: **Proceedings of the Map Asia 2002**, Asian Conference on SIG, GPs, Aerial Photography and Remote Sensing, Bangkok, Thailand, 7-9.

PATERAKI, M. N., BALTSAVIAS, E. P., 2003. Analysis and performance of the adaptive multi-image matching algorithm for airborne digital sensor ADS40. In: **Institute of Geodesy and Photogrammetry**, EHTZ-Hoenggerberg, Zürich, Switzerland.

RAVANBAKHS, M., HEIPKE, C., PAKZAD, K., 2007. Road junction extraction from high resolution aerial images. In: **Proceeding of International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Munich, Germany, p. 131-138.

DOS SANTOS, D. R., DALMOLIN, Q., BÄHR, I. H. H. P., 2004. Construção Automática de Hipóteses de Objetos Lineares em Imagens Digitais e Varredura Laser. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 56 (2), p.111-121.

DOS SANTOS, D. R., DALMOLIN, Q., MASSO, M. A., ARAKI, H., 2008. Uso de oclusões no reconhecimento automático de veículos em áreas urbanas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 14, p. 21-34.

SARABANDI, P., YAMAZAKI, F., MATSUOKA, M., KIREMIDJIAN, A., 2004. Shadow detection and radiometric restoration in satellite high resolution images. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, 2004, IGARSS '04, Proceedings, 2004 IEEE International, Anchorage, Alaska, USA, 6, p. 3744-3747.

SENÇO, W., 1980 **Estrada de Rodagem: projeto**. Grêmio Politécnico – São Paulo.

SILVA, M. A. O., DAL POZ, A. P., 2003. Detecção e reconstrução automática de junções de rodovia em imagens digitais de cenas rurais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 9 (2), p. 263-281.

STEGER, C., 1996. An unbiased detector of curvilinear structures, Technical Report FGBV-96-03, Forschungsgruppe Bildverstehen (FG BV), Informatik IX, Technische Universität München.

STEGER, C., MAYER, H., RADIG, B., 1997. The Role of Grouping for Road Extraction. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II)**, Armin Gruen, Emmanuel Baltsavias, Olof Henricsson (Editors), Birkhäuser Verlag, p. 245-256.

STEGER, C., 2000. Subpixel – Precise Extraction of Lines and Edges. IN: **ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, 33 (b3), p. 141-156.

SHUKLA, V., KANTH, R. C., RAMACHANDRAN, R., 2002. Semi-Automatic Road extraction algorithm for high resolution images using path following approach, In: **III Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing**, Ahmedabad - India, p. 311, 16-18.

TEOH, C., SOWMYA, A., 2000. Junction Extraction from high resolution images by composite learning. In: **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 333 (B3), p.882 – 888.

TIWARI, P. S., PANDLE, H., PANDEY, A. K., 2009. Automatic urban road extraction using Airborne Laser Scanning/altimetry and high resolution satellite data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, 37(2): 223-231.

VALE, G. M., DAL POZ, A. P., 2003. Metodologia modificada de programação dinâmica para a extração acurada do eixo de rodovias em imagens digitais. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, 55 (1), p.11-20.

VALE, G. M., 2003. Extração semi-automática do eixo de rodovia em imagens de média e alta resolução usando programação dinâmica. 116 f. **Dissertação de Mestrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP**, Presidente Prudente - SP.

VALE, G. M., GALVANIN, E. A. S., DAL POZ; A. P., 2004. O detector de Canny-EDP: uma combinação entre as teorias de Canny e de difusão anisotrópica não linear. **RBC – Revista Brasileira de Cartografia**, 56 (2).

WIEDEMANN, C., 2002. Improvement of Road Crossing Extraction and External Evaluation of the Extraction Results. In: **Proc. of the ISPRS Commission III Symposium on Photogrammetric Computer Vision (PCV'02)**, Graz/Austria 09.-13.09.2002. Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, 34 (3B), p. 297-300.

WITTEN, I. H., FRANK, E., 2005. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. 2 ed. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

ZANIN, R. B., 2004. Metodologia automática para extração de cruzamento de rodovias em imagens de alta resolução. 121 f. **Dissertação de Mestrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP**, Presidente Prudente - SP.

ZHANG, C. 2004. Towards and operation system for automated updating for road database by integration of imagery and geodata. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 58, pp. 166-186.

ZHOU, J., BISCHOF, W. F., CAELLI, T., 2005. Robust and efficient road tracking in aerial images. In: Stilla U, Rottensteiner F, Hinz S. In: **CMRT05. IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Vienna, Austria, 36, pp. 3-24.

ZHU, P., LU, Z., CHEN, X., HONDA, K., EIUMNOH, A., 2004. Extraction of city roads through shadow path reconstruction using LASER data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 70(12): 1433-1440.