

EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE SEGMENTOS DE RODOVIA VIA DETECTOR DE LINHAS DE STEGER

REGINA ISHIBASHI¹
ALUIR PORFÍRIO DAL POZ²

⁽¹⁾ Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Programa de Pós-Graduação de Ciências Cartográficas, Presidente Prudente - SP

⁽²⁾ Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP

regina.ishibashi@gmail.com

aluir@fct.unesp.br

RESUMO – A extração de linhas é uma importante operação de baixo nível, com várias aplicações cartográficas, como na extração de rios, rodovias e estradas. Estes dados são muito importantes no contexto de captura e atualização de informações espaciais. Neste artigo é apresentada uma visão geral sobre a extração automática de segmentos de rodovias em imagens aéreas ou orbitais de diferentes resoluções (baixa, média e alta resolução) via detector de linha. A metodologia proposta é baseada no conceito generalizado de linhas em imagens digitais, pelo qual as linhas podem ser descritas por eixos centrais de duas bordas paralelas. Esta metodologia combina uma operação de realce automática de imagem com estratégias de escolha automática de limiares de histerese e de fator de escala gaussiana. Os resultados obtidos na avaliação experimental mostram, de forma geral, que a metodologia empregada atende todos os critérios estabelecidos para a extração eficiente de segmentos de rodovias, proporcionando resultados satisfatórios, de maneira inteiramente automática.

ABSTRACT - Line extraction is an important low-level operation, with many cartographical applications, as in the extraction of rivers, highways and roads. These data are very important in the context of spatial information capture and updating. In this paper a general vision on the automatic extraction of road segments from aerial or orbital images of different resolutions (low, medium and high resolution) through a line detector is presented. The proposed methodology is based on the generalized concept of lines on digital images, by which the lines can be described by centerlines of two parallel edges. This methodology combines an automatic image enhancement operation with strategies for automatic selection of the hysteresis threshold and the Gaussian scale factor. The results obtained in the experimental estimation indicate, in general, that the proposed method met all the criteria established for the efficient extraction of road segments in rural scenes, providing satisfactory results, in a completely automatic way.

1 INTRODUÇÃO

As rodovias são vias de transporte muito importantes para o progresso econômico de qualquer país. No Brasil elas são responsáveis por mais de 60% do transporte de mercadorias e 96% do movimento de passageiros (BRASIL ESCOLA, 2007). Dessa forma, a malha viária vem sendo constantemente expandida a fim de atender toda esta demanda.

Os sistemas de informações geográficas (SIGs) têm importância estratégica no acompanhamento da expansão viária, sendo os processos de extração de

feições uma das técnicas fundamentais para atualização destes sistemas.

Dentre as feições de interesse, encontra-se a feição linear. A extração de feições lineares em imagens digitais é uma importante operação, classificada como sendo de baixo-nível, com várias aplicações, dentre elas pode-se citar a extração de rios, rodovias e estradas em imagens de diferentes resoluções.

Em imagens de baixa resolução como, por exemplo, as imagens obtidas pelo Satélite Sino-Brasileiro CBERS, as feições extraídas praticamente coincidem com as respectivas rodovias. Já em imagens de média e alta resolução, as rodovias aparecem como faixas estreitas e alongadas e o alvo de extração são seus eixos centrais.

Os métodos existentes para a extração deste tipo de entidade são bastante variados, podendo ser divididos em duas classes (ZIOU; TABBONE, 1998). A primeira inclui esquemas totalmente independentes de conhecimentos *a priori* sobre a imagem ou entidade que se deseja extrair. Referem-se somente à operação de detecção, necessitando então de operações posteriores para explicitar as feições lineares detectadas. Estes métodos são conhecidos como autônomos. A segunda classe de métodos é a contextual, normalmente desenvolvida para um tipo específico de cena ou feição linear. Este método utiliza informações *a priori* das feições lineares de interesse e geram uma representação explícita das mesmas (DAL POZ; ZANIN, 2005).

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo desenvolvido para extração automática de segmentos de rodovias em imagens de resoluções variadas (baixa, média e alta resolução), via detector de linhas proposta por Steger (2000). O detector de linhas de Steger é um método eficiente para extração de linhas, mas é necessário ajustar, através de tentativa e erro, os limiares de histerese e o fator de escala gaussiana a cada imagem processada. Assim, este artigo está voltado à apresentação de estratégias para seleção automática de limiares de histerese e fator de escala gaussiano, onde se busca obter segmentos de rodovias com excelente qualidade de extração, tanto em imagens de baixa, quanto de média e alta-resolução.

O presente artigo está estruturado em diferentes Seções: A Seção 2 apresenta os princípios do detector de linhas de Steger. A metodologia automática para extração de rodovias via detector de Steger é apresentada na Seção 3. Os resultados obtidos e as principais conclusões são apresentados, respectivamente, nas Seções 4 e 5.

2 PRINCÍPIOS DO DETECTOR DE LINHAS DE STEGER

As rodovias em imagens de variadas resoluções solução se manifestam como faixas alongadas de alta intensidade de brilho. Uma seção transversal de rodovia, com brilho normalizado no intervalo [0; 1], pode ser modelada pela Equação 1.

$$f_a(x) = \begin{cases} 0, & x < -w \\ 1, & |x| \leq w \\ a, & x > w \end{cases} \quad (1)$$

sendo, para o perfil considerado de rodovia (Figura 1(a)): $a \in [0,1]$ é o contraste lateral e w é a semi-largura.

Para o caso geral, com brilho variando no intervalo [0; h], uma representação geral é obtida re-escalando a Equação 1, isto é, fazendo $hf_a(x)$. Vale notar que o ponto central da seção de rodovia ocorre em $x = 0$.

A Figura 1(b) mostra o comportamento do modelo de linha 1D ($f_a(x)$) ao longo de um espaço-escala gaussiano para $\sigma \in [0,2; 1,8]$. Notar que para sigmas menores a seção de rodovia fica arredondada, assemelhando-se a uma parábola. Para sigmas maiores ela se achata totalmente e se pulveriza.

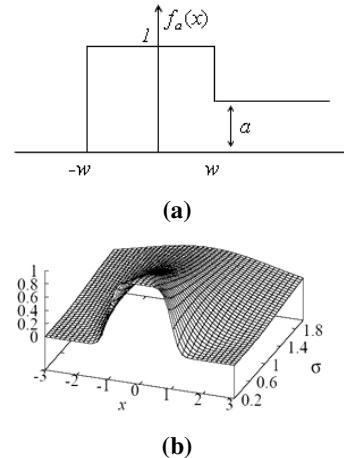


Figura 1 - Seção de rodovia. (a) perfil de rodovia;(b) perfil ao longo do espaço-escala para $a = 0$; $w = 3$ e $\sigma \in [0,2; 1,8]$.

Para detectar o ponto de eixo de rodovia para a seção considerada, basta encontrar o ponto de máximo da função $f_a(x)$, convoluída por um núcleo gaussiano, e assegurar que se trata de uma linha com grande possibilidade de não ser espúria. O ponto de máximo ocorre onde a primeira derivada de $f_a(x)$ suavizada se anula e, nesse ponto de máximo, ocorre alto valor da segunda derivada se a linha for não espúria.

Para estimar o melhor valor de sigma de forma a salientar as linhas, Steger (1998) propõe a seguinte relação:

$$\sigma \geq \frac{w}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

No caso 2D envolvendo imagens de diferentes resoluções, bastaria encontrar e analisar as direções transversais às rodovias para extrair pontos ao longo dos respectivos eixos de rodovia.

Um estudo mais detalhado pode ser encontrado em Steger (1998), Zanin et al. (2007) e Ishibashi (2008).

3 METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE RODOVIAS

Em Ishibashi (2008) é desenvolvida uma estratégia para selecionar o valor de sigma automaticamente a fim de que os resultados sejam afetados minimamente por ruídos. A estratégia desenvolvida baseia-se no fato de que as derivadas segundas na direção transversal às linhas são geralmente bem menores para linhas espúrias do que para

as físicas. A seguir é apresentada uma visão geral sobre as principais etapas da metodologia proposta:

1ª Aquisição automática dos limiares de histerese: Realizada através da análise do histograma dos valores em módulo da segunda derivada da imagem. Os dois limiares de histerese são selecionados como sendo 30% e 90% da variação total do módulo da segunda derivada. As imagens CBERS, assim como qualquer outra imagem de baixa resolução, necessitam de um tratamento especial, pois geralmente nestas imagens a malha viária não se apresenta suficientemente pronunciada, sendo preciso aplicar um pré-processamento de realce a fim de facilitar as etapas seguintes de detecção. Dessa forma, um pré-processamento de realce, utilizando o operador 'emphasize' disponível no aplicativo HALCON 7.1, foi aplicado;

2ª Detecção de linha pelo método de Steger, com seleção automática de escala: Nesta etapa, o melhor fator de escala é escolhido através de incrementos realizados a partir do valor inicial obtido pela restrição $\left(\sigma_{inicial} = \frac{w}{\sqrt{3}}\right)$, até atingir o valor ideal. O valor ideal de sigma é definido através do valor da segunda derivada e do número de linhas espúrias detectadas;

4ª Limiarização por comprimento: A fim de melhorar a qualidade da extração, após a detecção automática das linhas é aplicado um processo de limiarização por comprimento, visando eliminar a maior parte das linhas espúrias;

5ª Poligonização: Após o pós-processamento de limiarização por comprimento é aplicado um processo de poligonização, que busca reduzir significativamente o número de pontos previamente detectados, mantendo a qualidade geométrica das linhas. Nesta etapa é utilizado o operador 'gen_polygons_xld' disponível no aplicativo HALCON 7.1.

Maiores detalhes sobre estas etapas podem ser encontrados em Ishibashi (2008).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A metodologia proposta para extração de segmentos de rodovias foi testada em um conjunto de três imagens com diferentes resoluções.

A imagem teste 1 é uma imagem aérea de alta resolução com dimensão de 1010x400 pixels, contendo uma rodovia principal com largura média de 21 pixels.

O sigma obtido automaticamente foi 7,5, com limiares mínimo e máximo de histerese iguais a 0,02 e

0,35, respectivamente, sendo 6,0 o menor valor aceito pela restrição $\left(\sigma \geq \frac{w}{\sqrt{3}}\right)$.

A Figura 2 apresenta o resultado da extração para um sigma fino igual a 1,0 (Figura 2a), para o menor de sigma obtido pela restrição de Steger igual a 6,0 (Figura 2b) e para um sigma obtido automaticamente igual a 7,5 (Figura 2c).

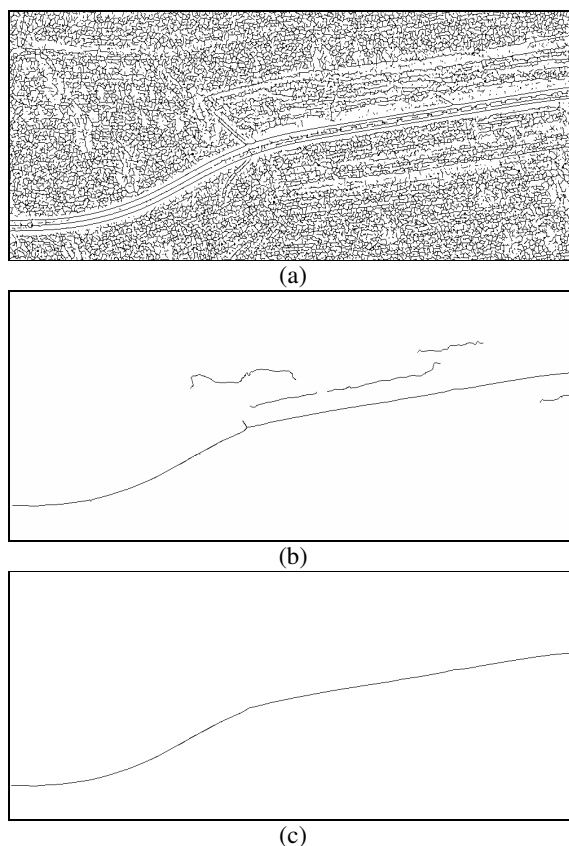


Figura 2 - Resultado da Extração para imagem de alta resolução; (a) para um sigma fino igual a 1,0; (b) Resultado da extração para um sigma mínimo igual a 6,0; (c) Resultado da extração para um sigma obtido automaticamente.

Observa-se através da Figura 2c que todos os detalhes espúrios extraídos para um sigma fino igual a 1,0 foram eliminados através da metodologia de extração aplicada.

A eficiência da metodologia proposta pode ser analisada visualmente através da sobreposição da imagem resultante sobre a imagem original (Figura 3). Como é possível observar, preservou-se a principal cadeia que compõe a malha viária com excelente qualidade geométrica e sem perda de informação. Observa-se apenas um leve deslocamento na região central da imagem, causado provavelmente por um pequeno cruzamento com tonalidade de cinza mais claro que a feição de interesse.

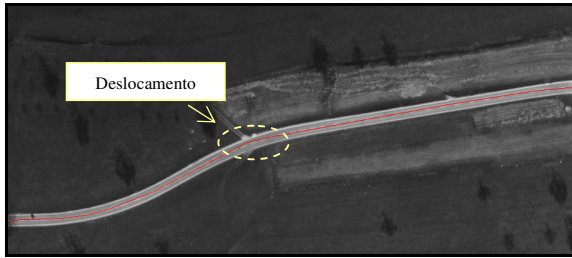


Figura 3 - Eixo extraído e sobreposto à imagem original de alta resolução.

A imagem teste 2 é uma imagem também aérea de dimensão 500x500 pixels, com rodovias de largura média de 5 pixels. O sigma obtido pelo processo automático foi igual a 3,0 com limiares de histerese iguais a 0,41 e 3,47.

A Figura 4 apresenta o resultado da extração para um sigma fino igual a 1,0. Nesta imagem é possível perceber a quantidade de bordas espúrias, presente na extração para um baixo nível de suavização, relacionado a um fator de escala muito pequeno.



Figura 4 - Resultado da Extração para um sigma fino igual a 1,0 aplicado a uma imagem de média resolução.

Com a aplicação da metodologia desenvolvida foi possível obter automaticamente resultados satisfatórios, comprovados principalmente pela quantidade mínima de falsos positivos e pela boa qualidade geométrica das feições extraídas, principalmente referentes às rodovias principais.

A Figura 5 apresenta o resultado da extração, após o pós-processamento de limiarização por comprimento, sobreposta à imagem original, na qual, é possível analisar a qualidade da extração.

Embora o resultado da extração seja em geral bom, alguns fatores, como por exemplo, regiões nas laterais das bordas com mesmo padrão da rodovia, variação na largura da rodovia principal, edificações na borda da rodovia e rodovias vicinais com baixo contraste e de espessura fina, causaram irregularidades na extração.

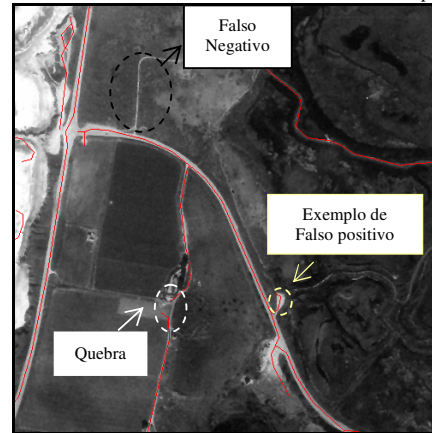


Figura 5 - Eixo extraído sobreposto à imagem original de média-resolução.

Através da análise visual (Figura 5) é possível notar as irregularidades decorrentes dos fatores citados. Dentre estas irregularidades pode-se citar:

- Ocorrência de alguns falsos negativos ligados ao baixo contraste e a espessura fina que algumas rodovias vicinais (rodovias secundárias) apresentam;
- Deslocamentos ocasionados pela variação na largura das rodovias e pela região de cruzamento;
- Ocorrência de falsos positivos decorrentes das regiões com mesmo padrão das rodovias.

A imagem teste 3 é uma imagem de baixa resolução adquirida pelo Satélite Sino-Brasileiro CBERS, de 630x370 pixels com uma rodovia de largura média de 2 pixels.

Como em imagens de baixa resolução geralmente as rodovias apresentam-se pouco pronunciadas, é necessário um pré-processamento de realce que busca acentuar os detalhes. A Figura 6 apresenta o resultado do pré-processamento de realce aplicado à imagem em questão.

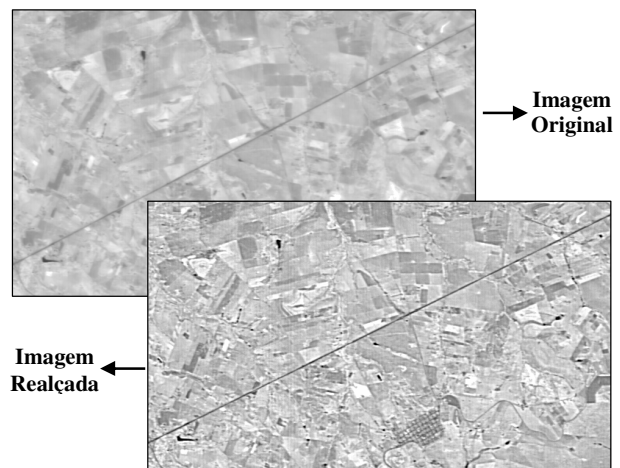


Figura 6 - Imagem realçada

O resultado da extração para o sigma igual a 1,5, obtido automaticamente, com limiares de histerese iguais a 4,80 e 26,80 é apresentado na Figura 7. Este resultado é composto por algumas irregularidades (falsos positivos) causadas por pequenos trechos que contém respostas espectrais diferenciadas, que foram aguçadas pelo pré-processamento de realce.

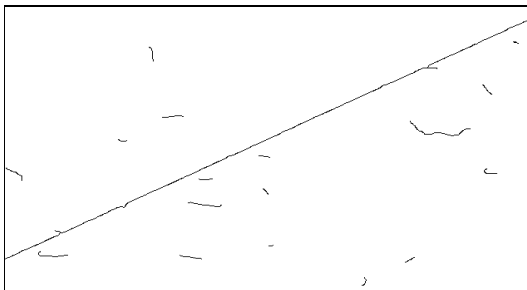


Figura 7 - Resultado da extração para um sigma obtido automaticamente, aplicada a uma imagem de baixa resolução.

A maioria dos falsos positivos são facilmente eliminados através da limiarização por comprimento. O limiar aplicado neste teste é $(30 \times w)$, sendo w a semi-largura da rodovia. O resultado é visualizado na Figura 8, o resultado apresentou-se com altíssima qualidade, sem perda de informação ou descontinuidade.

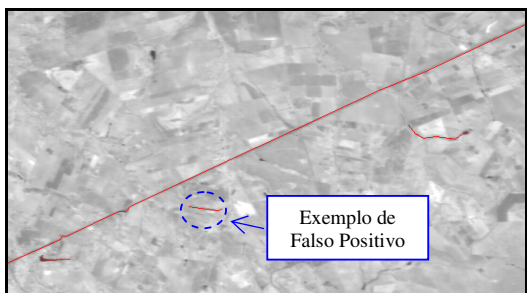


Figura 8 - Sobreposição do eixo extraído sobre a imagem original.

5 CONCLUSÃO

De uma forma geral, no final do processo de extração se obtém uma imagem de linhas representando as principais rodovias contidas na imagem com excelente qualidade geométrica e também com pouca perda de informações ou descontinuidades. Para imagens de alta resolução a metodologia desenvolvida obteve um alto desempenho apresentando poucos falsos positivos e falsos negativos e excelente qualidade geométrica. Para imagens de média resolução a metodologia obteve boa eficiência, com maior presença de falsos positivos e negativos. Os falsos positivos, mesmo após o processo de limiarização por comprimento, prevaleceram na imagem resultante e os falsos negativos são geralmente provenientes das rodovias secundárias presentes na imagem em estudo. No caso de imagens com baixa resolução, a metodologia

obteve também uma boa eficiência. Embora o pré-processamento de realce tenha realçado alguns ruídos, as linhas espúrias resultantes foram em sua maioria eliminadas pela limiarização por comprimento. Dessa forma, no final do processo, obteve-se uma boa qualidade geométrica com pequenas regiões contendo falsos positivos. Assim, o método proposto atende todos os critérios estabelecidos para a extração eficiente de segmentos de rodovias em cenas rurais, proporcionando resultados satisfatórios, de maneira inteiramente automática.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de manifestar seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro a esta pesquisa sob o processo n. 2005/03184-9 (mestrado).

REFERÊNCIAS

- BRASIL ESCOLA: Transportes, 2007. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/transportes.htm>. Acesso em: 01 jul. 2008;
- DAL POZ, A. P.; ZANIN, R. B. Métodos contextuais e autônomos para a extração de linhas. In: **IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2005. p. 1-6.
- STEGER, C. Na Unbiased Detector of Curvilinear Structures. **IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.20, n.2, 1998, p. 113-125.
- STEGER, C, Subpixel – Precise Extraction of Lines and Edges. **ISPRS: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33, Amsterdam, 2000, p. 141-156.
- ISHIBASHI, R. **Extração de Segmentos de rodovias em imagens de resolução variadas usando o princípio de bordas paralelas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- ZIOU, D.; TABBONE, S. Edge detection techniques: an overview. **International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis**, Canada, 1998, v.8, n.4, p. 537-559.
- ZANIN, R. B.; ISHIBASHI, R.; DAL POZ, A. P.. Detector de linha de Steger: Potencial na extração de rodovias. In: **II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, Presidente Prudente. **Anais II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. 2007. v. 1. p. 1-11.