

PROPOSIÇÃO DE ROTINA MORFOLÓGICA PARA DETECÇÃO DE MALHA VIÁRIA EM IMAGENS ORBITAIS

MORPHOLOGICAL ROUTINE FOR THE DETECTION OF ROAD NETWORK IN ORBITAL IMAGES

Fernanda Puga Santos¹, Erivaldo Antônio da Silva¹, Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega²

¹Universidade Estadual Paulista – Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
ferpuga@gmail.com
silva.erivaldo@gmail.com

²Mississippi State University
Geosystems Research Institute
2 Research Boulevard, Starkville, MS 39759 – USA
sal@gri.msstate.edu

RESUMO

A desatualização de produtos cartográficos prejudica o planejamento. É importante a proposição de métodos que auxiliem na detecção de alterações da superfície. Assim, o uso conjunto de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens tem contribuído de forma significativa para minimizar tal desatualização. A morfologia matemática é uma técnica de processamento de imagens que consiste em descrever quantitativamente estruturas geométricas presentes na imagem e dispõe de ferramentas como detectores de borda e filtros morfológicos. Trabalhos anteriores têm mostrado que a técnica tem potencialidade significativa referente à detecção de feições. Neste sentido, este trabalho propõe uma rotina de operadores morfológicos para a detecção de malha viária. A área teste corresponde a um trecho de imagem *Quickbird* e tem como feição de interesse uma avenida da cidade de Presidente Prudente, SP. No processamento, os principais operadores morfológicos utilizados foram o *threshad*, *areaopen*, *binary* e *erosion*. Visando a estimar a precisão com que as feições lineares foram detectadas, fez-se a análise da correspondência linear entre os vetores das feições detectadas e os correspondentes à carta topográfica da região. Os resultados obtidos evidenciaram que a morfologia matemática pode ser empregada em cartografia, visando à utilização destes resultados em processos convencionais de atualização cartográfica.

Palavras-chave: Morfologia matemática, cartografia, detecção de feições, atualização cartográfica.

ABSTRACT

The outdated of cartographic products affects planning. It is important to propose methods to help detect changes in surface. Thus, the combined use of remote sensing image and techniques of digital image processing has contributed significantly to minimize such outdated. Mathematical morphology is an image processing technique which describes quantitatively geometric structures presented in the image and provides tools such as edge detectors and morphological filters. Previous studies have shown that the technique has potential on the detection of significant features. Thus, this paper proposes a routine of morphological operators to detect a road network. The test area corresponds to an excerpt Quickbird image and has as a feature of interest an avenue of the city of Presidente Prudente, SP. In the processing, the main morphological operators used were *threshad*, *areaopen*, *binary* and *erosion*. To estimate the accuracy with which the linear features were detected, it was done the analysis of linear correlation between vectors of the features detected and the corresponding topographical map of the region. The results showed that the mathematical morphology can be used in cartography, aiming to use them in conventional cartographic updating processes.

Keywords: Mathematical morphology, cartography, features detection, cartographic updating.

1 – INTRODUÇÃO

A Cartografia brasileira apresenta muitos problemas relacionados ao mapeamento e sua desatualização. Desta forma, visando buscar alternativas que minimizem o problema de desatualização, este trabalho propôs o uso conjunto de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens – PDI. Dentre as

diversas ferramentas de PDI a escolhida para a detecção das feições cartográficas foi a Morfologia Matemática, elaborada inicialmente por Matheron (1975) e Serra (1982).

De acordo com Serra (1982) a Morfologia Matemática tem por objetivo descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funcionar como uma técnica na concepção

de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas como os detectores de borda e filtros morfológicos.

Deste modo, este trabalho teve como principal objetivo propor uma rotina para a detecção de malha viária por meio do uso da teoria de Morfologia Matemática. Os resultados obtidos podem ser utilizados em processos convencionais de atualização de produtos cartográficos. No caso brasileiro, é de suma importância o desenvolvimento de rotinas que possam ser aplicadas à Cartografia, uma vez que o país possui produtos cartográficos desatualizados, o que dificulta o planejamento por parte dos órgãos que possuem o poder na tomada de decisões.

Como objetivos específicos podem ser citadas as análises visual entre o resultado obtido pela Morfologia Matemática e o vetor correspondente à carta topográfica da região e a Correspondência Linear.

2 – CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Nesta seção são apresentadas as considerações teóricas do trabalho.

2.1 Morfologia Matemática

A Morfologia Matemática teve origem a partir das pesquisas conjuntas de G. Matheron e J. Serra, em 1964. As primeiras noções teóricas foram estabelecidas no período de 1964 e 1968, juntamente na época em que foi criado o Centro de Morfologia Matemática na Escola de Minas de Paris localizada em Fontainebleau (França).

Segundo Soille (1999), a Morfologia Matemática (MM) pode ser definida como uma teoria para análise de estruturas espaciais. É chamada de morfologia porque visa analisar a forma dos objetos. É matemática no sentido que a análise baseia-se na teoria de conjuntos, integrais geométricas e álgebra booleana. Porém, a MM não é apenas uma teoria, mas também uma poderosa técnica de análise de imagens.

O método de análise de imagens por Morfologia Matemática tem como objetivo principal analisar a estrutura geométrica das imagens a partir de uma malha retangular definida e conhecida, denominada elemento estruturante.

2.2 Elemento Estruturante

Segundo Facon (1996), o elemento estruturante é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido. Essa ferramenta também dispõe de algumas vantagens como a simplicidade na implantação. Neste trabalho foram utilizados os elementos estruturantes nas formas de máscara cheia (*box*) e em cruz (*cross*). As Figuras 1 e 2 apresentam os elementos estruturantes utilizados.

0	1	0
1	1	1
0	1	0

Figura 1 – Máscara cruz

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Figura 2 – Máscara cheia

2.3 Operadores morfológicos utilizados

Os operadores morfológicos utilizados neste trabalho estão contidos na toolbox morfológica da *SDC Information Systems* e as equações que definem os mesmos podem ser encontradas na literatura. Para a detecção das pistas da avenida na imagem Quickbird utilizaram-se os operadores: *hbasin*, *hdome*, *areaopen*, *areaclose* e *threshad*.

O operador *hbasin* realiza a reconstrução de uma imagem em tons de cinza pela adição de um valor inteiro positivo usando como conectividade um elemento estruturante. Este operador tem por objetivo remover bases com contraste menor que o limiar estipulado pelo usuário na função.

Já o operador *hdome* remove picos com contraste maior que o limiar estipulado pelo usuário através da reconstrução da imagem em tons de cinza pela subtração de um valor inteiro positivo. Sua conectividade também é dada por um elemento estruturante.

O operador *areaclose* é um operador que preenche todos os espaços internos presentes na feição de interesse com a área menor que o limiar estipulado pelo usuário.

O operador *areaopen* tem por finalidade remover qualquer componente de uma imagem binária com área menor que o limiar estipulado. Tanto o operador *areaclose* como o operador *areaopen* possuem conectividade dada pelo elemento estruturante utilizado.

O operador *threshad* transforma uma imagem em tons de cinza numa imagem binária por meio de dois limiares, um de máximo e outro de mínimo. O *pixel* da imagem resultante recebe valor 1 quando está entre os valores dos limiares fornecidos pelo usuário e zero quando está abaixo ou acima dos valores dos limiares escolhidos.

2.4 Análise de Correspondência Linear

A análise de correspondência linear em sensoriamento remoto surgiu como forma de estimar a precisão com que as feições lineares foram extraídas. Mais precisamente, o que tem demandado estudos envolvendo análise de exatidão, precisão e qualidade das feições lineares em sistemas de informação geográfica e Sensoriamento Remoto são as pesquisas relacionadas à detecção e extração de sistema viário. O princípio básico da Análise de Correspondência Linear é comparar a linha central da via extraída com uma linha central existente em forma vetorial. (NÓBREGA, 2007).

Seo e O'Hara (2004) apresentam os resultados de uma ferramenta (*Road Feature Evaluation Toolkit*) desenvolvida a partir das principais funções de correspondência linear, e também funções de análise da

qualidade da malha viária, visando quantificar medidas capazes de refletir a qualidade das detecções de vias. A correspondência entre as linhas referenciais tem como base a análise do casamento geométrico entre ambas as feições. Esta análise é feita utilizando faixas de abrangência com larguras pré-definidas (buffers), conforme ilustrado na Figura 3.

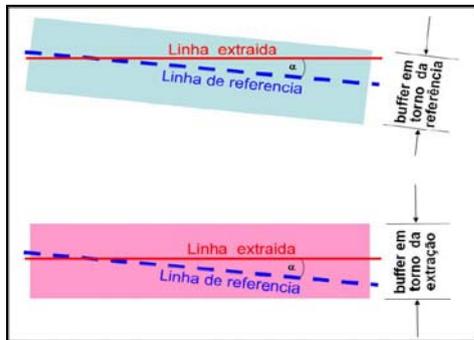


Figura 3 – Princípio da análise de correspondência linear. (Fonte: Adaptado de Wieldemann, 2003)

A faixa em azul apresenta o casamento com a linha referencial (zona de referência) e a faixa em rosa o casamento com a linha extraída (zona de extração).

Para Wieldemann (2003) quanto maior a tolerância para o casamento entre as linhas, menor o rigor do processo de detecção. No entanto, uma tolerância maior desse casamento acaba gerando resultados aparentemente mais precisos e na prática, menos confiáveis, uma vez que a área de abrangência dos buffers passa a ser maior. O emprego de *buffers* com largura próxima do real das vias implica em resultados mais próximos da verdade terrestre.

O principal parâmetro utilizado na análise da correspondência linear é a *completeza* (*completeness*). (WIELDEMANN (2003), WESSEL E WIELDEMANN (2003) E SEO E O’HARA (2004).

O trabalho utiliza a função de correspondência entre elementos extraídos e os elementos lineares de referência denominado de *completeza*.

Completeza é uma métrica que avalia a qualidade da feição detectada com base na sua cobertura sobre os dados de referência. Esta métrica calcula a porcentagem de dados de referência, que correspondem às características detectadas dentro de um determinado tamanho e pode ser expressa por:

$$completeza = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

Onde:

TP representa características que são validadas por meio da referência correspondente;

FN corresponde às partes de dados de referência que não foram detectados.

O valor ótimo da *completeza* é 100%

3 – METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu-se em três etapas descritas a seguir.

1. Definição da Área teste
2. Proposição da rotina morfológica para a detecção de Malha Viária.
3. Análise da Correspondência Linear entre o vetor da feição detectada e o vetor da feição correspondente à carta topográfica da região.

Primeiramente com a finalidade de propor uma rotina morfológica que melhor se adéque à detecção de Malha Viária em imagens orbitais, utilizou-se como área teste, uma sub-imagem do satélite de alta resolução *Quickbird* com resolução de 0.72 m na banda pancromática, contendo um trecho de Avenida do município de Presidente Prudente – SP. (Figura 4)



Figura 4 – Trecho de Avenida do município de Presidente Prudente

Em seguida, baseando-se nos resultados dos testes realizados no MATLAB com os operadores morfológicos foi proposta a rotina para a detecção da malha viária, conforme ilustra a Figura 5.

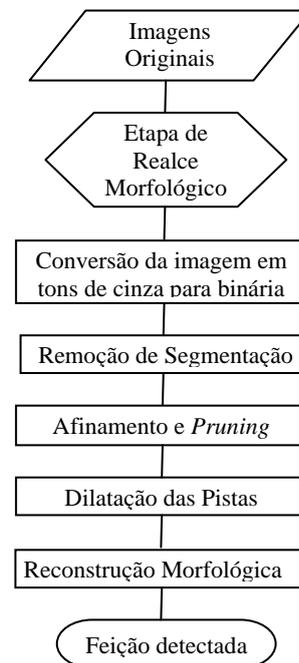


Figura 5 – Fluxograma da metodologia utilizada

Com o intuito de realçar a feição de interesse na imagem Com o intuito de realçar a feição de interesse na imagem original da área teste foram utilizados os operadores morfológicos *hbasin* e *hdome*. Considerando que alguns operadores morfológicos atuam apenas em

imagens binárias, a imagem realçada foi *binarizada* através do operador *threshad*.

Neste trabalho dois termos foram considerados. Um é segmentação que são componentes que não fazem parte da feição de interesse e não estão conectados a este. O outro é ruído que são componentes conectados à feição de interesse.

Para a remoção da segmentação ao redor da feição de interesse foi aplicado o operador *areaopen*. E para a remoção dos ruídos presentes nas bordas das pistas a imagem foi afinada, viabilizando a aplicação do operador *pruning*. Os ruídos presentes no interior das pistas, ocasionados principalmente pela variação de níveis de cinza, foram removidos com a dilatação da imagem. Na seqüência, para que as pistas voltassem ao tamanho original, foi realizada a erosão da imagem por meio do operador *ero*.

Por fim, fez-se uma Análise de Correspondência Linear, com o intuito de verificar se a posição da feição detectada corresponde à original. Na área de Cartografia, esta informação é imprescindível quando se pensa em utilizar o resultado obtido na extração, em processos de atualização cartográfica.

4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos e as análises dos mesmos.

4.1 Imagem utilizada

O trecho de imagem utilizado é de uma imagem Quickbird do ano de 2007, no modo pancromático, contendo como feição de interesse um segmento de avenida em área urbana localizado na cidade de Presidente Prudente – SP.

Na etapa de realce morfológico da feição de interesse foram aplicados sobre a imagem original (Figura 4) os operadores *hbasin* e *hdome*. Estes operadores agiram sobre a imagem com o intuito de realçar os valores de brilho e contraste, realçando a feição de interesse em relação ao restante da cena. Os limiares utilizados foram, respectivamente 5 e 10. O resultado obtido está ilustrado na Figura 6.



Figura 6 – Imagem da Avenida após o pré-processamento.

Após a etapa de pré-processamento, as imagens foram binarizadas utilizando o operador *threshad*. Este operador converteu a imagem em tons de cinza para binária, usando dois valores de limiares, um de máximo e outro de mínimo, os quais foram definidos com base na análise do histograma como 30 e 45 respectivamente. Os *pixels* que estavam fora do intervalo definido assumiram o valor 0 (preto) e os que estavam contidos receberam valor 1 (branco). Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 7.



Figura 7 – Imagem da Avenida após a binarização.

Nota-se na Figura 7, nas regiões indicadas pelas setas, segmentação em torno das feições de interesse. Para minimizar tal segmentação aplicou-se o operador *areaopen*. Este operador removeu os componentes com área menor que 20000. O resultado obtido está ilustrado na Figura 8.



Figura 8 – Imagem da Avenida após a aplicação do operador *areaopen*.

Conforme representam as setas, percebe-se na Figura 8, a presença de alguns ruídos presentes no interior das pistas da Avenida. Para a eliminação destes ruídos, ocasionados devido ao fluxo de carros na Avenida no instante de aquisição da imagem, aplicou-se o operador *dil*. Este operador dilatou a imagem com quatro iterações utilizando o elemento estruturante em forma de cruz. A Figura 9 apresenta a imagem após a remoção dos ruídos.



Figura 9 – Imagem da Avenida após a remoção dos ruídos

Para que as pistas da Avenida retornassem à espessura original utilizou-se o operador *ero*, o qual erodiu a imagem com duas iterações utilizando o elemento estruturante em forma de cruz. A Figura 10 apresenta a imagem após a erosão. Esse procedimento é necessário para que as espessuras das feições extraídas sejam iguais às contidas na imagem original.



Figura 10 – Imagem da Avenida após a erosão.

Com intuito de verificar a qualidade do resultado obtido, primeiramente fez-se a análise visual por meio da sobreposição entre o resultado morfológico e sua correspondente imagem original. Esta análise foi importante para confirmar que não houve deslocamento posicional entre as feições e que não houve diferença de espessura entre as pistas nas duas imagens. A Figura 11 apresenta o resultado obtido com a sobreposição.



Figura 11 – Resultado da detecção da Avenida sobreposta a imagem original

Ao analisar a Figura 11, observa-se que as pistas da Avenida estão com traços bem definidos e isentos de ruídos. Mas para confirmar, em termos estatísticos, a qualidade do processo de extração foi feita a análise da *completeza*.

4.2 Resultados da sobreposição e da análise de correspondência linear

A sobreposição entre o resultado morfológico e a carta topográfica foi realizada seguindo as seguintes etapas:

1. Digitalização da carta topográfica da região da avenida;
2. Registro entre o resultado morfológico e a carta topográfica digitalizada;
3. Vetorização do resultado morfológico sobre a imagem georreferenciada;
4. Análise dos resultados obtidos.

A Análise de Correspondência Linear foi realizada comparando a linha central da via extraída com uma linha central existente em forma vetorial. Desta forma foi necessário adquirir os vetores da feição extraída e os da imagem de referência.

Como a FCT – Unesp já dispunha em seu banco de dados a carta digitalizada do Trecho da Avenida, realizou-se a edição da base cartográfica existente, preservando apenas o Trecho da feição de interesse, ou seja, foram excluídos pontos desnecessários, informações redundantes, entre outros.

O registro entre o resultado morfológico e a base cartográfica foi feito utilizando pontos de controle da própria feição, uma vez que estas possuem pontos bem definidos. Feito o registro entre o resultado morfológico e a carta topográfica fez-se a vetorização do resultado morfológico. A imagem 12 ilustra a vetorização do resultado morfológico após o registro com a carta topográfica.

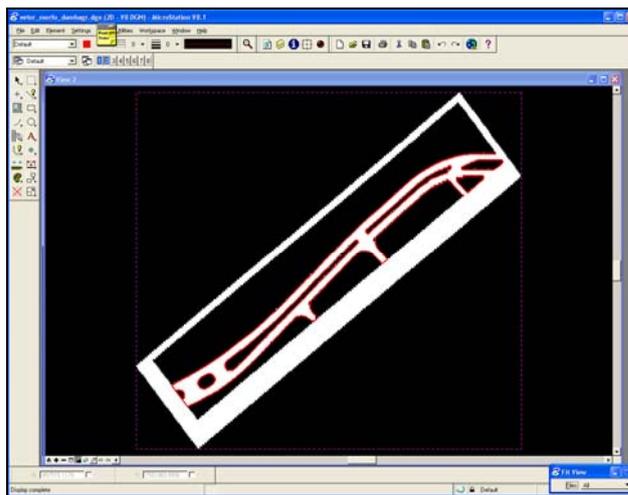


Figura 12 – Vetorização do resultado morfológico do Trecho da Avenida.

Em seguida fez-se a Análise da correspondência Linear em termos de *completeza*, com *buffer* de 1 m, onde foi obtido o valor 89,71%. Esse valor indica que o processo de extração da feição de interesse foi realizado de forma bastante satisfatória.

5 – CONCLUSÕES

As experiências realizadas com as ferramentas da Morfologia Matemática com intuito de reafirmar seu potencial na área de Cartografia, úteis no Processamento Digital de Imagens (PDI) foram bem sucedidas. Observa-se que o produto obtido atende aos objetivos propostos.

A rotina proposta apresentou boa combinação entre os operadores morfológicos e elementos estruturantes, o que permitiu que a detecção da avenida fosse realizada com êxito. Deve-se ressaltar que os limiares adotados basearam-se na análise dos histogramas de cada imagem envolvida. A escolha adequada destes limiares é uma das chaves para que os resultados obtidos sejam os melhores possíveis.

Ao analisar o resultado obtido com a sobreposição nota-se que não houve deslocamento posicional entre as feições. Esta característica é imprescindível quando se pensa em atualização cartográfica.

O propósito inicial deste trabalho era propor uma rotina para extração de feições do tipo avenida em imagens *Quickbird*. Todavia ainda faz-se necessário testar a eficiência da rotina proposta em outras imagens contendo feições similares.

A rotina proposta para a extração de avenida em imagens *Quickbird* contém os seguintes processamentos:

1. Realce Morfológico da feição de interesse;
2. Binarização;
3. Remoção de Segmentação e Ruídos;
4. *Afinamento e Pruning*;
5. Dilatação;
6. Reconstrução Morfológica;
7. Obtenção de feição detectada.

Conclui-se que o trabalho atendeu aos objetivos iniciais de detectar feições do tipo avenida em imagens

Quickbird por meio de operadores morfológicos. Desta forma, verifica-se que a utilização da ferramenta morfológica na área de Cartografia como meio alternativo para a extração de feições cartográficas de interesse é totalmente viável.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/quickbird.html>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

EURIMAGE. **Eurimage Products and Services: QUICKBIRD**. Disponível em: <<http://www.eurimage.com/Products/qb.shtml>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

FACON, J. **Morfologia Matemática: Teorias e Exemplos**. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1996. xii. 320p: il.

HARLEY, J. B. **A nova história da Cartografia**. O Correio da UNESP, Rio de Janeiro, v. 19, n. 08, p. 3-9, ago. 1991.

LEE, J. S. J.; HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G. Morphologic Edge Detection. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, New York, v. RA-3, n. 2, p. 142-156, abr. 1987.

MATHERON, G. **Radom sets and integral geometry**. New York: John Wiley, 1975. 261 p.

NÓBREGA, R. A. A. **Deteção da Malha viária na Periferia de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), USP, São Paulo, 2007.

PINHEIRO, E. da S. **Avaliação de imagens QUICKBIRD na análise Geográfica de um setor da mata atlântica do Rio Grande do Sul**. 2003. 183 f. Dissertação (Mestrado do Curso da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2003.

SANTOS, F. P., FRIGATO, R., SILVA, E. A. Aplicação de técnicas de Morfologia Matemática na detecção semi-automática de rodovias em imagens de alta resolução In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. , 2007.

SANTOS, F. P., FRIGATO, R., SILVA, E. A. Morfologia Matemática: Aplicações em Cartografia In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia – I Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2007, Rio de Janeiro. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia - I**

Congresso Brasileiro de Geoprocessamento. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

SDC Morphology “Toolbox” for MATLAB 5, SDC “**Information Systems**”, June 28, 1999

SEO, S.; O’HARA, C. G. A toolkit for quantifying linear feature extraction performance. In: ASPRS ANNUAL CONFERENCE, 2004, Denver, USA. **Proceedings...** Denver, USA, 2004. SERRA, J. **Image analysis and mathematical morphology**. London: Academic Press, 1982. 610 p.

SERRA, J. **Image analysis and mathematical morphology**. London: Academic Press, 1982. 610 p.

SILVA, E. A. **Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas**. 1995. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995.

SILVA, E. A., SANTOS, F. P., LEONARDI, F., GONÇALVES, T. R. Aplicação de técnicas de morfologia matemática e PDI na detecção semi-automática de feições cartográficas em imagens digitais In: VII Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 2006, Florianópolis. **Anais do VII Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SCHLLE, P. **Morphological image analysis: principles and applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999

TAYLOR, D. R. F. **A conceptual basis for cartography: new directions for the information era**. Cartographica, Toronto, v. 28, n. 4, p. 1-8, 1991.

WESSEL, B.; WIELDEMANN, C. Analysis of automatic road extraction results from airborne SAR imagery. In: ISPRS WORKSHOP PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2003, Munich, Germany. **Proceedings...** Munich, Germany, v.34, part 3/W8, 2003. p. 105-110.

WIELDEMANN, C. External evaluation of road network. In: ISPRS WORKSHOP PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2003, Munich, Germany. **Proceedings...** Munich, Germany, v. 34, part 3/W8, 2003. p. 93-98.