

Aplicação da Morfologia Matemática na extração automática de curva de nível de carta topográfica

ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS¹
EDILBERTO BEZERRA DE SOUSA²

¹DPI/INPE-Divisão de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil
analucia@ dpi.inpe.br

²UFPB - Univ. Federal da Paraíba, Dep. de Eng. Agrícola - Lab. de Geoprocessamento
Campus II - Campina Grande, PB, Brasil
edil@lmsr.br

Abstract. This paper proposes an application of Mathematical Morphology (MM) tools in extracting isolines from a cartographic map. A color scanner is used to generate a color digital image. The methodology uses the RGB bands and the MM transformations on these bands to generate a binary image with the isolines. Finally, this image is vectoring and transferred to a Geographic Information System (GIS). Experimental results are shown.

Keywords: Remote Sensing, GIS, Mathematical Morphology, Isolines

1 Introdução

A digitalização de isolinhas através de mesa digitalizadora é um processo cansativo, oneroso e passível de erros. Neste trabalho, o objetivo é a aquisição automática destas isolinhas como forma de otimizar a geração das informações que delas derivam.

Ansoult e Soille (1990) propuseram o uso da Morfologia Matemática (MM) como ferramenta na aquisição automática de dados de SIG. Em Rechiuti (1994) mostra-se a digitalização semi-automatizada de dados para a produção de modelos numéricos de elevação. Em Rechiuti (1994) é também apresentada uma boa revisão destes modelos. Ablameyko e Paramonova (1994) mostram um método de vetorização em imagens digitais.

A metodologia aqui apresentada baseia-se em extrair a informação de isolinhas a partir da digitalização colorida de uma carta topográfica. Cada banda da imagem obtida, contém informações que são combinadas usando as ferramentas da (MM) e geram

como resultado final, uma imagem binária contendo apenas a informação das isolinhas. A partir deste resultado esta imagem pode ser vetorizada e transferida para um SIG. Após esta transferência, as isolinhas passam por um processo de edição dentro do próprio SIG de forma a corrigir as possíveis falhas (descontinuidade das linhas e pequenos segmentos de linhas).

Foi utilizado como exemplo uma área da carta topográfica da região de Formosa, Brasília, escala 1:25.000.

Na seção 1.1 é visto conceitos básicos da MM. Na seção 2, é desenvolvida a metodologia. Na seção 3, tem-se os resultados e as considerações finais. No anexo I, tem-se a formulação matemática das transformações usadas neste texto.

1.1 Conceitos Básicos de MM

A análise de imagens por computador vem sendo cada vez mais utilizada em inúmeras atividades do conhecimento humano. De forma geral, estes problemas possuem uma

característica em comum: a extração de informação a partir de imagens.

De forma literal, morfologia vem do grego e significa estudo (logia) das formas (morphos). Esta área de estudo auxilia na análise de formas e de objetos baseando-se em teoria de conjuntos, topologia, reticulados, função randômicas, etc.

Conceitos Básicos da MM podem ser vistos em Serra (1982), Barrera (1987),

Haralick et al. (1987), Haralick e Shapiro (1991) e Banon e Barrera (1994).

Mostra-se a seguir o comportamento de algumas transformações da MM. A Figura 1.1 mostra o efeito de dilatação e o efeito de erosão sobre uma imagem binária X . A Figura 1.2 mostra o efeito de abertura e o efeito de fechamento sobre uma imagem binária.

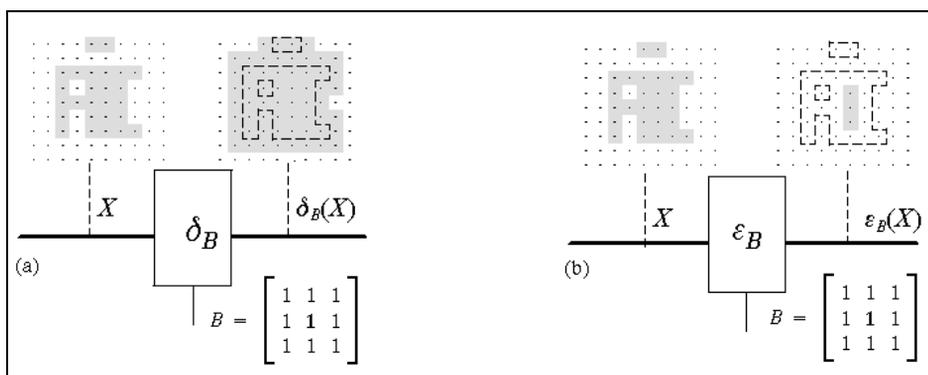


Fig. 1.1 - a) Dilatação de um subconjunto com respeito a um borrão. b) Erosão de um subconjunto por um elemento estruturante. Fonte Banon e Barrera, 1994.

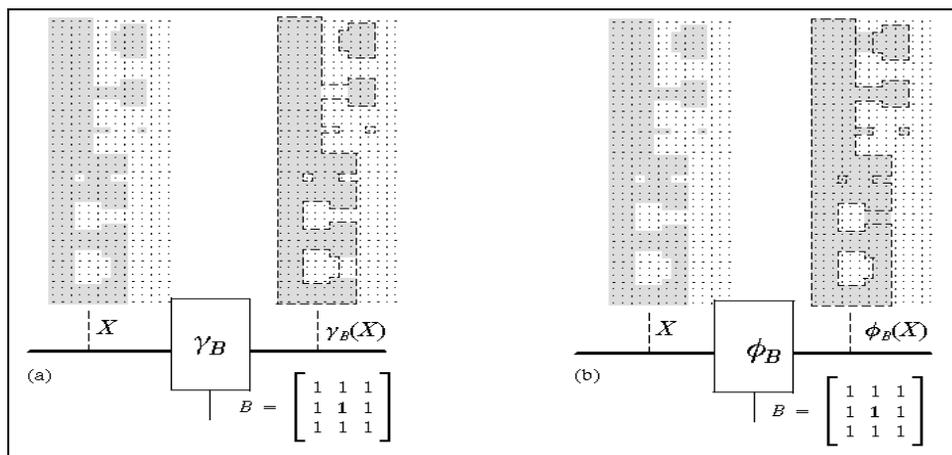


Fig. 1.2 - a) Efeitos da Abertura. b) Efeitos do Fechamento. Fonte Banon e Barrera, 1994.

As definições matemáticas das transformações anteriormente citadas bem como outras transformações que utilizaremos na seção 2, estão descritas no anexo I.

2 Metodologia

O processo metodológico inicia-se com a digitalização da carta topográfica usando um scanner HP IICX (300dpi). A imagem obtida é

transferida para o ambiente cantata - KHOROS (Rasure et al. 1990). A extração das isolinhas é então obtida a partir das ferramentas da MM usando a MMach (Barrera, Banon e Lotufo, 1995). Para a extração destas informações, utilizou-se a decomposição da imagem digitalizada em 3 bandas (Figura 2.1), onde cada banda é representada espacialmente de acordo com as definições a seguir.

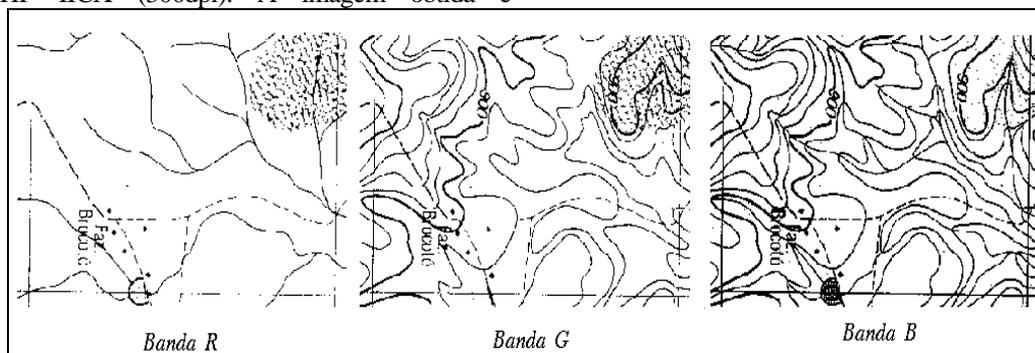


Fig. 2.1 - Bandas RGB.

Seja f_i uma banda de uma imagem colorida, onde $i = 1, 2, 3$, obtida pela digitalização de uma carta e representada por $f_i: E_1 \rightarrow K_1$, (f_i é uma imagem de tamanho E_1 em K_1 níveis de cinza)., K_1 é o intervalo $[0, 255]$ de \mathbf{Z} (números inteiros).

O problema da extração de isolinhas de uma carta topográfica pode ser visto como encontrar uma transformação ψ em f onde $g = \psi(f)$ é o resultado desta transformação e. $g: E_1 \rightarrow K_2$ (g é uma imagem de E_1 em K_2). Como g é uma imagem binária, K_2 é um intervalo com apenas dois valores 0 e 255.

A solução deste problema representada por ψ e pode ser decomposta em várias etapas. Nas seções 2.1, 2.2 e 2.3 são vistas estas etapas.

2.1 Binarização das Bandas R, G e B

Inicialmente limiarizou-se as três bandas da imagem da carta. As bandas originais são

mostradas na Figura 2.1 e a composição colorida 2.2 (a).

Seja f_1 a banda do vermelho, f_2 a banda do verde e f_3 a banda do azul. A binarização das bandas é dada por:

$$g_1 = \begin{cases} 255 & \text{se } 0 \leq f_1(x) \leq 150 \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases} \quad (1)$$

$$g_2 = \begin{cases} 255 & \text{se } f_2(x) = 0 \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases} \quad (2)$$

$$g_3 = \begin{cases} 0 & \text{se } \sim f_3(x) = 0 \\ 255 & \text{c.c.} \end{cases} \quad (3)$$

As imagens g_2 e g_3 apresentam informações de isolinhas, g_1 e g_3 apresenta informações da drenagem.

Comentário:

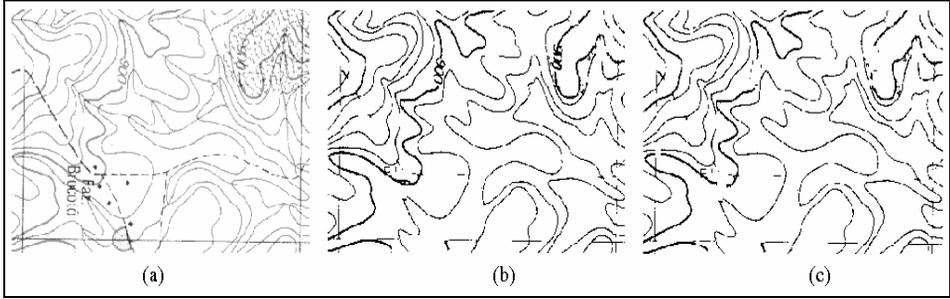


Fig. 2.2 - (a) Imagem RGB. (b) Imagem binária g_9 . (c) Imagem binária g_{14} .

2.2 Isolinhas com Cota

A extração das isolinhas baseia-se em combinar as imagens g_1 , g_2 e g_3 usando as ferramentas da MM para obter uma imagem binária de isolinhas.

A imagem g_4 é gerada pela subtração de g_3 com g_1 , cujo resultado é uma imagem sem a rede de drenagem e sem nomes de localizações.

$$g_4 = g_3 - g_1 \quad (4)$$

A imagem g_5 é gerada pela interseção da imagem g_3 e g_4 para eliminar alguns ruídos.

$$g_5 = g_3 \wedge g_4 \quad (5)$$

Se a aquisição fosse ideal a imagem g_5 mostraria apenas as isolinhas e as cotas. Como na aquisição existe um efeito de borramento, tem-se o passo seguinte para eliminar alguns ruídos que ainda estão presentes em g_5 .

$$g_6 = \sigma_{B_1, B_2}^n(g_5). \quad (6)$$

$$\text{onde } n=5, B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ e } B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & \mathbf{0} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Depois de eliminar os ruídos é necessário reconstruir os objetos que restaram para que mantenham as mesmas dimensões.

$$g_7 = \gamma_{B_3, g_6}(g_4). \quad (7)$$

$$\text{Onde } B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{1} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Algumas regiões que formavam isolinhas por não estarem conectadas terminaram sendo eliminadas e mesmo com o passo anterior não foi possível reconstruí-las. As duas equações seguintes tentam recuperar estas partes. Inicialmente é feito um fechamento e em seguida faz-se a interseção deste resultado com a imagem g_2 .

$$g_8 = \phi^n_{B_3}(g_7). \quad (8)$$

$$g_9 = g_8 \wedge g_2. \quad (9)$$

Onde $n=3$.

2.3 Eliminação das Cotas

A imagem de g_9 é mostrada na Figura 2.2 (b). Observa-se que esta imagem possui as isolinhas, alguns ruídos e as cotas. A seguir são mostrados os passos para identificação das cotas supondo que existe pelo menos um zero nos valores de cota.

Utiliza-se a interseção de um filtro $\gamma\phi$ com a imagem g_9 para reconhecer a posição das cotas. Onde $n=1$ e $m=1$.

$$g_{10} = \gamma^n_{B_3} \phi^m_{B_3}(g_9) \wedge g_9 \quad (10)$$

Como em algumas cotas, os zeros não estão fechados. Então utiliza-se o fechamento para obter o resultado desejado:

$$g_{11} = \phi_{B_3}(g_{10}) \quad (11)$$

Utiliza-se uma transformação denotada por fechamento de buracos para obter os marcadores das cotas.

$$g_{12} = \Phi_B(g_{11}) \quad (12)$$

A seguir é feita uma filtragem $\gamma\varphi$ para eliminar objetos que não são considerados cotas.

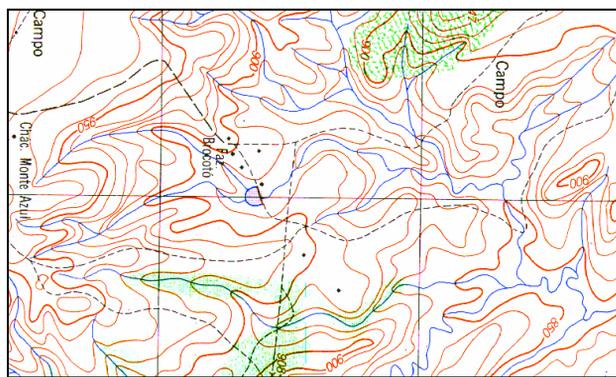
$$g_{13} = \gamma_{B_3}\phi_{B_3}(g_{12}) \quad (13)$$

O próximo passo é eliminar as cotas da imagem g_9 (Figura 2.2 (c)).

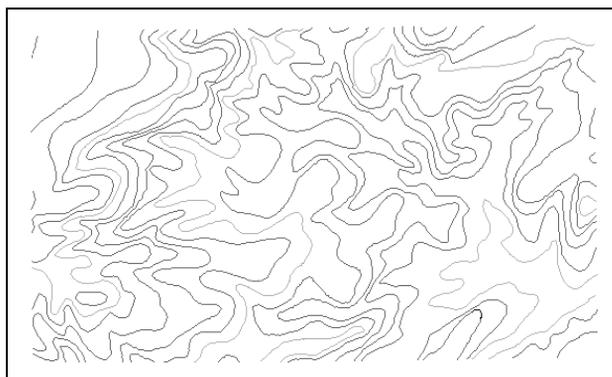
$$g_{14} = g_9 - g_{13} \quad (14)$$

2.4 Vetorização e SGI

Em Ablameyko e Paramonova (1994), existe um procedimento para a correção após a vetorização. No nosso caso, a imagem g_{14} é vetorizada e em seguida transferida para um SIG. É feita então uma edição para corrigir algumas falhas e em seguida faz-se a cotação manual das linhas. A Figura 2.3 (a) mostra imagem da carta digitalizada e a Figura 2.3 (b) mostra o resultado da edição.



(a)



(b)

Fig. 2.3 - (a) Imagem da carta original. (b) Imagem de isolinhas.

3 Resultados e Considerações Finais

Na Figura 2.3 são vistos a imagem original da carta digitalizada e o plano de informação após o processo de edição. Neste plano, as linhas já se encontram devidamente cotadas, o que permite que as mesmas sejam manipuladas para vários fins. Algumas descontinuidades nas linhas bem como em alguns segmentos isolados na imagem foram corrigidas de acordo como visto na seção 2.4. Uma outra forma para obter melhor resultado é digitalizar o mapa com valores acima de 300dpi, mas isto implicaria em maior espaço em disco para armazenar a imagem resultante.

Esta metodologia pode ser considerada geral para escala 1:25.000. Pois existe uma uniformização das cores no mapa, largura das linhas, etc.

O fato de termos trabalhado com imagem colorida facilita na separabilidade dos objetos no mapa, tornando assim o procedimento de aquisição das isolinhas mais rápido. Porém impõe-se algumas limitações, tais como: disponibilidade de um scanner colorido tamanho A1, e o tamanho do arquivo gerado neste processo. Entretanto, estudos estão sendo feitos no sentido de se trabalhar com a aquisição de imagens de cartas em níveis de cinza. O que reduziria estas limitações. Além disto, estamos estudando uma forma de reduzir ao máximo o processo de edição no SGI através da MM para tornar o procedimento mais eficiente. Os resultados deste trabalho podem ser vistos também em Candeias (1995).

Anexo I (Barrera, Banon e Lotufo, 1995)

Seja Z o conjuntos dos inteiros. Sejam E um retângulo de Z^2 e K um intervalo $[0, k]$ de Z , com $k > 0$. A coleção das funções de E em K representa as imagens em níveis de cinza (as imagens binárias são vistas como caso particular de imagens em níveis de cinza).

Denota-se esta coleção por K^E e por f, g, f_1 e f_2 os elementos genéricos de K^E .

A *interseção* de f_1 e f_2 , denotada $f_1 \wedge f_2$, é a função em K^E dada por, para todo x em E ,

$$(f_1 \wedge f_2)(x) = \min\{f_1(x), f_2(x)\}, \quad (15)$$

a *união* de f_1 e f_2 , denotada $f_1 \vee f_2$, é a função em K^E dada por, para todo x em E ,

$$(f_1 \vee f_2)(x) = \max\{f_1(x), f_2(x)\} \quad (16)$$

O *complementar* (ou *inverso*) de f , denotado $\sim f$ é a função em K^E dada por, para todo x em E ,

$$(\sim f)(x) = k - f(x) \quad (17)$$

As definições seguintes baseiam-se na estrutura de grupo Abeliano de $(Z^2, +)$.

Seja B um subconjunto de Z^2 . Denota-se por B_h *translado* de B por um vetor h em Z^2 , isto é,

$$B_h = \{x + h : x \in B\} \quad (18)$$

Denota-se por B' o *transposto* de B , isto é,

$$B' = \{-x : x \in B\} \quad (19)$$

A *dilatação* de f com respeito ao borrão B é a função $\delta_B(f)$ em K^E dada por, para todo x em E ,

$$(\delta_B(f))(x) = \max\{f(y) : y \in B'_x \cap E\} \quad (20)$$

A erosão B é a função $\varepsilon_B(f)$ em K^E dada por, para todo x em E ,

$$(\varepsilon_B(f))(x) = \min\{f(y): y \in B_x \cap E\} \quad (21)$$

A soma de Minkowski de dois conjunto A e B de Z^2 é o subconjunto $A \oplus B$ de Z^2 , dado por:

$$A \oplus B = \bigcup\{A_b: b \in B\} \quad (22)$$

As transformações γ_B e ϕ_B de K^E em K^E , dadas pelas seguintes composições:

$$\gamma_B = \delta_B \varepsilon_B \text{ e } \phi_B = \varepsilon_B \delta_B \quad (23)$$

são chamadas, respectivamente, *abertura e fechamento (morfológico) por B*.

Seja B um subconjunto de Z^2 , as duas transformações δ_B^a e ε_B^a de K^E em K^E , dados pelas seguintes composições:

$$\delta_B^a = \sim \delta_{B^c} \text{ e } \varepsilon_B^a = \sim \varepsilon_B \quad (24)$$

são chamadas, respectivamente, *anti-dilatação e anti-erosão por B*.

Sejam A e B dois subconjuntos de Z^2 tal que $A \subset B$, as duas transformações $\lambda_{A,B}$ e $\mu_{A,B}$ de K^E em K^E , são dadas por:

$$\lambda_{A,B} = \varepsilon_A \wedge \delta_{B^c}^a \text{ e } \mu_{A,B} = \delta_A \wedge \varepsilon_{B^c}^a \quad (25)$$

são chamados, respectivamente, *transformação supgeradora e inf-geradora de parâmetros A e B*. O mapeamento da sup-geradora dos parâmetros A e B^c é também chamado de *transformação Hit-Miss dos parâmetros A e B*.

Seja B um subconjunto de Z^2 . Duas transformações δ_B^n e ε_B^n de K^E em K^E , são dadas, para $n > 0$, por $n-1$ composições sucessivas.

$$\delta_B^n = \delta_B \cdots \delta_B \text{ e } \varepsilon_B^n = \varepsilon_B \cdots \varepsilon_B \quad (26)$$

$$\text{e, para } n = 0, \delta_B^n = \iota \quad (27)$$

onde ι é a identidade. As equações (26) e (27) são chamadas de *n-dilatação e n-erosão por B*. Ou seja, $nB = (B \oplus B) \cdots \oplus B$ são, equivalentes a dilatação e erosão por nB , onde nB é dado por $n-1$ sucessivas composições.

$$nB = (B \oplus B) \cdots \oplus B \text{ e, para } n = 0, nB = \{o\}. \quad (28)$$

Seja g um elemento de K^E , as transformações $\delta_{B,g}^n$ e $\varepsilon_{B,g}^n$ de K^E em K^E , dados por $n-1$ composições sucessivas.

$$\delta_{B,g}^n = \delta_{B,g} \cdots \delta_{B,g} \text{ e } \varepsilon_{B,g}^n = \varepsilon_{B,g} \cdots \varepsilon_{B,g} \quad (29)$$

são chamadas, respectivamente, *n-dilatações e n-erosões condicionais por B* dado g .

As duas transformações γ_B^n e ϕ_B^n de K^E em K^E , dadas por:

$$\gamma_B^n = \delta_B^n \varepsilon_B^n \text{ e } \phi_B^n = \varepsilon_B^n \delta_B^n \quad (30)$$

são chamadas, respectivamente, *n-aberturas e n-fechamentos por B*. γ_B^n e ϕ_B^n são, respectivamente, equivalentes a abertura e fechamento por nB .

Seja B um subconjunto de Z^2 e seja f um elemento de K^E , a transformação $\gamma_{B,f}$ e $\phi_{B,f}$ de K^E em K^E , dada por, para qualquer $g \in K^E$,

$$\gamma_{B,f}(g) = \vee \{ \delta_{B,g}^n(f): n = 1, \dots \} \text{ e } \phi_{B,f}(g) = \vee \{ \varepsilon_{B,g}^n(f): n = 1, \dots \} \quad (31)$$

são chamadas respectivamente, *abertura e fechamento por reconstrução a partir de um marcador f*.

O operador Φ_B de $\{0, k\}^E$ em $\{0, k\}^E$, dado por, para qualquer $g \in \{0, k\}^E$,

$$\Phi_B(g) = \sim \gamma_{B,f}(\sim g), \quad (32)$$

é chamado de *fechamento de buracos* em g . As duas transformações de $f K^E$ em K^E , dadas pelas composições:

$$\sigma_{A,B} = \iota \sim \lambda_{A,B} \quad e \quad \tau_{A,B} = \iota \vee \lambda_{A,B} \quad (33)$$

são chamadas, respectivamente, *afinamento* e *espessamento* de parâmetros A e B .

Seja A e B duas seqüências finitas de n subconjuntos em Z^2 , respectivamente, com elementos A_i e B_i tal que $A_i \subset B_i$. As duas transformações :

$$\sigma_{A,B}^n \quad e \quad \tau_{A,B}^n \quad (34)$$

de K^E em K^E , dada por $n - 1$ composições sucessivas.

$$\sigma_{A,B}^n = \sigma_{A_1,B_1} \cdots \sigma_{A_n,B_n} \quad e \quad \tau_{A,B}^n = \tau_{A_1,B_1} \cdots \tau_{A_n,B_n} \quad (35)$$

n-afinamento e *n-espessamento* de parâmetros A e B .

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Doutor Gerald J. F. Banon e ao Eng. Eletricista Zacharias Emani Candeias Jr. pela revisão deste trabalho. Também agradecem o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), processo 680067/94-9, Projeto ProTeM-CC AnIMoMat.

Referências

Ablameyko, S.; Bereishik, V.; Paramonova, N. Vectorization and Representation of Large-Size 2-D line-Drawing Images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 5(3):245-254, 1994.

Ansault, M.M.; Soille, P. J. Mathematical morphology: a tool for automated GIS data

acquisition from scanned thematic maps.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(9):1263 - 1271, sep. 1990.

Banon, G. J. F. e Barrera, J. Bases da Morfologia Matemática para a análise de imagens binárias. IX *Escola de Computação*, Recife, 24-31, julho, 1994.

Barrera, J. *Uma abordagem unificada para os problemas de Processamento Digital de Imagens: a Morfologia matemática*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, 1987.

Barrera, J., Banon G. J. F. e Lotufo, R. A. A mathematical morphology toolbox for the KHOROS system: specifications for Version 1.2b. *Workshop'95 de Morfologia matemática*, Campinas, mar., 1995.

Haralick, R., M., Sternberg S.R. Zhuang X. Image Analysis using mathematical morphology, *IEEE Patern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-9, no. 4, pp. 532-555, Jul., 1987.

Haralick, R. M. and Shapiro L. G. Computer and robot vision, vol. 1, New York, Addison Wesley, 1991.

Rasure, J., Argiro D., Sauer T. e Williams C. Visual Language and Software Development Environment for Image Processing. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, (2), pp. 183-199, 1990.

Rechiuti, L. V. *Digitalização semi-automática de dados para produção de modelos numéricos de elevação*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, nov. 1994.

Serra, J.P.F. *Image Analysis and Mathematical Morphology. Volume 1*. Academic Press, London, 610 p., 1982.

Candeias, A. L. B. *Automatic Isolines Extraction*, Available at <http://www.inpe.br/~banon/URLib2/index.html>, URLib repository: dpi.inpe.br/analucia/1995/11.22.12.06, 1995.