

# Delimitação do reservatório Buritama a partir da imagem simulada SSR usando Morfologia Matemática

ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS<sup>1</sup>  
MAGDALENA FERNÁNDEZ<sup>2</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Divisão de Processamento de Imagens  
Avenida dos Astronautas, 1758  
12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>1</sup>analucia@pgrad.inpe.br

<sup>2</sup>magda@dpi.inpe.br

**Abstract.** This paper describes an application of mathematical Morphology in Remote Sensing. As morphological operators relate directly to shape, they are useful for detecting and extracting objects from an image. Here we exemplify this by extracting the reservoir Buritama (São Paulo) from a SSR simulated image. This application may be used for monitoring the reservoir during the year. It may be employed, too, for generating information planes for a geographical information system.

## 1 Introdução

A Morfologia Matemática é uma teoria de análise espacial de estruturas e possui várias aplicações em processamento de imagens. De fato, foi demonstrado (Banon e Barrera, 1991, 1993) que todo algoritmo para a extração de informação ou segmentação de imagens, ou mais geralmente, toda transformação entre imagens pode ser descrita em termos das transformações elementares da Morfologia Matemática.

Neste trabalho utilizam-se as ferramentas da Morfologia Matemática na geração de um plano de informação com o alvo de interesse sendo a represa Buritama (São Paulo).

O objetivo do trabalho é a delimitação do reservatório, e logo é suficiente trabalhar sobre imagens binárias. O primeiro passo na metodologia consistiu, então, na binarização da imagem original. A qualidade da água, a profundidade, são alguns fatores que definem a assinatura espectral do reservatório e é possível obter por radiometria o limiar mais adequado para definir a área do mesmo. Optou-se por escolher um limiar que contivesse toda a informação desejada, preservando as características essenciais de forma da área do reservatório. Com isto selecionamos como reservatório outros alvos que não fazem parte do mesmo.

Para gerar um plano de informação que contenha apenas a área do reservatório usaram-se as ferramentas da Morfologia Matemática. Na seguinte seção lembramos os conceitos básicos da Morfologia Matemática para imagens binárias.

A área de estudo é mostrada na seção 3, e a

metodologia desenvolvida para a delimitação do reservatório na seção 4.

Uma aplicação deste estudo é o monitoramento da área do reservatório nos períodos de chuva e estiagem. Para isto é necessário verificar a sua área em diversos períodos do ano. Na seção 5 indicamos como isto poderia ser feito.

Para implementar esta aplicação utilizaram-se o sistema KHOROS, e uma caixa de ferramentas de Morfologia Matemática implementada por Junior Barrera (IME-USP).

O KHOROS é um pacote aberto de visualização de dados e processamento de sinais desenvolvido na Universidade de Novo México (EUA). O ambiente de programação visual - cantata - permite a interconexão de módulos de processamento e de controle. Com este ambiente é possível construir uma metodologia de processamento a partir de uma coleção de blocos interligados.

## 2 Conceitos Básicos de Morfologia Matemática

A linguagem da Morfologia Matemática é aquela da teoria de conjuntos. Os conjuntos em Morfologia Matemática representam as formas que se manifestam em imagens binárias ou imagens em tons de cinza. Assim, uma imagem em preto e branco pode ser identificada com o conjunto dos seus pontos brancos (ou alternativamente, dos seus pontos pretos), os quais constituem uma descrição completa da imagem binária.

Estes conjuntos são considerados contidos num

espaço euclidiano. Na prática trabalha-se com as partes de um retângulo em  $Z^2$ .

A idéia central da Morfologia Matemática é a representação de aplicações a partir de duas elementares: erosões e dilatações.

As transformações produzidas nas imagens binárias pelas erosões e dilatações dependem de padrões predefinidos, que as sondam localmente: os elementos estruturantes. Basicamente, na erosão verifica-se quando o elemento estruturante está contido na imagem, e na dilatação, quando ele a toca.

A seguir lembramos alguns conceitos básicos empregados em Morfologia Matemática, e em particular nesta aplicação.

Seja  $E \subset Z^2$  um conjunto não vazio. Denotamos por  $\{0,1\}^E$  à coleção de todas as funções de  $E$  em  $\{0,1\}$  (imagens binárias definidas no retângulo  $E$ ). Como foi mencionado acima, todo elemento deste conjunto é identificado com um subconjunto de  $E$ , e logo  $\{0,1\}^E$  pode ser identificado com o conjunto:

$$\mathcal{P}(E) = \{X : X \subset E\}.$$

Seja  $X \subset E$ . O complemento de  $X$ , que denotaremos  $X^c$ , é definido por:

$$X^c = \{z \in E : z \notin X\}.$$

A operação (unitária) de  $\mathcal{P}(E)$  em  $\mathcal{P}(E)$  que a cada  $X \subset E$  assigna  $X^c$ , é chamada de complementação. Esta operação corresponde à inversão ou involução de imagens, ou ainda ao operador lógico NOT.

Dados  $X \subset E$  e  $Y \subset E$ , chamamos interseção de  $X$  e  $Y$  ao conjunto simbolizado por  $X \cap Y$  e definido por:

$$X \cap Y = \{z \in E : z \in X \text{ e } z \in Y\}.$$

A operação binária em  $\mathcal{P}(E)$  correspondente, é também chamada de interseção. Do ponto de vista das imagens como elementos de  $\{0,1\}^E$ , a interseção corresponde à operação (binária) em  $\{0,1\}^E$  tal que dadas duas imagens  $f, g$  neste conjunto, calcula, pixel a pixel, o mínimo dos valores dos valores de  $f$  e  $g$ . Também pode ser identificada com o operador lógico AND.

Dados  $X \subset E$  e  $Y \subset E$ , chamamos união de  $X$  e  $Y$  ao conjunto simbolizado por  $X \cup Y$  e definido por:

$$X \cup Y = \{z \in E : z \in X \text{ ou } z \in Y\}.$$

A operação binária em  $\mathcal{P}(E)$  correspondente, é também chamada de união. Do ponto de vista das imagens como elementos de  $\{0,1\}^E$ , a união corresponde à operação (binária) em  $\{0,1\}^E$  tal que dadas duas imagens  $f, g$  neste conjunto, calcula, pixel a pixel, o máximo dos valores dos valores de  $f$  e  $g$ . Também pode ser identificada com o operador lógico OR.

A diferença de dois conjuntos  $X \subset E$  e  $Y \subset E$ , denotada por  $X - Y$ , é definida por:

$$X - Y = \{z \in E : z \in X \text{ e } z \notin Y\} = X \cap Y^c.$$

As erosões e dilatações, como já foi mencionado, são definidas em função de um padrão predefinido, chamado de elemento estruturante. O elemento estruturante neste contexto é simplesmente um subconjunto de  $Z^2$ . Notaremos por  $B$  os elementos estruturantes nas definições próximas.

Seja, então,  $B \subset Z^2$  um elemento estruturante. Antes de definir erosão e dilatação por  $B$ , precisamos dos seguintes conceitos. O translado,  $B_h$ , de  $B$  por um vetor  $h \in Z^2$ , é dado por:

$$B_h = \{b + h : b \in B\}.$$

onde o símbolo  $+$  corresponde à soma em  $Z^2$ . O transposto ou simétrico de  $B$ , simbolizado por  $B^t$ , é definido por:

$$B^t = \{-b : b \in B\}.$$

Na figura seguinte mostramos um elemento estruturante  $3 \times 3$ ,  $B$ , centrado na origem (i.e., a origem de  $Z^2$  coincide com o quadrado central). A origem nos elementos estruturantes será indicada por um ponto nas respectivas figuras. Como subconjunto de  $Z^2$ , podemos escrever:

$$B = \{(0,0), (1,0), (-1,0), (0,1), (0,-1), (-1,-1)\}$$

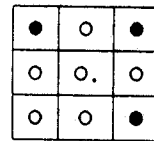


Figura 1: Elemento estruturante  $B$

O transposto de  $B$ ,  $B^t$ , é mostrado na figura 2 e é dado por:

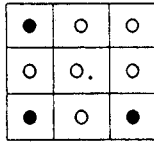
$$B^t = \{(0,0), (1,0), (-1,0), (0,1), (0,-1), (1,1)\}$$

Seja  $B$  um elemento estruturante. Dado  $X \subset E$ , a dilatação de  $X$  por  $B$ , que indicaremos por  $\delta_B(X)$ , é dada por:

$$\delta_B(X) = \{z \in E : (B^t)_z \cap X \neq \emptyset\},$$

e a erosão de  $X \subset E$  por  $B$ , denotada  $\varepsilon_B(X)$ , define-se por:

$$\varepsilon_B(X) = \{z \in E : B_z \subset X\}.$$

Figura 2: Transposto de  $B$ 

Para cada elemento estruturante  $B$  podemos então definir duas aplicações de  $\mathcal{P}(E)$  em  $\mathcal{P}(E)$ ,  $\delta_B$  (dilatação por  $B$ ) e  $\varepsilon_B$  (erosão por  $B$ ), pelas fórmulas acima.

Para maiores detalhes sugere-se Serra (1986), Haralick et al. (1987) ou Barrera (1992).

### 3 Área de estudo

A área de estudo consiste da imagem simulada SSR (satélite de sensoriamento remoto), banda 2 da Missão Espacial Brasileira Completa (MECB) com resolução espacial de 212 metros (Santos, 1992). A banda simulada é equivalente a banda do Sensor Landsat 5 TM banda 4.

As imagens para a simulação são do sensor Landsat 5 TM com órbita/ponto 222/75, quadrante B, e data de passagem 26/06/1987.

Esta imagem refere-se a uma região de relevo ameno onde é visível a represa de Buritama e as cidades de Araçatuba, Birigui e Penápolis, e representa basicamente uma área agrícola.

A imagem original, que chamaremos  $f$ , é mostrada na Figura 3, realçada com a finalidade de facilitar a visualização.

### 4 Metodologia

A metodologia deste trabalho é subdividida em três partes distintas, que são respectivamente: Obtenção da imagem binária, extração da barragem e geração da imagem final. A seguir desenvolvemos cada uma destas três divisões.

#### 4.1 Obtenção da imagem binária

O procedimento para a binarização da imagem original consistiu de uma limiarização.

O limiar escolhido foi 49. Observou-se que este limiar classifica totalmente a área do reservatório. Porém outros objetos distintos desta são também selecionados, em particular o rio Tietê.

A imagem binária obtida neste passo será denotada por  $f_1$ , e é dada por:

$$f_1(x) = \begin{cases} 255 & \text{se } f(x) \leq 49 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Figura 3: Imagem original ( $f$ )

Esta imagem é mostrada na seguinte figura.

#### 4.2 Extração da barragem

A partir da Figura 4 deseja-se marcar a posição da barragem. Para isto é necessário reconhecer o padrão daquela região.

Existem várias possibilidades para reconhecer um padrão; a forma escolhida neste trabalho utiliza o padrão da região da barragem, mostrado na Figura 5, como elemento estruturante no operador morfológico *hit-miss* (Serra, 1982) ou aplicação *sup.geradora* (Bannon e Barrera, 1991).

O operador *hit-miss* (HTM) é definido a partir de um elemento estruturante  $B$  e para cada imagem  $X$  é dado por:

$$HTM_B(X) = \varepsilon_B(X) \cap \varepsilon_{B^c}(X^c).$$

Este operador identifica a existência daquele padrão na imagem. Como este padrão é único na imagem, então tem-se como resultado apenas um ponto, que indica o centro do padrão.

Para reconstruir a barragem a partir do ponto obtido com o procedimento anterior, aplicamos uma dilatação de elemento estruturante mostrado na figura 6

#### 4.3 Geração da imagem final

A partir do conhecimento da barragem é possível obter o reservatório. Este resultado é desenvolvido a partir dos seguintes itens:

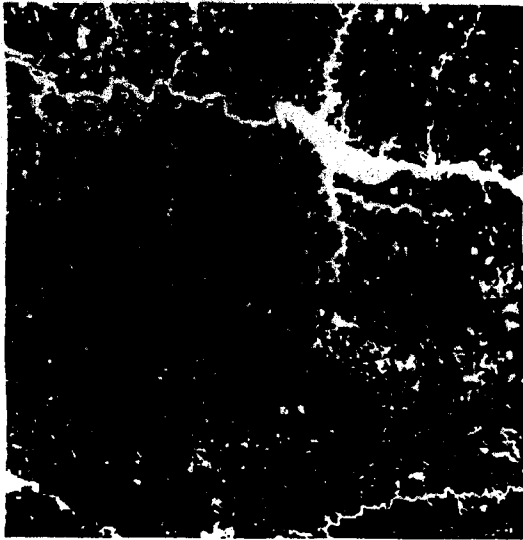


Figura 4: Imagem binária ( $f_1$ )

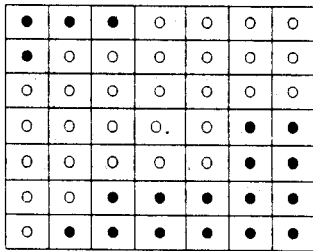


Figura 5: Padrão da Barragem

a) Separação do rio Tiete da área do reservatório. Esta separação obteve-se efetuando a diferença entre a imagem binária  $f_1$  e a imagem que contém apenas a barragem, resultante de aplicar o procedimento do passo anterior.

Na Figura 7 mostra-se a região da barragem após esta separação.

b) Reconstrução do reservatório a partir da imagem obtida no item anterior.

Para a reconstrução do reservatório escolhe-se um marcador que esteja contido nesta região. A finalidade do marcador é identificar a componente conexa de interesse, no nosso caso o reservatório. O marcador pode ser gerado manual ou automaticamente.

A partir do marcador é possível gerar um plano de informação que contenha apenas o reservatório. Isto é feito utilizando uma *abertura por reconstrução* (Ver Serra, 1982) pelo elemento estruturante mostra-



Figura 6: Elemento estruturante para a reconstrução da barragem

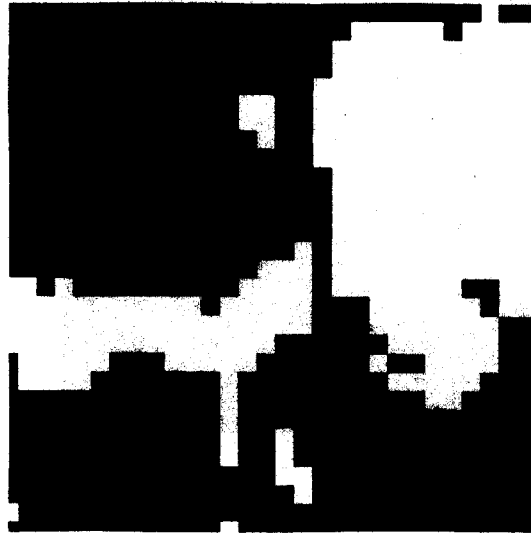


Figura 7: Separação do rio e o reservatório

do na Figura 8:

A Figura 9 representa um plano de informação que contém apenas o reservatório.

#### 4.4 Contagem automática de área

Para o monitoramento do reservatório é necessário a verificação de sua área em diversos períodos do ano. Usando a Figura 9, observa-se que para obtermos a área, basta contarmos o número de pixels com nível de cinza igual a 255. A contagem da área do reservatório é dada pela equação:

$$\text{Área} = \text{No. de pixels} \times \text{Resolução espacial}$$

No caso do sensor SSR, a resolução espacial é de 212x212 metros quadrados.

#### 4.5 Considerações finais

Observa-se que o uso das ferramentas da Morfologia Matemática pode auxiliar os pesquisadores da área

○	○	○
○	○	○
○	○	○

Figura 8: Elemento estruturante usado na reconstrução

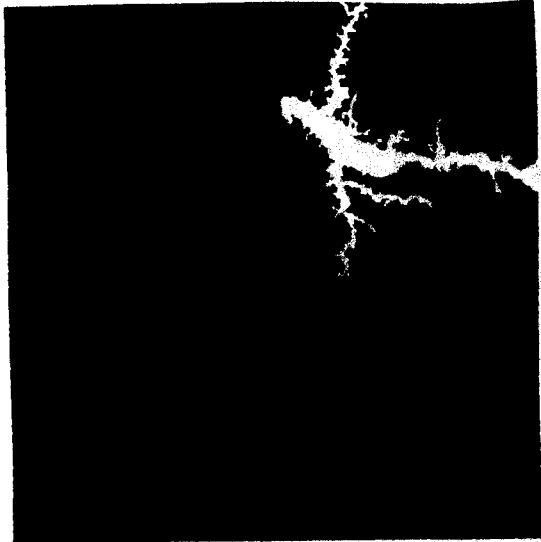


Figura 9: Imagem final

de Sensoriamento Remoto, na extração de alvos de interesse.

Pode-se observar que a imagem final mantém as características de contorno do alvo. E portanto, não há perda de informação.

Com a utilização apenas de limiar não se consegue obter o reservatório. Dependendo do limiar, a imagem resultante irá conter outros alvos ou haverá um comprometimento dos contornos do reservatório.

A metodologia apresentada para resolver o problema não é única. Além disto, para outras áreas testes é necessário reavaliar cada um dos passos, principalmente no que se refer aos elementos estruturantes.

A contagem de área de uma componente é bem simples e pode auxiliar no monitoramento do reservatório em épocas de chuva e estiagem.

#### 4.6 Agradecimentos

Gostariamos de agradecer ao prof. Gerald J. F. Banon (INPE -DPI) que contribuiu com várias sugestões. Este trabalho recebeu o auxílio da FAPESP

(Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), Processo 91/3532-2.

#### 5 Referências

- Banon, G.J.F.; Barrera, J., 1991. "Minimal Representations for translation Invariant Set Mappings by Mathematical Morphology", *SIAM Journal of Applied Mathematics*, vol. 51, no. 6, pag.1782-1798.
- Banon, G.J.F.; Barrera, J., 1993. "Decomposition of Mappings between Complete Lattices by Mathematical Morphology, Part I. General Lattices." *Signal processing 30* : 299-327.
- Barrera, J., 1992. "Uma Abordagem Unificada para problemas de Visão Computacional: A Morfologia Matemática", tese de Doutorado, INPE-5391-TAE/012.
- Haralick, R.M.; Stenberg, S.R.; Zhuang, X., 1987. "Image Analysis Using Mathematical Morphology", *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-9 (4) :532-550.
- Santos, A.C., 1992. "Simulação de Imagens de Sensores com largo campo de a partir de imagens de sensores com menor campo de vi - o caso SSR/TM". Dissertação de Mestrado, INPE, S.José dos Campos.
- Serra, J., 1982. *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, New York.
- Serra, J., 1986. "Introduction to Mathematical Morphology", *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 35 (3):283-305.