# A influência do elemento estruturante no processo de detecção de nuvens em imagens de sensoriamento remoto

Damares Crystina Oliveira De Resende<sup>1</sup> Reginaldo Cordeiro Dos Santos Filho<sup>1</sup> Ana Carolina Quintão Siravenha<sup>1</sup> Danilo Frazão Souza<sup>1</sup> Evaldo Gonçalves Pelaes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará – UFPa Av. Augusto Correa, 01 – 66075-110 – Belém – Pa, Brasil damares.resende@itec.ufpa.br, reginaldo.filho@icen.ufpa.br, siravenha,danilofrazao,pelaes@ufpa.br

Abstract. The broad applicability of Digital Image Processing (DIP) has generated many scientific effort in this area. Associated to Remote Sensing, the DIP area gained significant importance with regard to the study and analysis of large regions, however, images acquired by sensors are subject to interference and noise. Due to this, scientific efforts are being employed in order to eradicate or at least minimize the noise in multispectral images. This paper focus on the preprocessing stage of DIP in remote sensing, which is proposed a generalized structuring elements size for TerraLib library (open source library for working with Geographic Information System (GIS) developed in partnership with the National Institute for Space Research (INPE), with the Computer Graphics Technology (Tecgraf / PUC - Rio) and the Foundation for the Space Science, Applied Research and Technology (FUNCATE)), proposing greater freedom to detect regions of interest in images. It is applied a morphological opening using primitive processing operations such as erosion and dilation in noisy images (affected by regions of sparse or dense cloud and shadow) to comparative analysis of the results obtained. Thus are observed satisfactory results in images of different resolutions as the freedom to choose the shape and size of the structuring element applied, detecting regions of interest (clouds and shadows) in these images. This stage contributes in noise detection in order to eliminate them through DIP techniques, ensuring more refined analysis in subsequent stages of preprocessing, such as segmentation and classification.

**Keywords:** mathematical morphology, terralib, pixel's neighborhood, morfologia matemática, terralib, vizinhança do pixel.

# 1. Introdução

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é amplamente usado em diversas áreas de conhecimento no contexto de Sensoriamento Remoto. Obter informações à distância através da extração de características de uma imagem é um procedimento minuciosamente estudado e aplicado por diversos pesquisadores e especialistas da área. Este processamento auxilia a tarefa de interpretação realizada por analistas humanos mediante o tratamento visual aplicado à imagem e também promove a percepção não supervisionada através de máquinas.

As principais formas de interferência em imagens de sensoriamento remoto são os componentes atmosféricos que neste trabalho são entendidos como: nevoeiros, neblinas, nuvens (densas e esparsas) e sombras. Um aspecto negativo de trabalhar com essas imagens é que mesmo a menor obstrução atmosférica pode causar um ruído grande, principalmente em imagens multiespectrais de alta-resolução (HAU et al., 2008). Por isso, detectar essas regiões de interesse com o objetivo de suavizar ou remover os componentes atmosféricos presentes é importante para ajudar nas etapas subsequentes do PDI, como segmentação e classificação, aumentando assim, a precisão dos resultados.

Bons resultados, através da utilização de operações morfológicas, são obtidos escolhendo adequadamente a forma e dimensão do elemento estruturante. Esta escolha varia de acordo com a aplicação a ser realizada. Em Ishikawa (2008), é proposto um método para detecção de rodovias em imagens digitais de alta resolução baseado em operações morfológicas, no qual o objeto a ser identificado nas imagens tinham feições com forma geométrica linear, o elemento estruturante utilizado foi em forma de linha onde é configurada a espessura (em *pixels*) e orientação (dada em graus, refe-se ao ângulo de inclinação da linha).

Em Calxito (2012) é apresentado um estudo comparativo sobre a influência da forma e dimensão do elemento estruturante em imagens tons de cinza, cujo objetivo é encontrar o ajuste mais adequado para trabalhar com as imagens teste. Observa-se que o tamanho da imagem é um fator importante na escolha da dimensão do elemento estruturante. Já Pedrosa et al. (2011) integra técnicas de PDI e sensoriamento remoto para identificar crateras da superfície marciana em imagens digitais baseado na morfologia matemática. Neste caso, o elemento estruturante utilizado foi em forma de disco dada a similaridade das crateras a forma circular, ressaltando a importância na escolha da forma do elemento estruturante.

Neste trabalho, é proposto um método de generalização do tamanho de elementos estruturantes para a biblioteca TerraLib. Esta biblioteca *open source* é desenvolvida na linguagem de programação C++ que oferece múltiplas ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e se encontra disponibilizada em INPE, Funcate e Tecgraf (2012). A TerraLib integra o uso de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), suportanto SGBD diferentes tais como *MySQL*, *PostgreSQL* e *Oracle*. A biblioteca lida com tipo de dados espaçotemporais (objetos em movimento, espaços celulares, eventos) e permite consultas espaciais, temporais e por atributos no banco de dados (INPE, 2012).

Propõe-se a expansão da biblioteca no que tange a utilização de elementos estruturantes, sua forma e dimensão. Para tanto, foram desenvolvidas e estudadas três formas de elementos estruturantes: quadrado (*square*), disco (*disk*) e linhas periódicas (*periodic lines*). A flexibilidade na escolha de sua forma e dimensão garantem uma melhor identificação de objetos de interesse em uma imagem, uma vez que uma vizinhança bem definida (forma) e o tamanho (dimensão) do elemento estruturante permite abranger as mais variadas morfologias possíveis.

A organização do trabalho se dá da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os conceitos relacionados a metodologia utilizada no contexto de PDI e Sensoriamento Remoto; já na seção 3 são apresentados os resultados e as discussões a cerca das comparações feitas; enquanto que seção 4 destina-se a conclusão dos resultados obtidos.

#### 2. Metodologia do Trabalho

Esta seção apresenta o procedimento utilizado no processo de detecção de nuvens e sombras proposto.

#### 2.1. Detecção de Regiões

As regiões de interesse usadas para testar a influência dos elementos estruturantes são as nuvens (densas e esparsas) e sombras. A base para o processo de detecção foi o método proposto em Hau et al. (2008), no qual é feita uma separação de regiões com diferentes características na imagem, aplicando de forma efetiva técnicas de processamento em suas respectivas regiões de interesse. Esta separação é feita de acordo com medidas estatísticas da mesma, detectando áreas de nuvens e as áreas que não sofreram com nenhum destes tipos de interferências. Em Siravenha (2011), foi acrescentado a capacidade de detecção de sombras provenientes principalmente de nuvens e do ângulo de imageamento. Já em Sousa (2011), foram acrescentados 2 fatores de realce de nuvens e sombras (fn e fs, nesta ordem) que inseriram uma maior flexibilidade à tarefa

de separação de regiões em diferentes níveis de iluminação.

Os detalhes da função usada para separação de regiões é mostrado na Eq. 1. Esta equação é aplicada em todas as bandas da imagem, por exemplo, um *pixel* é considerado região de sombra se em todas as bandas da imagem tem seu valor de nível de cinza menor que a multiplicação de fs pela subtração do valor médio dos *pixels* pelo desvio padrão.

$$m(x,y) = \begin{cases} f(x,y) < fs \times f_{m-dp}, & f(x,y) \in 0, \\ f_{m-dp} < f(x,y) < f_m, & f(x,y) \in 1, \\ f_m < f(x,y) < fn \times f_{m+dp}, & f(x,y) \in 2, \\ f(x,y) > fn \times f_{m+dp}, & f(x,y) \in 3, \end{cases}$$
(1)

onde, na imagem com ruído, f(x, y) é o valor do *pixel* (nuvem ou sombra),  $f_m$  é o valor médio,  $f_{m+dp}$  é o valor médio somado ao valor do desvio padrão,  $f_{m-dp}$  é o valor médio subtraído do valor do desvio padrão e fn e fs são os fatores de nuvem e sombra respectivamente. As regiões são rotuladas com um número para identificá-las de acordo com a classificação, são eles: 0 – regiões de sombra; 1 – áreas livres de qualquer ruído; 2 – regiões de nuvens esparsas; 3 – regiões de nuvens densas.

## 2.2. Elementos Estruturantes

O elemento estruturante é uma matriz binária bem definida, previamente conhecida e menor que a imagem a ser processada. Seu centro varre cada elemento do conjunto desconhecido (imagem) e sua vizinhança é responsável pela manutenção da operação morfológica em si.

Quanto mais bem definida a vizinhança das máscaras das operações morfológicas mais precisas e relevantes são as informações adquiridas de cada *pixel*, assim, é fundamental uma boa definição da forma e tamanho do elemento estruturante a ser utilizado.

Esses elementos podem ser de dois tipos: planares ou não planares. O primeiro, são matrizes bi-dimensionais compostas de 0's e 1's, onde o *pixel* central (origem) identifica o *pixel* de interesse e os *pixels* que contém 1's definem a vizinhança. Elementos não-planares correspondem a matrizes tri-dimensionais que usam os 0's e 1's para definir a extensão do elemento estruturante no plano (x, y) e valores "peso" para definir a terceira dimensão (BARAT; DUCOTTET; JOURLIN, 2010). A Fig. 1 exemplifica os dois tipos de elementos estruturantes.



Figura 1: Exemplo de elementos estruturantes: (a) planar e sua imagem binária correspondente (c) e (b) não-planar e sua imagem correspondente em escala de cinza (d) (BARAT; DUCOTTET; JOURLIN, 2010).

Elementos estruturantes planares são amplamente utilizados devido principalmente à

facilidade de implementação e resultados satisfatórios, porém, não conseguem extrair algumas propriedades específicas das imagens. Seu uso, por exemplo, transforma as regiões em torno de máximos e mínimos locais em regiões planas, podendo causar o deslocamento da sua posição (DORINI; LEITE, 2010). Por outro lado, as funções estruturantes não planares (ou quadráticas) podem ser utilizadas na definição de transformações morfológicas dependentes de escala, as quais permitem a análise de diferentes níveis de representação, contudo sua aplicação é ligeiramente mais complexa. A diferença no uso desses elementos pode ser visualizada na Fig. 2.



Figura 2: Exemplo da operação morfológica de erosão: (a) imagem original, erosão usando um elemento estruturante (b) planar (quadrado 5x5) e (c) não-planar (parabolóide 3x3) (ANDRADE, 2011).

Neste trabalho, devido a simplicidade de aplicação e a obtenção de bons resultados são usados somente elementos estruturantes planares.

## 2.3. Abertura Morfológica

Nesta seção, duas operações primitivas de processamento morfológico de imagem são discutidas: erosão e dilatação, cujos conceitos fundamentais são baseados em Gonzalez e Woods (2008). Estas duas operações são fundamentadas na teoria de conjuntos e envolvem uma interação entre a imagem e um elemento estruturante B.

No processo da erosão de uma imagem, são considerados dois conjuntos  $f(x, y) \in B$  no espaço  $\mathbb{Z}^2$ . A erosão de f(x, y) por B, denotada  $f(x, y) \ominus B$ , é definida como:

$$f(x,y) \ominus B = \{ z | (B)_z \subseteq f(x,y) \},\tag{2}$$

onde a erosão de uma imagem f(x, y) por *B* resulta no conjunto *z* tal que *B*, transladado por *z*, é um subconjunto próprio da imagem f(x, y).

Já o processo de dilatação de uma imagem, é definido pelos conjuntos f(x, y) e B no espaço  $\mathbb{Z}^2$ , com a dilatação de f(x, y) por B, denotada por  $f(x, y) \oplus B$  e definida por:

$$f(x,y) \oplus B = \{ z | (B)_z \cap f(x,y) \neq \emptyset \}, \tag{3}$$

onde,  $\hat{B}$  consiste na reflexão do elemento estruturante e  $(\hat{B})_z$  o deslocamento desta reflexão por z. A dilatação de f(x, y) por B, é o conjunto de todos os deslocamentos, z, para os quais  $(\hat{B})_z$ e f(x, y) inclui pelo menos um elemento não nulo. Baseado nesta interpretação, a equação anterior pode ser escrita equivalentemente como:

$$f(x,y) \oplus B = \{z | [(B)_z \cap f(x,y)] \subseteq f(x,y)\}$$

$$\tag{4}$$

Portanto, ao contrário da erosão, que encolhe ou comprime um objeto da imagem, a dilatação o expande ou o engrossa realizando, por exemplo, o preenchimento de lacunas.

Dependendo da forma e do tamanho do elemento estruturante utilizado, o resultado da abertura morfológica sofre variações.

A operação de abertura morfológica se dá na ordem de aplicação das operações, sendo que, aplicando a erosão na imagem seguido da dilatação na imagem resultante, tem-se um efeito de suavização dos contornos de uma imagem, quebrando istmos estreitos e eliminando saliências finas, que pode ser expressa pela equação:

$$f(x,y) \circ B = (f(x,y) \ominus B) \oplus B.$$
(5)

Esta operação é feita para deixar as regiões de interesse da imagem mais definidas, ou seja, mais homogêneas, pois visa extinguir pequenos objetos no meio de outros objetos maiores. Isso é necessário uma vez que que a etapa de detecção de regiões deixa brechas, como por exemplo, *pixels* dentro de blocos definidos como ruído (nuvens densas ou esparsas e sombras) podem não ter o valor de luminância que se encaixe no conjunto dessas regiões ruidosas comprometendo as etapas subsequentes do PDI.

# 2.4. Influência do Elemento Estruturante

A presença de alguns componentes atmosféricos como nuvens, neblinas e nevoeiros prejudicam uma análise mais concreta das imagens de sensoriamento remoto. Com o intuito de remover tais componentes, é aplicada sobre essas imagens um pré-processamento de detecção de regiões e remoção de pequenos objetos indefinidos.

A princípio, a detecção de regiões objetiva delimitar as áreas de interesse da imagem, expondo assim as regiões que contém os objetos a serem processados (nuvens e sombras). Após essa demarcação, o processo de abertura morfológica faz-se necessário. Este irá remover istmos estreitos que a imagem venha a apresentar e finalizará o processo de detecção, delimitando de forma mais precisa as áreas que contém nuvens. Para que o processo de abertura seja eficiente é de fundamental importância determinar adequadamente a vizinhança a ser considerada sobre cada *pixel* computado conforme as características do objeto de interesse, pois a escolha da forma e tamanho do elemento estruturante influenciará diretamente no processamento.

Os principais objetos a serem considerados neste trabalho são nuvens, que possuem um formato arredondado e não ocupam grandes regiões na imagem como um todo, podendo variar de tamanho conforme a resolução da mesma ou as condições climáticas da área imageada. Logo, é natural que a escolha do elemento estruturante obedeça à essas características.

A ferramenta de trabalho utilizada para o processamento dessas imagens é a biblioteca geográfica TerraLib, disponibilizada em (INPE; FUNCATE; TECGRAF, 2012). Apesar da variedade de aplicações ao PDI que proporciona, esta possui uma limitação quanto aos métodos das operações morfológicas, impossibilitando ao usuário a escolha da forma dos elementos estruturantes e restringindo a definição do tamanho destes. A TerraLib admite apenas máscaras quadradas e de ordem ímpar, limitando-se aos tamanhos 3x3, 5x5 e 7x7.

Devido a esse impasse, foi desenvolvida uma classe com métodos morfológicos que proporcionam ao usuário uma definição generalizada do tamanho das máscaras de cada operação e uma escolha mais abrangente de seu formato. Nela, a forma do elemento estruturante pode ser definida em três diferentes tipos: *disk, square* e *periodicline*, e seu tamanho x é determinado pelo usuário, sendo  $x \in \mathbb{Z} \mid x > 0$ . Este valor corresponde ao número de linhas ou colunas da máscara. Dessa forma, as etapas subsequentes de detecção e remoção de nuvens podem ser realizadas mais eficientemente.

## 3. Resultados e Discussão

Com uma maior liberdade quanto a escolha do tamanho das máscaras das operações morfológicas tem-se um resultado mais satisfatório e abrangente na detecção de nuvens de imagens de diferentes resoluções. Como o tamanho da nuvem varia de imagem para imagem, torna-se necessária essa flexibilidade no uso dos elementos estruturantes. A forma desses elementos também é bastante relevante, caracteristicamente as nuvens possuem um formato arredondado sendo necessária uma máscara mais próxima o possível desse padrão, de forma a garantir uma delimitação mais precisa das regiões de interesse.

As diferenças na aplicação de elementos estruturais distintos podem ser observadas na Figura 3, onde se pode observar que a escolha da forma e tamanho das máscaras das operações morfológicas influencia diretamente o resultado. Por possuir um formato arredondado, a delimitação das nuvens responde mais precisamente à máscaras do tipo *disk*, além do fato de estruturas menores se adequarem melhor ao seu tamanho. Verifica-se então a importância da determinação prévia dessas estruturas, analisando o contexto ao qual serão inseridas.



Figura 3: Aplicação dos processos de detecção de regiões e abertura morfológica: a) imagem original, b) elemento estrutural em forma de disco de raio 5, c) elemento estrutural em forma de quadrado de tamanho 10, d) elemento estrutural em forma de linhas periódicas de periodicidade 7 com deslocamentos [-1, 2], e) elemento estrutural em forma de disco de raio 15, f) elemento estrutural em forma de quadrado de tamanho 20, e g) elemento estrutural em forma de linhas periódicas de periodicidade 10 com deslocamentos [-3, 1].

A Fig. 4 exemplifica o uso de diferentes tamanhos de elementos estruturantes para imagens distintas e de diferentes resoluções, onde a Fig. 4 a) possui uma resolução maior que a Fig. 4 b). Nota-se que o tamanho das nuvens varia de uma imagem para outra, assim, nas figuras 4 c), d), e) e f) a aplicação de diferentes máscaras interferiu claramente na detecção dos objetos de interesse.

Nas figuras 4 c) e d) foi aplicada a mesma sequência dos mesmos elementos estruturantes, assim como nas figuras 4 e) e f). Comparando os resultados, nota-se que a aplicação de uma máscara pequena foi eficiente na Fig. 4 d), entretanto, observa-se que a Fig. 4 c) está bastante



Figura 4: Abertura morfológica com máscaras de diferentes tamanhos: a) e b) imagens originais nas resoluções 898x940 e 474x473 respectivamente, c) e d) aplicação do elemento estruturante tipo *square* 2x2 para a erosão e *disk* de raio 2 para a dilatação, e) e f) aplicação do elemento estruturante tipo *square* 7x7 para a erosão e *disk* de raio 9 para a dilatação.

poluída. Nela, a aplicação de uma estrutura muito pequena detectou regiões que não são nuvens, ao passo que a aplicação desta na imagem Fig. 4 d) resultou em uma detecção mais precisa. Por outro lado, na Fig. 4 e), onde a máscara aplicada é maior, a detecção e nuvens encontra-se melhor definida, enquanto que na Fig. 4 f), cuja resolução e consequentemente o tamanho das nuvens é menor, a aplicação dessa estrutura não detecta nuvens pequenas.

## 4. Conclusão

Neste trabalho foi discutida a importância da definição da forma e tamanho do elemento estruturante analisando o contexto da imagem ao qual será processado. Através deste, conclui-se que essas estruturas têm bastante influência nas operações morfológicas. Elas são responsáveis por definir a vizinhança de cada *pixel* processado, sendo extremamente necessária sua definição prévia para a obtenção de melhores resultados.

Conclui-se ainda que as imagens cujas nuvens ocupam menos *pixels* precisam de elementos estruturais menores que aquelas cuja a interferência desses componentes é mais abrangente. Desta forma, por variarem indefinidamente quanto ao tamanho e por serem caracteristicamente arredondadas, precisam de estruturas com comportamento correspondente.

Devido as limitações impostas pela biblioteca usada fez-se necessário o desenvolvimento de novos métodos para a definição das máscaras das operações morfológicas, de modo a flexibilizar ao máximo a definição da forma e principalmente do tamanho das mesmas. Assim, o processo de detecção de nuvens torna-se mais eficiente.

Em trabalhos futuros, serão analisadas técnicas automáticas da definição do tamanho do elemento estruturante. Baseado na imagem obtida através da detecção de regiões, é possível

calcular a média de *pixels* corrompidos por componentes atmosféricos, de forma a definir o tamanho da máscara mais apropriado para cada imagem.

# Agradecimentos

Este trabalho é parcialmente financiado pela Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa e Vale S/A por meio do edital 001/2010. Também é suportado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Pará e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

# Referências

ANDRADE, M. L. S. C. de. *Aplicação do método* Level Set *para Segmentação e Classificação de Padrões e Medidas de Escoamento Bifásico Gás-Líquido*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

BARAT, C.; DUCOTTET, C.; JOURLIN, M. Virtual double-sided image probing: A unifying framework for non-linear grayscale pattern matching. *Pattern Recognition*, 2010.

CALXITO, E. P. Análise Comparativa da Influência da Forma do Elemento Estruturante em Imagens Tons de Cinza Geradas por Operadores Morfológicos. 2012.

DORINI, L. B.; LEITE, N. J. Teoria espaço-escala: abordagem morfológica. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, v. 17, 2010.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital Image Processing*. [S.1.]: Addison-Wesley Publishing Company, 2008.

HAU, C. Y. et al. The efficacy of semi-automatic classification result by using different cloud detection and diminution method. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008.

INPE. What is Terralib? 2012. http://www.dpi.inpe.br/terralib.

INPE; FUNCATE; TECGRAF. *Biblioteca Geográfica* open source *desenvolvida em C++*. 2012. http://www.terralib.org/.

ISHIKAWA, A. S. Detecção de rodovias em imagens digitais de alta resolução com o usoda teoria de morfologia matemática. 2008.

PEDROSA, M. M. et al. Detecção de crateras de impacto na superfície marciana por meio de técnicas de morfologia matemática. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 2011.

SIRAVENHA, A. Um método para classificação de imagens de satélite usando Transformada Cosseno Discreta com detecção e remoção de nuvens e sombras. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2011.

SOUSA, D. F. Técnicas de remoção e suavização de componentes atmosféricos em imagens de sensoriamento remoto. 2011.