

Processamento Digital de Imagens: efeitos do processamento morfológico sobre imagens binárias e em níveis de cinza

Borges, C. D. B.

Resumo Morfologia Matemática denomina uma coleção de técnicas de processamento de imagens baseadas em operações sobre conjuntos. Esses métodos foram desenvolvidos inicialmente para imagens binárias, mas foram depois estendidos para imagens em escala de cinza. As operações morfológicas caracterizam-se pela inclusão ou exclusão de *pixels* em conjuntos com base em atributos locais do *pixel* e sua relação com um elemento estruturante. Entre as principais operações, podemos citar como fundamentais a erosão, dilatação, abertura e fechamento. Este trabalho avalia os efeitos dessas operações sobre imagens binárias e em níveis de cinza, considerando variações paramétricas como a natureza e as dimensões do elemento estruturante.

1 Introdução

No ramo da morfologia matemática, a imagem e os objetos nela contidos são representados como conjuntos. Em imagens binárias, por exemplo, o conjunto de *pixels* brancos convencionalmente representa um objeto; os elementos de tal conjunto são pares ordenados (x, y) que representam as coordenadas horizontais e verticais de um *pixel* na imagem. Já nas imagens em escala de cinza os elementos podem ser triplas (x, y, z) , em que o fator adicional z representa a intensidade do *pixel*.

Os elementos estruturantes são pequenos conjuntos ou subimagens usadas no processamento morfológico que refletem propriedades de interesse para a aplicação [1]. Suas duas características principais são a forma e o tamanho. A influência desses atributos será examinada neste trabalho através de experimentos com três formas e três tamanhos diferentes.

As operações morfológicas definem que tipo de relação entre a imagem e o elemento estruturante será considerada para formação do conjunto de saída. Neste trabalho, serão avaliadas quatro operações:

- **Erosão** (\ominus): em imagens binárias, o conjunto de saída é formado por todo *pixel* $p \in \mathcal{I}$ cuja vizinhança engloba totalmente \mathcal{S}_p , o elemento estruturante \mathcal{S} centrado em p [2]:

$$\mathcal{I} \ominus \mathcal{S} = \{p : \mathcal{S}_p \subset \mathcal{I}\} \quad (1)$$

A definição de erosão pode ser generalizada para imagens em escala de cinza, nas quais \mathcal{I} e \mathcal{S} são funções [1]:

$$[\mathcal{I} \ominus \mathcal{S}](x, y) = \min_{(s,t) \in \mathcal{S}} \{I(x+s, y+t)\} \quad (2)$$

- **Dilatação** (\oplus): em imagens binárias, o conjunto de saída é composto por todo *pixel* $p \in \mathcal{I}$ cuja vizinhança possui pelo menos um elemento em comum com \mathcal{S}_p , o elemento estruturante \mathcal{S} centrado em p [2]:

$$\mathcal{I} \oplus \mathcal{S} = \{p : \mathcal{S}_p \cap \mathcal{I} \neq \emptyset\} \quad (3)$$

A definição de dilatação pode ser generalizada para imagens em escala de cinza, nas quais \mathcal{I} e \mathcal{S} são funções [1]:

$$[\mathcal{I} \oplus \mathcal{S}](x, y) = \max_{(s,t) \in \mathcal{S}} \{I(x-s, y-t)\} \quad (4)$$

- **Abertura** (\circ): tanto em imagens binárias quanto em escala de cinza, a saída é o resultado de uma operação de erosão seguida de dilatação pelo mesmo elemento estruturante \mathcal{S} :

$$\mathcal{I} \circ \mathcal{S} = (\mathcal{I} \ominus \mathcal{S}) \oplus \mathcal{S} \quad (5)$$

- **Fechamento** (\bullet): tanto em imagens binárias quanto em escala de cinza, a saída é o resultado de uma operação de dilatação seguida de erosão pelo mesmo elemento estruturante \mathcal{S} :

$$\mathcal{I} \bullet \mathcal{S} = (\mathcal{I} \oplus \mathcal{S}) \ominus \mathcal{S} \quad (6)$$

Os elementos estruturantes \mathcal{S} avaliados neste trabalho são o quadrado (\square), a linha ($|$) e o círculo (\circ), com

dimensões 5×5 , 7×7 e 9×9 . As equações 7, 8 e 9 exibem exemplos desses elementos de tamanho 5×5 .

$$S_{\square}^5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$S_{|}^5 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$S_{\circ}^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

2 Metodologia

A base de dados utilizada neste experimento é composta por três imagens binárias e quatro imagens em escala de cinza. O primeiro passo foi a normalização das imagens da base de dados para um formato comum: (1) todas as imagens foram convertidas para JPG; (2) em todas as imagens, o objeto de interesse deve ser composto por *pixels* de alta intensidade, enquanto *pixels* de fundo assumem valores de baixa intensidade. Em seguida, um *script* na linguagem Python 3.7 foi produzido para fazer a leitura das imagens e aplicação das operações morfológicas através de funções dos pacotes *OpenCV* e *scikit-image*. O código usado no experimento encontra-se no Apêndice A.



Figura 1 As três imagens binárias utilizadas no experimento. Em sequência: *touchcell*, *number*, *hofig2d12*. A imagem *number* foi invertida no processo de normalização.

3 Análise dos efeitos por operação

Esta seção apresenta as observações feitas, juntamente com evidências de suporte, acerca de cada operação. Ao fim, um resumo em forma de tabela é apresentado.

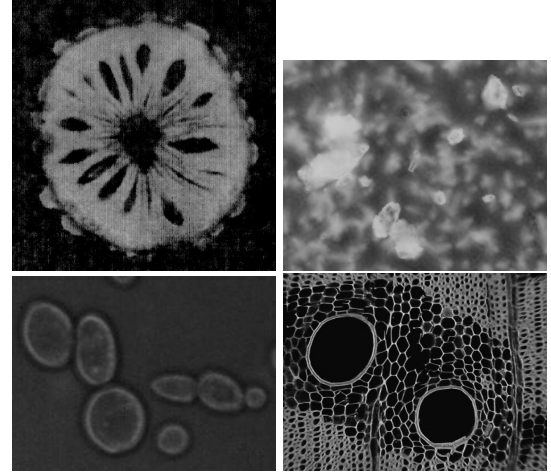


Figura 2 As quatro imagens em níveis de cinza usadas no experimento. Em sequência: *pinha*, *partículas*, *yeastcells* e *cer*. Todas as imagens, exceto *pinha*, foram invertidas no processo de normalização.

3.1 Erosão

Nas imagens binárias, a operação de erosão produziu uma redução das áreas do objeto e aumento da região de fundo (Figura 3). Nota-se também que a intensidade desse efeito apresentou uma relação de proporcionalidade ao tamanho do elemento estruturante. Por exemplo, os pequenos pontos brancos ao redor do retângulo na imagem *hofig2d12* da Figura 3 são progressivamente eliminados com ampliação do elemento estruturante.

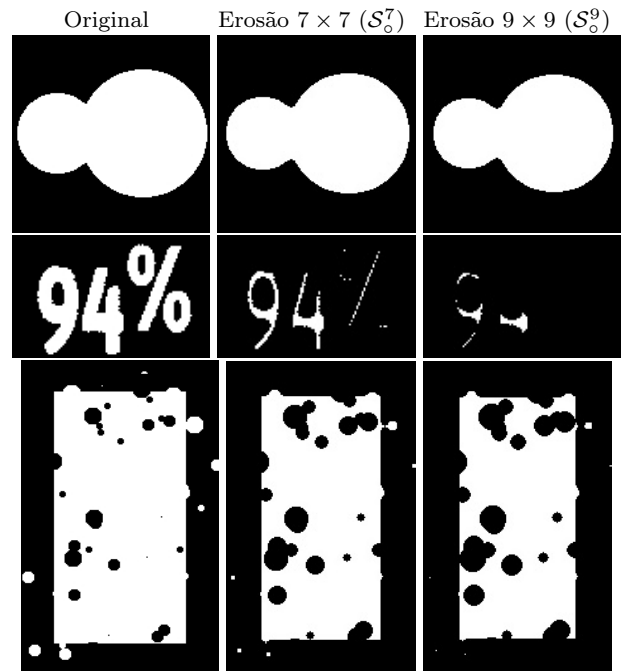


Figura 3 Exemplos de erosão em imagens binárias com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

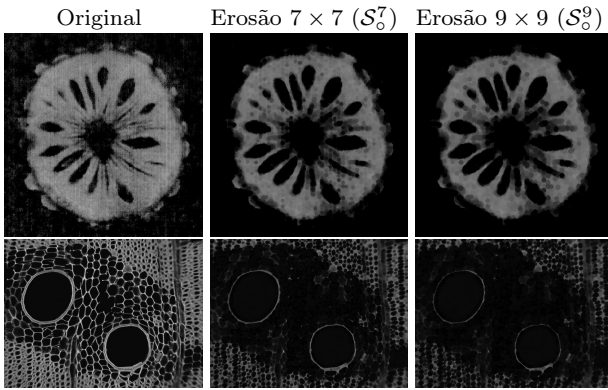


Figura 4 Erosão em imagens de níveis de cinza com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

Nas imagens em escala de cinza, observa-se, analogamente às imagens binárias, o efeito de redução do objeto e crescimento do fundo, com regulação da intensidade através do tamanho do elemento estruturante, como exemplificado na Figura 4. Detalhes dos objetos que são menores do que o elemento estruturante são eliminados pela erosão.

Tanto em imagens binárias, quanto em níveis de cinza, foi observado que as regiões de fundo, que crescem com a erosão, expandem-se assumindo a forma do elemento estruturante, seja ele quadrado, linha ou círculo. Esse efeito é visto com clareza nos detalhes das imagens *hofig2d12* e *pinha* na Figura 5. Na imagem *yeastcells*, o efeito é mais tênue, no entanto, manifesta-se no contorno das células, que apresentam alongamento em orientações correspondentes aos elementos estruturantes. Por exemplo, S_9^9 produz alongamento vertical.

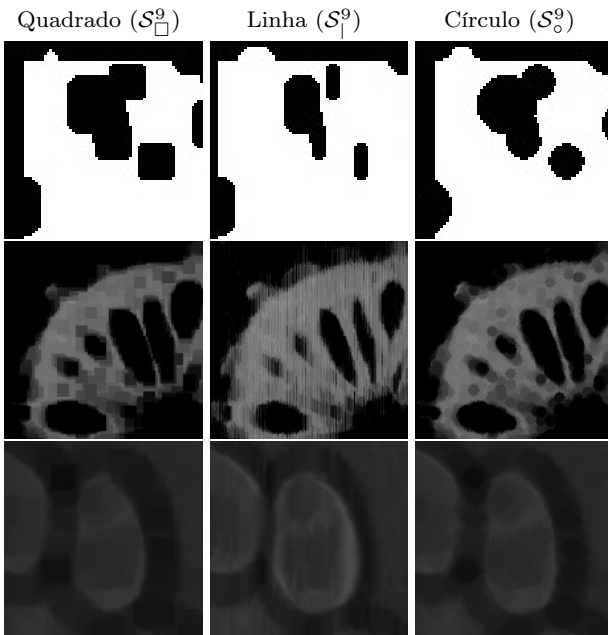


Figura 5 Detalhes magnificados da erosão com elementos estruturantes de tamanho 9×9 e formas variadas.

3.2 Dilatação

A dilatação produziu o crescimento do objeto e redução do plano de fundo (Figura 6). Seu efeito é oposto ao da erosão. Apesar disso, também verifica-se que a intensidade do efeito de dilatação é proporcional ao tamanho do elemento estruturante. Por exemplo, os pequenos pontos brancos ao redor do retângulo na imagem *hofig2d12* da Figura 6 crescem com o aumento de tamanho do elemento estruturante. Da mesma forma, os buracos e concavidades em *hofig2d12* e no número da imagem *number* desaparecem devido ao grau da dilatação conforme o elemento estruturante cresce.

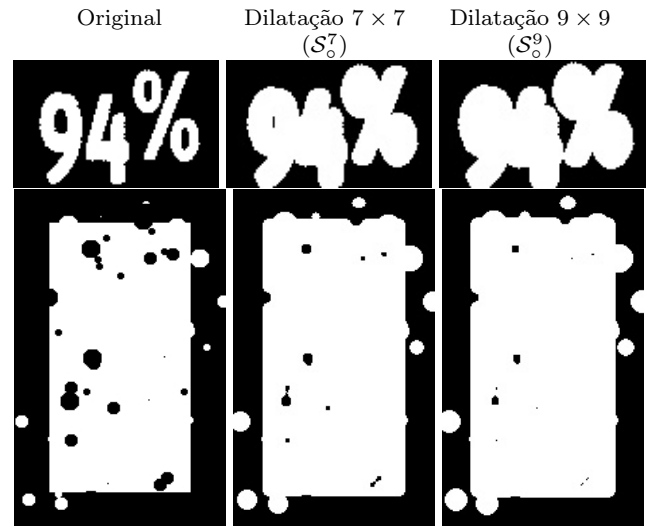


Figura 6 Exemplos de dilatação em imagens binárias com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

A dilatação nas imagens em escala de cinza também aumenta o tamanho dos objetos e reduz regiões de fundo. Na *pinha* da Figura 7, por exemplo, a polpa (região mais clara) cresce com a dilatação, enquanto os caroços (regiões internas mais escuras) são encolhidos.

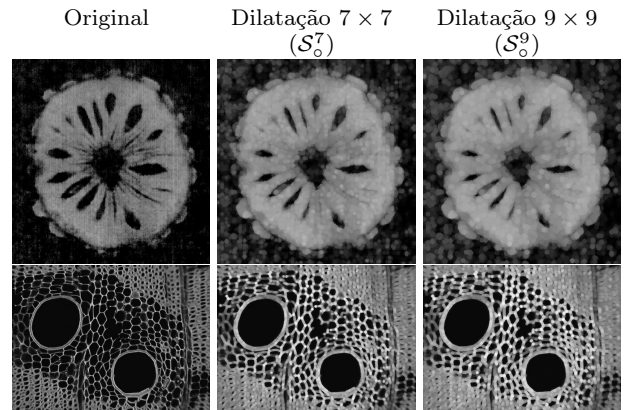


Figura 7 Dilatação em imagens de níveis de cinza com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

Ainda na Figura 7, os detalhes da malha têm sua largura visivelmente amplificada pela dilatação.

Verificou-se que as regiões pertencentes ao objeto dilatam-se assumindo a forma do elemento estruturante. A primeira linha da Figura 8 evidencia esse comportamento, que também pode ser notado nas demais imagens através de uma observação atenciosa às formas assumidas pelos *pixels* das regiões mais claras.

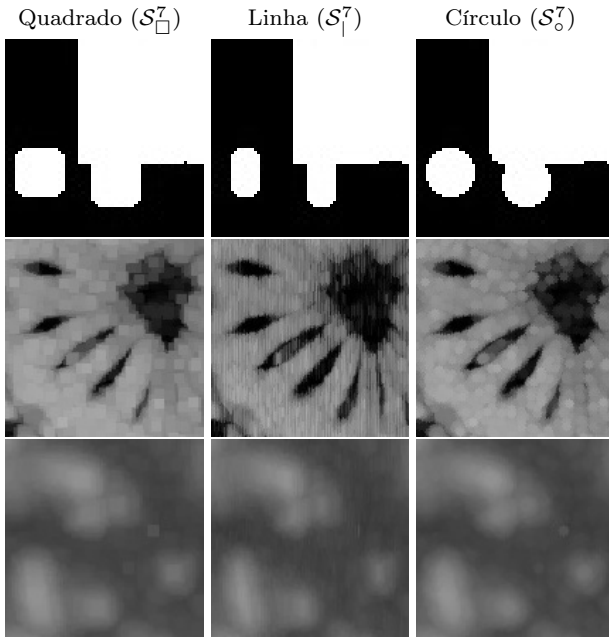


Figura 8 Detalhes magnificados da dilatação com elementos estruturantes de tamanho 7×7 e formas variadas.

3.3 Abertura

O principal efeito observado após a operação de abertura foi a remoção de *pixels* ruidosos do plano de fundo e conexões finas entre objetos sem uma redução significativa do tamanho do objeto de interesse. Pode-se observar esse efeito na imagem *hofig2d12* da Figura 9, em que desaparecem diversos pontos brancos ao redor do retângulo principal conforme cresce o elemento estruturante. Nota-se também que o tamanho do elemento deve ser escolhido conforme o objeto na imagem. Uma escolha incorreta, como um elemento estruturante maior do que as regiões do objeto de interesse, pode acarretar na perda total da informação do objeto, como na imagem *number* na Figura 9.

Nas imagens em níveis de cinza da Figura 10 também é possível perceber a redução do ruído no plano de fundo. Apesar disso, na imagem da *pinha*, vê-se que os elementos estruturantes testados possuem um tamanho adequado, no entanto, na imagem *yeastcells* ocorre uma perda considerável dos *pixels* do objeto que formam parte da camada externa das células.

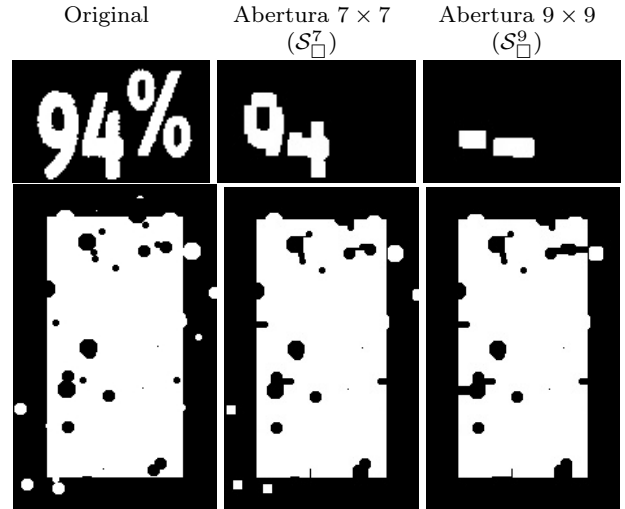


Figura 9 Exemplos de abertura em imagens binárias com elementos estruturantes quadrados de tamanhos 7×7 e 9×9 .

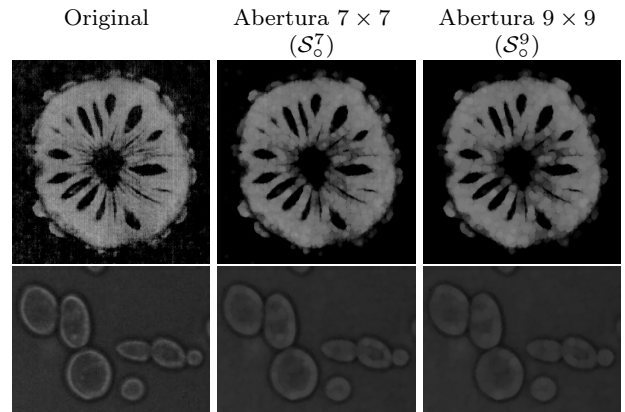


Figura 10 Dilatação em imagens de níveis de cinza com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

As diferenças da abertura em relação à forma do elemento estruturante são ilustradas na Figura 11. Vê-se na imagem *hofig2d12* que as regiões convexas do contorno do objeto são modeladas com a forma do elemento: quando $S_□$ é usado, as bordas convexas assumem formato quadrado; se $S_⊥$ é usado, as bordas convexas se alongam na vertical; quando $S_○$ é usado, as bordas convexas ficam arredondadas.

Um outro efeito observado tem relação com as regiões do objeto que são mais fortemente afetadas pela operação de abertura. Os detalhes verticais da malha da imagem *cer* da Figura 11 são mantidos quando se usa o elemento estruturante $S_⊥$. No entanto, para os outros casos, ambos os detalhes verticais e horizontais são filtrados pela operação. Isso indica que a operação de abertura possui a tendência de eliminar pequenas regiões do objeto que não se alinham com a forma do elemento estruturante.

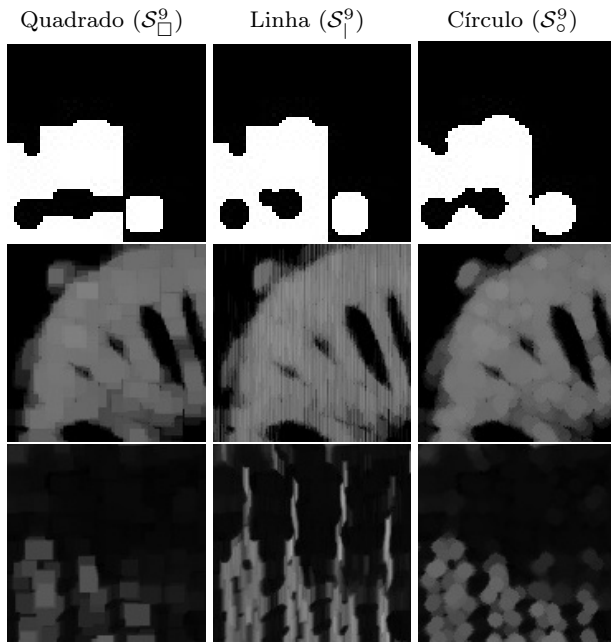


Figura 11 Detalhes magnificados da abertura com elementos estruturantes de tamanho 9×9 e formas variadas.

3.4 Fechamento

A principal consequência observada da operação de fechamento é a eliminação de buracos internos ao objeto, desde que suas dimensões sejam menores que o elemento estruturante. O efeito é visto na Figura 12, em que são subtraídos os buracos internos ao número 9 e ao símbolo %, a região de fundo no centro do número 4 e também algumas irregularidades internas ao retângulo. Apesar disso, nota-se que o tamanho do objeto permanece aproximadamente igual.

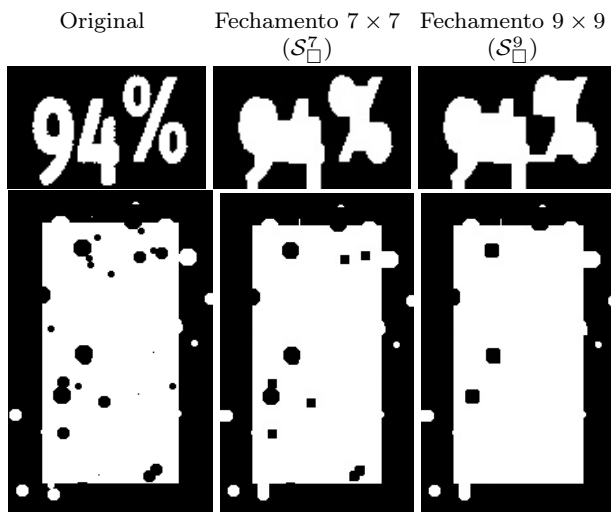


Figura 12 Fechamento em imagens binárias com elementos estruturantes quadrados de tamanhos 7×7 e 9×9 .

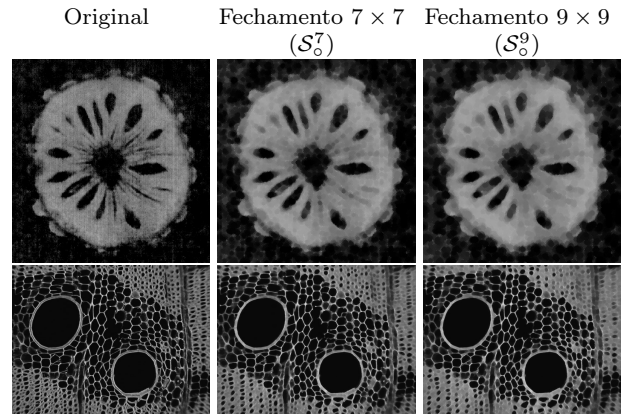


Figura 13 Fechamento em imagens de níveis de cinza com elementos estruturantes circulares de tamanhos 7×7 e 9×9 .

Na imagem da *pinha* na Figura 13, nota-se que o fechamento agravou a situação do ruído no plano de fundo, mas realizou uma suavização na região interna ao objeto. Essa suavização foi responsável por fechar as ramificações centrais da pinha. Já na imagem *cer* da Figura 13, os elementos da malha com região interna menores que o elemento estruturante também foram fechados. O tamanho dos objetos não sofreu alteração.

A Figura 14 permite observar que as regiões côncavas dos contornos dos objetos assumem a forma do elemento estruturante. Esse efeito se contrapõe àquele visto na operação de abertura, que agia sobre as partes convexas do contorno.

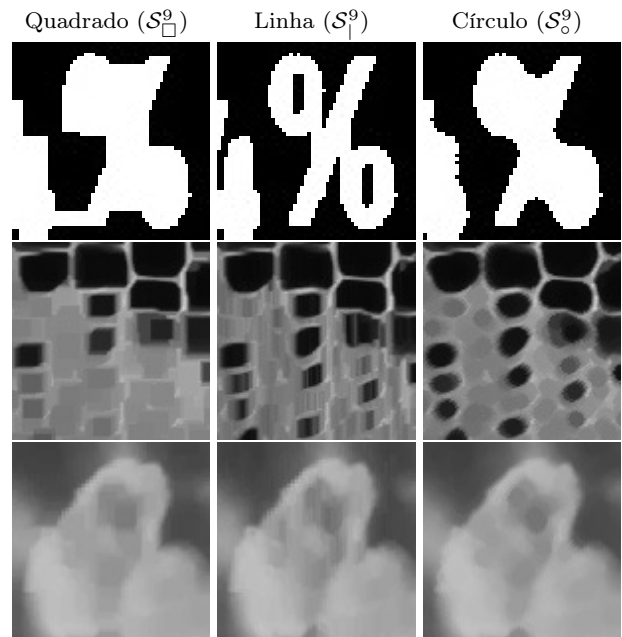


Figura 14 Detalhes magnificados do fechamento com elementos estruturantes de tamanho 9×9 e formas variadas.

	Reduz	Aumenta	Elimina	Modela de acordo com \mathcal{S}
Erosão	Objeto	Plano de fundo	Pequenas partículas e conexões entre objetos	Buracos no objeto
Dilatação	Plano de fundo	Objeto	Pequenos buracos no objeto	Partículas do objeto
Abertura	Ruído no plano de fundo	Ruído no objeto	Pequenas partículas e conexões entre objetos	Regiões convexas do contorno do objeto
Fechamento	Ruído no objeto	Ruído no plano de fundo	Pequenos buracos no objeto	Regiões côncavas do contorno do objeto

Tabela 1 Sumário das observações

A Tabela 1 exibe um sumário das observações realizadas, incluindo, para cada operação, quais regiões da imagem são reduzidas, aumentadas, eliminadas ou modeladas com a forma do elemento estruturante.

4 Conclusões

O presente trabalho fez uma análise acerca dos efeitos das quatro operações morfológicas fundamentais: erosão, dilatação, abertura e fechamento. Seus funcionamentos foram avaliados com variações de forma e tamanho do elemento estruturante: círculo, linha e quadrado de tamanhos 5×5 , 7×7 e 9×9 . Foram utilizadas três imagens binárias e quatro imagens em escala de cinza.

A erosão mostra-se útil para redução do tamanho do objeto e eliminação de pequenas partículas soltas. A dilatação é capaz de aumentar o tamanho do objeto e simultaneamente reduzir o número de buracos em seu interior. A abertura demonstra capacidade de reduzir o ruído no plano de fundo e eliminar pequenas partículas do objeto sem alterar seu tamanho. Já o fechamento mostra-se de grande utilidade para eliminar buracos internos ao objeto e reduzir seu ruído sem modificações significativas no tamanho.

O nível de detalhe do processamento morfológico tem forte influência do tamanho do elemento estruturante utilizado: em geral, as partículas e buracos que sofrem influência do processamento são aqueles menores que o elemento. Da mesma maneira, partículas e buracos com formas similares ao do elemento estruturante sofrem com maior intensidade o efeito das operações.

Referências

1. R. Gonzalez, R. Woods, *Processamento Digital de Imagens*, 3rd edn. (Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2010)
2. D. Forsyth, J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*, 2nd edn. (Pearson, New Jersey, 2011)

Apêndice A

```
import os
import cv2
import numpy
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn
import skimage.morphology

import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")

input_paths = ["/imgsb", "/imgscinza"]
output_path = "/output"

if not os.path.exists(output_path):
    os.mkdir(output_path)

def erosion(image, kernel):
    return cv2.erode(image, kernel, iterations=1)

def dilation(image, kernel):
    return cv2.dilate(image, kernel, iterations=1)

def opening(image, kernel):
    return cv2.morphologyEx(image, cv2.MORPH_OPEN, kernel)

def closing(image, kernel):
    return cv2.morphologyEx(image, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

def square(size):
    return skimage.morphology.square(size)

def line(size):
    return skimage.morphology.rectangle(size,1)

def disk(size):
    return skimage.morphology.disk(numpy.floor(size/2))

dataset = dict()

for input_path in input_paths:
    for image_name in os.listdir(input_path):
        id_ = image_name.split(".")[0]
        dataset[id_] = cv2.imread(os.path.join(input_path, image_name), cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

operations = [erosion, dilation, opening, closing]
structuring_elements = [square, line, disk]
sizes = [5, 7, 9]

for id_ in dataset:
    for op in operations:
        for st in structuring_elements:
            for sz in sizes:
                kernel = st(size=sz)
                output = op(dataset[id_], kernel)
                h, w = output.shape
                h, w = (int(0.99*h), int(0.99*w))
                output = skimage.transform.resize(output, (h, w), preserve_range=True)
                description = "_".join([id_, op.__name__, st.__name__, str(sz)])
                cv2.imwrite(os.path.join(output_path, description)+".jpg", output)
```