

ATIVIDADE 08
15.out.2019

ATENÇÃO

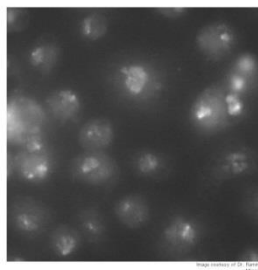
- Vale nota.
- Em dupla ou individual.
- Em dupla é em dupla: os dois fazem todas as atividades juntos.
- Leia todo o conteúdo. Os textos reforçam/complementam a teoria e os enunciados são bem claros!
- Apresentar quando todos estiverem funcionando ou até 22h30.

Arquivos necessários

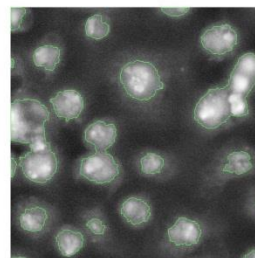
1. whitecells4.png
2. psl1_gray.png
3. psl2_gray.png
4. psl3_gray.png
5. exMorph4.bmp
6. visualize.m
7. gradient_with_text.tif

8a) Segmentação por limiarização global

Segmentar uma imagem pode ser definido como a tarefa de separar os objetos de interesse do fundo da imagem. Nos exemplos a seguir são apresentados os resultados de algoritmos desenvolvidos especificamente para a segmentação das imagens de microscopia [SE] e de pílulas farmacêuticas [[MMea], Figura 8] mostradas.



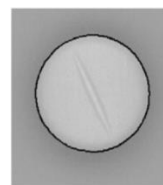
Células vistas em um microscópio.



Resultado da segmentação (cortorno verde).



Pílula farmacêutica.



Resultado da segmentação (contorno preto).

Após a segmentação, o objeto ou conjunto de objetos podem ser submetidos a algoritmos para a extração e análise dos parâmetros de interesse para a aplicação em questão. Na imagem das células, por exemplo, a quantidade pode ser o parâmetro de interesse. No controle de qualidade de uma pílula farmacêutica, o formato do contorno pode ser usado para a identificação de imperfeições nas laterais.

O método mais direto de segmentação é a limiarização (thresholding), também chamada de binarização da imagem. Todos os pixels com nível de cinza maior que um valor especificado são transformados em 1, todos os outros são transformados em 0. Isto dá origem a uma imagem chamada de binária (binary), lógica (logical) ou preto e branco (bw). Na imagem segmentada, espera-se que uma das duas categorias de pixels (0 ou 1) corresponda aos objetos da imagem original e a outra categoria corresponda ao fundo da imagem original.

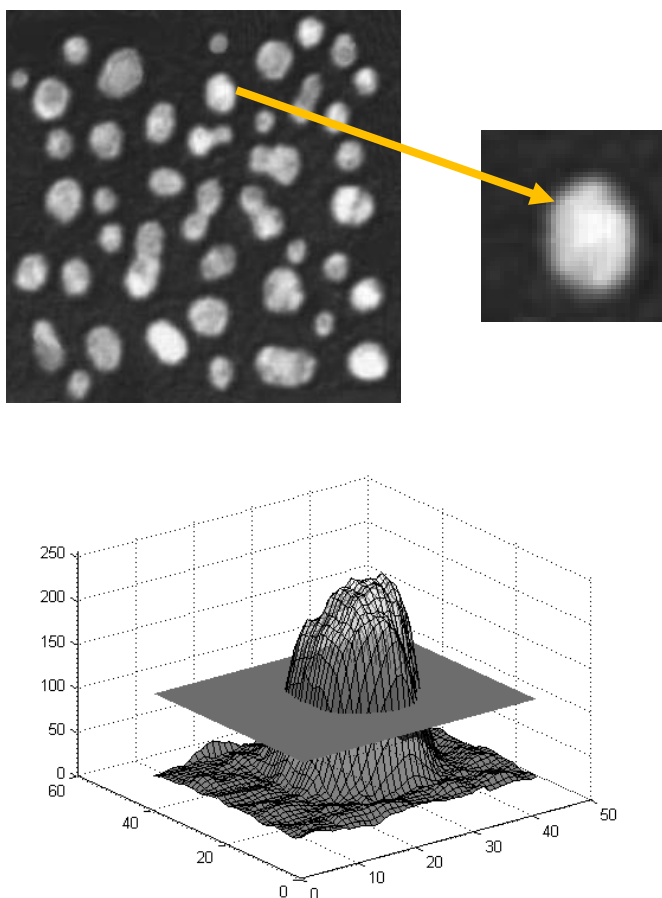
A seguir é mostrado um exemplo de uma imagem de microscopia [[JR], Capítulo 5, Figura 2, p. 71] na qual as células podem ser separadas do fundo através da segmentação por limiarização. No gráfico que mostra uma região da imagem como uma superfície, o valor de limiar 128 é mostrado como um plano.

```
clear all, close all

g = imread('whitecells4.png');

%Coord do canto sup esq da região
imin = 30
jmin = 110
%Coord do canto inf dir da região
imax = 70
jmax = 150
reg = g(30:70,110:150);
%Plano em 128,
%de mesmas dimensões da região
z = ones(41,41).*128;

%Display
figure, imshow(g)
figure, imshow(reg)
figure
surf(double(reg), 'FaceAlpha', 0.5)
zlim([0 255])
colormap('gray')
hold on
surf(z, 'EdgeColor', 'none')
hold off
```



No MATLAB, os operadores relacionais podem ser usados para a limiarização de uma imagem. Também existe a função `im2bw`. Este tipo de limiarização, na qual um mesmo limiar (threshold) é aplicado em todos os pixels da imagem, é denominada *limiarização global*.

Função `im2bw`

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/im2bw.html>]

`BW = im2bw(I, level)` converts the grayscale image `I` to a binary image. The output image `BW` replaces all pixels in the input image with luminance greater than `level` with the value 1 (white) and replaces all other pixels with the value 0 (black). Specify `level` in the range [0,1]. This range is relative to the signal levels possible for the image's class. Therefore, a `level` value of 0.5 is midway between black and white, regardless of class. To compute the `level` argument, you can use the function [graythresh](#). If you do not specify `level`, `im2bw` uses the value 0.5.

```

clear all, close all
g = imread('whitecells4.png');

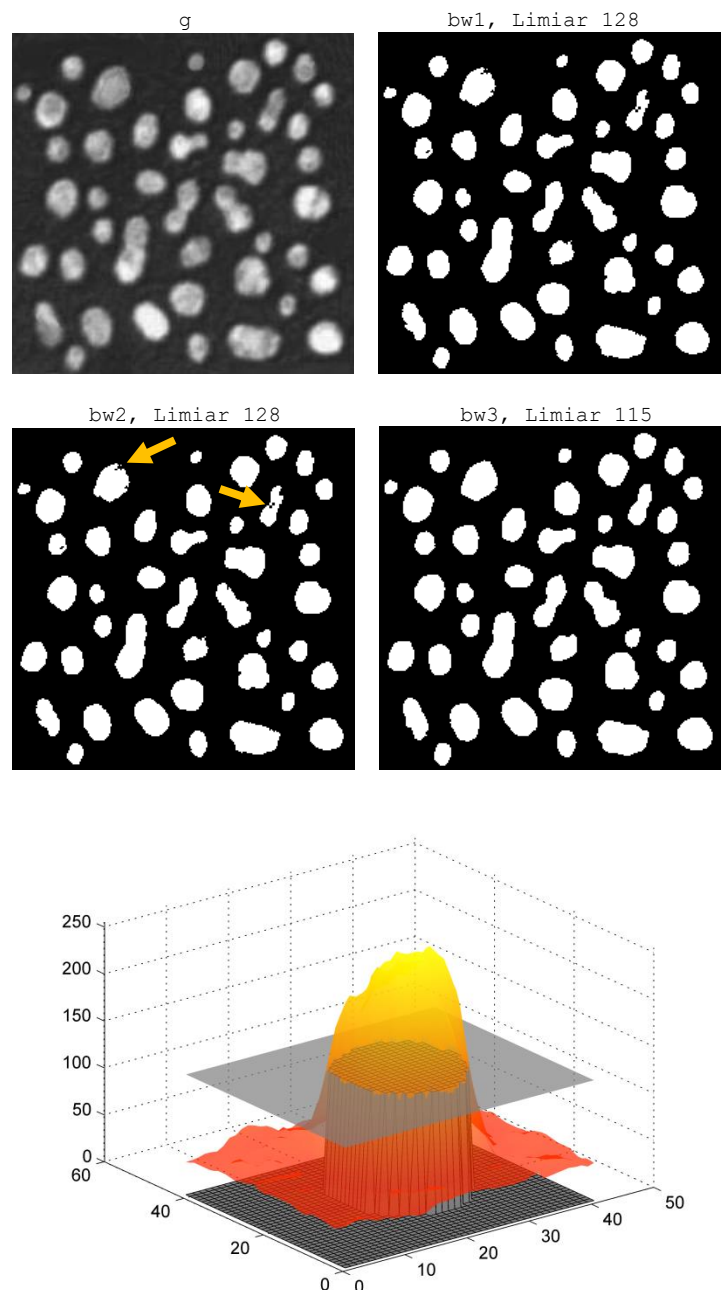
% Usando operador relacional
% IMPORTANTE: bw1 é
% da classe logical
bw1 = g > 128;

% Usando a função im2bw
% O limiar deve ser um
% número entre 0 e 1
% IMPORTANTE: bw2, bw3 são
% da classe logical
%Limiar 128 (0.5)
bw2 = im2bw(g, 128/255);
%Limiar 115 (0.45)
bw3 = im2bw(g, 115/255);

% Display
figure, imshow(g)
title('g')
figure, imshow(bw1)
title('bw1, Limiar 128')
figure, imshow(bw2)
title('bw2, Limiar 128')
figure, imshow(bw3)
title('bw3, Limiar 115')

% A região do exemplo anterior
reg = g(30:70,110:150);
regbw = bw2(30:70,110:150);
% O plano de limiarização em 128
z = ones(41,41).*128;
% Display
% Mostra a imagem como uma
% superfície usando pseudocores
% para facilitar a visualização
figure
surf(double(reg), 'FaceAlpha', 0.7)
shading('interp')
zlim([0 255])
colormap('autumn')
hold on
% +regbw transforma de logical
% para double.
% Mostra os pixels '1' da imagem
% limiarizada com o valor 128,
% isto é, no mesmo nível do plano
% de corte que limiarizou a imagem.
surf((+regbw)*128,...
'FaceColor', [0.5 0.5 0.5])
% Mostra o plano de corte que
% limiarizou a imagem
surf(z, 'EdgeColor', 'none',...
'FaceColor', [0.5 0.5 0.5],...
'FaceAlpha', 0.7)
hold off

```



Observe que estamos encontrando o valor de limiar mais adequado de forma manual. Como o valor 128 (0.5) resultou na não detecção de alguns pixels das células, como apontado pelas setas, diminuimos o valor do limiar para 115 (0.45).

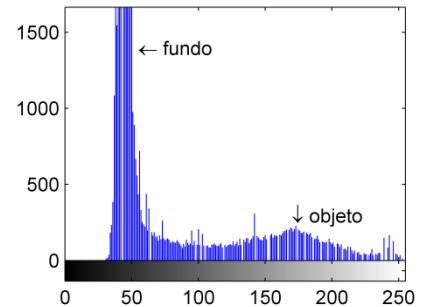
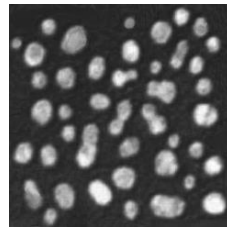
8b) Limiarização automática

Existem diferentes métodos para encontrar automaticamente um valor de limiar [[JP], Capítulo 3 é uma boa referência e em [GLEa] há uma boa lista e implementação em Java]. O mais popular é o de *Otsu*, nome do prof. que desenvolveu o método [NO]. Como este método baseia-se no histograma da imagem, vamos primeiro obter o histograma da nossa imagem exemplo e fazer algumas observações.

```
clear all, close all
```

```
g = imread('whitecells4.png');
```

```
figure
subplot(2,1,1)
imshow(g)
subplot(2,1,2)
imhist(g)
text(55,1400,'\leftarrow fundo',...
     'HorizontalAlignment','left')
text(170,300,'\downarrow objeto',...
     'HorizontalAlignment','left')
```



Note que o histograma possui dois grupos (concentrações de pixels) que se destacam. Este tipo de histograma é chamado de *bimodal*. Isso é o esperado, já que a imagem possui dois grupos de pixels bem distintos: escuros para o fundo e claros para as células. Então, o grupo da esquerda no histograma, dos pixels mais escuros da imagem, corresponde ao fundo. O da direita, dos pixels mais claros da imagem, corresponde às células. O método de Otsu procura o nível de cinza que melhor separa, segundo o critério estatístico da variância, estes dois grupos. O procedimento é o seguinte [[SS], Capítulo 3, Tópico 3.8.2]:

1. Para um determinado limiar t :

- A variância do grupo de pixels de valor menor ou igual a t é $\sigma_1^2(t)$
- A variância do grupo de pixels de valor maior que t é $\sigma_2^2(t)$
- A probabilidade do grupo de pixels de valor menor ou igual a t é $q_1(t)$
- A probabilidade do grupo de pixels de valor maior que t é $q_2(t)$

2. O valor ótimo de limiar é aquele que minimiza a variância interna dos grupos de pixels (within-class variance ou intraclass variance) σ_w^2 , sendo:

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t)$$

Os valores de $q_1(t)$, $q_2(t)$, $\sigma_1^2(t)$ e $\sigma_2^2(t)$, podem ser obtidos a partir do próprio histograma normalizado $P(i)$ da imagem. I é o nível de cinza máximo (255 para imagens de 8 bits):

$$\begin{aligned} q_1(t) &= \sum_{i=1}^t P(i) & \mu_1(t) &= \sum_{i=1}^t i \frac{P(i)}{q_1(t)} \\ q_2(t) &= \sum_{i=t+1}^I P(i) & \mu_2(t) &= \sum_{i=t+1}^I i \frac{P(i)}{q_2(t)} \\ \sigma_1^2(t) &= \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 P(i) / q_1(t) \\ \sigma_2^2(t) &= \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 P(i) / q_2(t) \end{aligned}$$

Este procedimento pode ser implementado computacionalmente fazendo-se a busca exaustiva do menor σ_w^2 para todos os t possíveis, de 0 até 255. Porém, existe uma forma mais eficiente de implementação, que utiliza um conjunto de equações disponíveis em [[SS], Capítulo 3, Tópico 3.8.2].

A função do MATLAB que implementa a limiarização pelo método de Otsu é a *graythresh* [<http://www.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html>]

`level = graythresh(I)` computes a global threshold (`level`) that can be used to convert an intensity image to a binary image with `im2bw`. `level` is a normalized intensity value that lies in the range $[0, 1]$.

The *graythresh* function uses Otsu's method, which chooses the threshold to minimize the intraclass variance of the black and white pixels.

```

clear all, close all

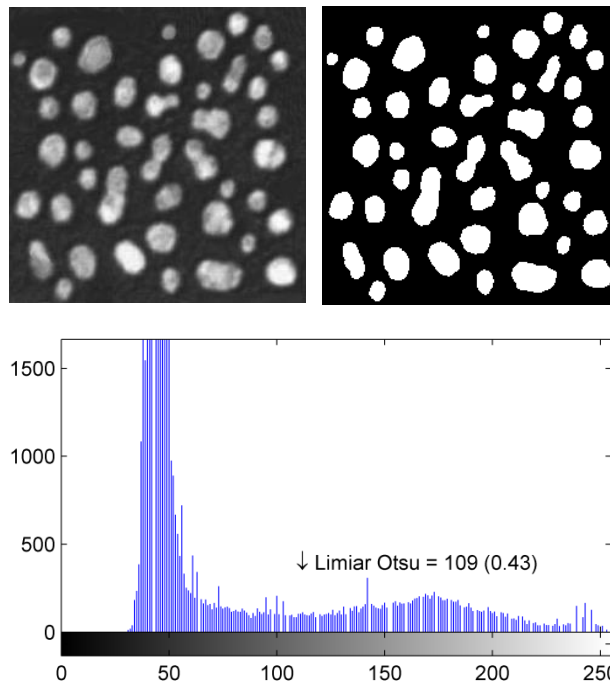
g = imread('whitecells4.png');

th = graythresh(g);
bw = im2bw(g, th);

% Nível de cinza do th
% na faixa [0 255]
thp = th*255;

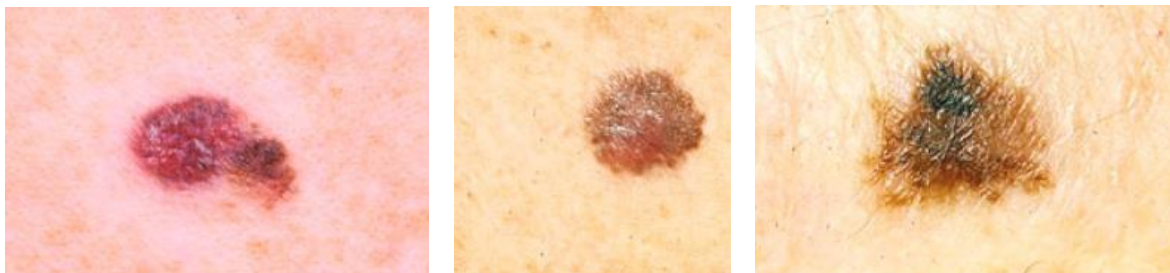
%Display
figure, imshow(g)
figure, imshow(bw)
figure, imhist(g)
text(thp, 400, ['\downarrowarrow' , ...
    ' Limiar Otsu = ', ...
    num2str(thp) , ...
    ' (' num2str(th, 2) ') '])

```



8.1) Limiarização global automática (método de Otsu, função graythresh)

Segmentar as lesões de pele pigmentadas (pigmented skin lesion) das imagens mostradas abaixo [[CS], Figura 6] utilizando limiarização global automática pelo método de Otsu (função `graythresh`). As imagens mostradas são coloridas. As versões destas imagens disponíveis para esta atividade, *psl1_gray.png*, *psl2_gray.png* e *psl3_gray.png*, já foram convertidas para níveis de cinza. Importante: conforme [CS] e diversos outros autores, a segmentação de qualidade de lesões de pele pigmentadas é difícil de ser obtida. A solução sugerida nesta atividade tem fins didáticos, não científicos.



8c) Operações morfológicas

Morfologia significa “estudo da forma, estrutura, aparência etc. da matéria” [<http://aulete.uol.com.br/morfologia>]. Então, as operações morfológicas tem o objetivo de analisar e manipular a forma (shape) dos objetos na imagem. Vamos abordar a morfologia matemática aplicada às imagens binárias, que é o uso mais comum, mas existem também definições das mesmas operações morfológicas vistas aqui, para aplicação em imagens em níveis de cinza [[BB] Tópico 10.4 explica com clareza, [OM] Tópico 13.7, [GW] Tópico 9.6] e coloridas [CD],[LVA]. Em [MS] há curiosidades sobre a história da morfologia matemática.

As operações básicas, ou primitivas, das quais muitas outras são derivadas são a *dilatação* e a *erosão*. As operações de *fechamento* e *abertura* também são bastante utilizadas. Existem muitas outras operações baseadas em morfologia, como a hit-or-miss (para detectar um formato pré-definido), boundary extraction, hole filling, convex hull, thinning, thickening, skeletons, pruning e reconstrução morfológica [[GW], Tópico 9.5].

A base matemática da morfologia é a teoria de conjuntos. Um conjunto de pixels binários denominado *elemento estruturante* (structuring element) varre a imagem (outro conjunto de pixels binários) e as operações morfológicas são realizadas entre o elemento estruturante e os pixels da imagem contidos no elemento estruturante. Este processo de 'varrer a imagem com o elemento estruturante' é similar àquele que realizamos em um box filter, por exemplo. Mas ao invés de aplicar uma convolução, aplicamos a operação morfológica na máscara (elemento estruturante). O elemento estruturante pode ter um formato arbitrário e depende da aplicação.

A descrição matemática formal das operações morfológicas, na maioria das vezes utilizando notação de conjuntos, pode ser encontrada nas referências [[BB] Tópicos 10.1, 10.2 e 10.3 são uma boa sugestão]. A seguir, vamos descrevê-las textualmente.

Algumas definições:

1) O *ponto de referência* do elemento estruturante é o equivalente em morfologia ao ponto central das janelas de convolução quadradas. Este ponto de referência também é chamado de *ponto central* do elemento estruturante. Mas como este ponto central muitas vezes não é central, geometricamente falando, vamos usar o termo *hot spot*, como em [[BB], Tópico 10.2.1]. Chamaremos o elemento estruturante de S. No MATLAB o hot spot é denominado *origin* e às vezes *center*.

2) Estamos aplicando morfologia em imagens binárias (bw). Vamos convencionar que os pixels dos objetos possuem sempre valor '1' (pixels brancos). Logo, os pixels do fundo possuem sempre valor '0' (pixels pretos). Vamos chamar a imagem de entrada de B. A mesma idéia pode ser usada para os pontos do elemento estruturante: um ponto ativo do elemento estruturante tem valor '1'. Logo, um ponto não ativo (irrelevante) do elemento estruturante tem valor '0'.

3) A *vizinhança-4* (4-neighborhood) de um pixel é definida pelos dois pixels adjacentes à ele na horizontal e pelos dois pixels adjacentes à ele na vertical.

4) A *vizinhança-8* (8-neighborhood) de um pixel é definida pela vizinhança-4, mais os 4 pixels diagonais à ele.

5) Notação:

$B \oplus S$ - Dilatação da imagem B pelo elemento estruturante.

$B \ominus S$ - Erosão da imagem B pelo elemento estruturante S.

$B \bullet S$ - Fechamento da imagem B pelo elemento estruturante S.

$B \circ S$ - Abertura da imagem B pelo elemento estruturante S.

6) Assim como nas operações baseadas em vizinhança que vimos anteriormente, a saída das operações morfológicas deve ser escrita em uma nova imagem, inicialmente preenchida com zeros.

Função MATLAB para criar um elemento estruturante.

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/strel.html>]

“

SE = strel(shape, parameters) creates a structuring element, SE, of the type specified by shape. This table lists all the supported shapes. Depending on shape, strel can take additional parameters. See the syntax descriptions that follow for details about creating each type of structuring element.

Flat Structuring Elements

['arbitrary'](#)

['pair'](#)

['diamond'](#)

['periodicline'](#)

['disk'](#)

['rectangle'](#)

['line'](#)

['square'](#)

['octagon'](#)

Funções MATLAB para implementar as quatro operações morfológicas citadas.

“

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/imdilate.html>]

```
IM2 = imdilate(IM,SE)
```

```
IM2 = imdilate(IM,NHOOD)
```

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/imerode.html>]

```
IM2 = imerode(IM,SE)
```

```
IM2 = imerode(IM,NHOOD)
```

A seguir só consta o texto de imdilate pois imerode tem a mesma sintaxe.

`IM2 = imdilate(IM,SE)` dilates the grayscale, binary, or packed binary image `IM`, returning the dilated image, `IM2`. The argument `SE` is a structuring element object, or array of structuring element objects, returned by the `strel` function. If `IM` is logical and the structuring element is flat, `imdilate` performs binary dilation; otherwise, it performs grayscale dilation. If `SE` is an array of structuring element objects, `imdilate` performs multiple dilations of the input image, using each structuring element in `SE` in succession.

Observação: Um elemento estruturante flat possui apenas 0s e 1s. Um elemento estruturante nonflat possui pesos ao invés de 1s. Na morfologia binária, são usados somente os elementos estruturantes flat.

`IM2 = imdilate(IM,NHOOD)` dilates the image `IM`, where `NHOOD` is a matrix of 0's and 1's that specifies the structuring element neighborhood. This is equivalent to the syntax `imdilate(IM,strel(NHOOD))`. The `imdilate` function determines the center element of the neighborhood by `floor((size(NHOOD)+1)/2)`.

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/imclose.html>]

```
IM2 = imclose(IM,SE)
```

```
IM2 = imclose(IM,NHOOD)
```

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/imopen.html>]

```
IM2 = imopen(IM,SE)
```

```
IM2 = imopen(IM,NHOOD)
```

A seguir só consta o texto de imclose pois imopen tem a mesma sintaxe.

`IM2 = imclose(IM,SE)` performs morphological closing on the grayscale or binary image `IM`, returning the closed image, `IM2`. The structuring element, `SE`, must be a single structuring element object, as opposed to an array of objects. The morphological close operation is a dilation followed by an erosion, using the same structuring element for both operations.

`IM2 = imclose(IM,NHOOD)` performs closing with the structuring element `strel(NHOOD)`, where `NHOOD` is an array of 0's and 1's that specifies the structuring element neighborhood.

Class Support

`IM` can be any numeric or logical class and any dimension, and must be nonsparse. If `IM` is logical, then `SE` must be flat. `IM2` has the same class as `IM`.

IMPORTANTE: também existe a função `bwmorph`, que permite a utilização apenas de elementos estruturantes pré-definidos.

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/bwmorph.html>]

Dilatação ($B \oplus S$). Cada vez que o hot spot de S encontra um pixel '1' de B, S é replicado na imagem de saída.

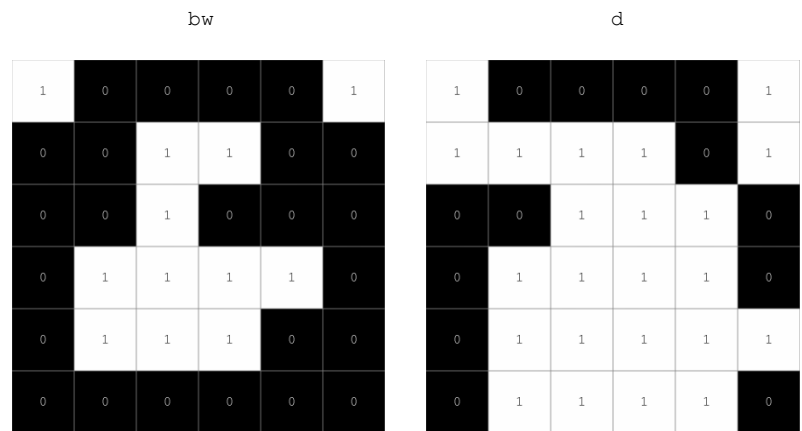
```
clear all, close all

bw = [ 1 0 0 0 0 1
       0 0 1 1 0 0
       0 0 1 0 0 0
       0 1 1 1 1 0
       0 1 1 1 0 0
       0 0 0 0 0 0 ];

bw = logical(bw);

% O hot spot é dado por
% floor((size(NHOOD)+1)/2)
% Logo, o hotspot do el est
% abaixo é em (1,1)
NHOOD = [ 1 0
          1 1 ];
SE = strel('arbitrary', NHOOD);
d = imdilate(bw, SE);

imtool(bw)
imtool(d)
```



Erosão ($B \ominus S$). O pixel '1' de B correspondente ao hot spot de S só é mantido na imagem de saída se *todos* os pixels '1' de S possuem pixel '1' correspondente em B.

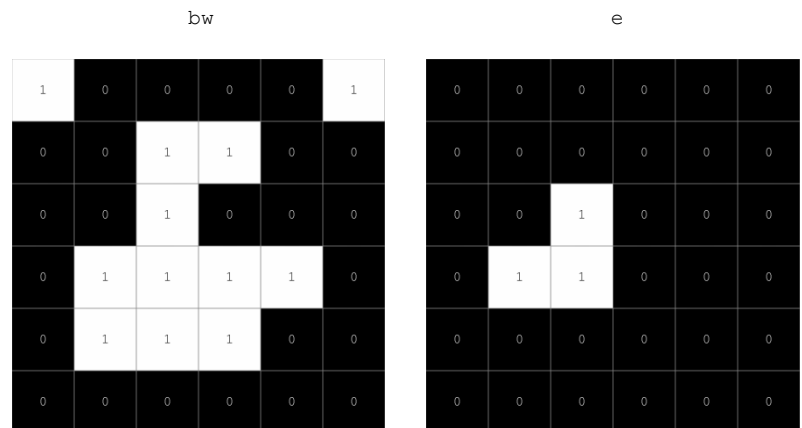
```
clear all, close all

bw = [ 1 0 0 0 0 1
       0 0 1 1 0 0
       0 0 1 0 0 0
       0 1 1 1 1 0
       0 1 1 1 0 0
       0 0 0 0 0 0 ];

bw = logical(bw);

% O hot spot é dado por
% floor((size(NHOOD)+1)/2)
% Logo, o hotspot do el est
% abaixo é em (1,1)
NHOOD = [ 1 0
          1 1 ];
SE = strel('arbitrary', NHOOD);
e = imerode(bw, SE);

imtool(bw)
imtool(e)
```

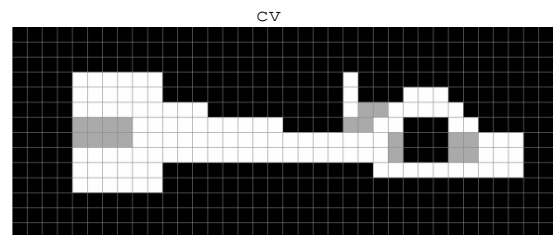
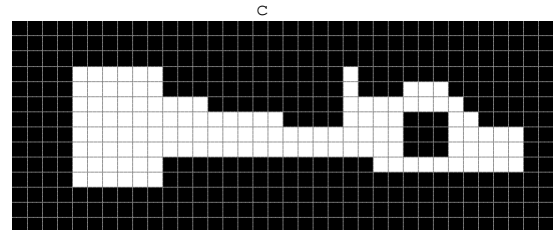
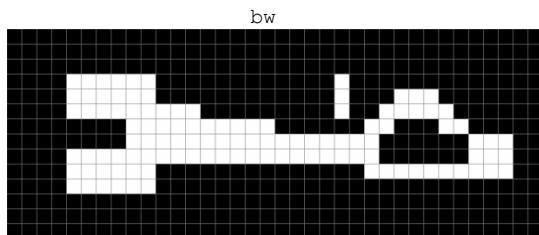


Fechamento ($B \bullet S$). $B \bullet S = (B \oplus S) \ominus S$. É a dilatação seguida da erosão, isto é, aplicar a dilatação na imagem B usando S e depois aplicar a erosão na imagem dilatada usando S.

A operação de fechamento atua nos objetos da imagem principalmente das seguintes formas: suaviza contornos, funde quebras estreitas, elimina pequenos buracos, preenche espaços de contornos.

```
clear all, close all
```

```
bw = imread('exMorph4.bmp');
se = strel('square', 3);
c = imclose(bw, se);
cv = visualize(bw, c);
imtool(bw);
imtool(c);
imtool(cv);
```



```
function v = visualize(bwo, bwp)
% v: saída uint8
% bwo: bw original
% bwp: bw processada
% 0 em bwo -> 0 em bwp: 0 em v,
% 1 em bwo -> 1 em bwp: 1 em v,
% 0 em bwo -> 1 em bwp: 170 em v, (cinza claro)
% 1 em bwo -> 0 em bwp: 85 em v, (cinza escuro)

v = uint8(bwo & bwp)*255; % 1 em bwo -> 1 em bwp: 1 em v
idx = (bwo==0 & bwp==1); % 0 em bwo -> 1 em bwp: 170 em v
v(idx) = 170;
idx = (bwo==1 & bwp==0); % 1 em bwo -> 0 em bwp: 85 em v
v(idx) = 85;
```

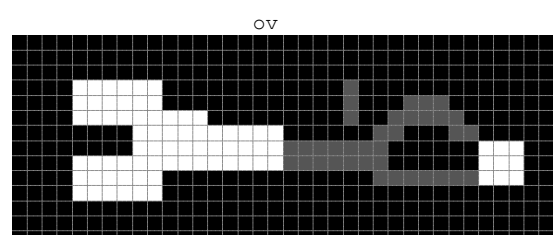
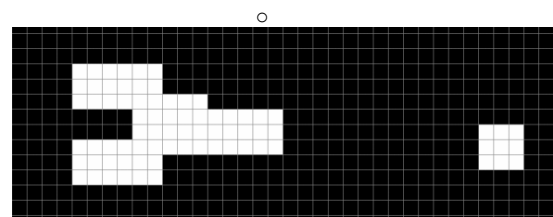
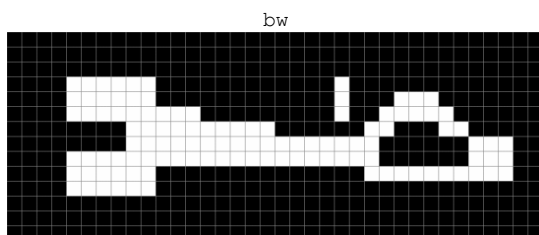
Função visualize
no arquivo
visualize.m

Abertura ($B \circ S$). $B \circ S = (B \ominus S) \oplus S$. É a erosão seguida da dilatação, isto é, aplicar a erosão na imagem B usando S e depois aplicar a dilatação na imagem erodida usando S.

A operação de abertura atua nos objetos da imagem principalmente das seguintes formas: suaviza contornos, quebra ligações estreitas, elimina protrusões finas.

```
clear all, close all
```

```
bw = imread('exMorph4.bmp');
se = strel('square', 3);
o = imopen(bw, se);
ov = visualize(bw, o);
imtool(bw);
imtool(o);
imtool(ov);
```



To-do: Exemplos com imagens 'zoom out'

8.2) Morfologia matemática (dilatação, erosão, fechamento, abertura, funções strel, imdilate, imerode, imopen, imclose)

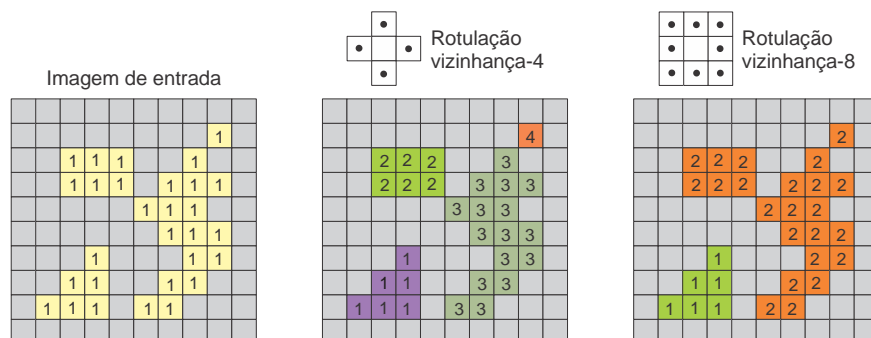
Utilizar operações morfológicas para melhorar os resultados da segmentação automática por Otsu das lesões de pele das imagens *psl1_gray.png*, *psl2_gray.png* e *psl3_gray.png*.

8d) Rotulação (labeling)

Considerando nossos exemplos anteriores, podemos fazer as perguntas: quantas lesões de pele existem na imagem e qual o seu tamanho? Sabemos que existe apenas uma porque a imagem original adquiriu apenas uma lesão e o nosso processo de segmentação garantiu que na imagem segmentada há um único grupo de pixels conectados, correspondentes ao único objeto. Então, para obter a área da lesão em pixels, basta contar o número de pixels de objeto na imagem segmentada. Mas se fizermos as mesmas perguntas para a imagem de microscopia contendo as células, a resposta não é direta, é necessário primeiro realizar a rotulação dos objetos da imagem segmentada.



O objetivo da rotulação (*labeling*) é discriminar (nomear) cada objeto da imagem binária. Lembrando que, na nossa convenção, objetos possuem pixel '1' e fundo pixel '0'. Um objeto é um conjunto de pixels conectados pela vizinhança-4 ou vizinhança-8. A saída da rotulação é uma imagem na qual cada objeto é identificado por um valor de pixel único, como nos exemplos a seguir.



Na prática, a rotulação geralmente ocorre após uma segmentação e faz parte do processo de análise da imagem. As características a serem analisadas de cada objeto dependem da aplicação. Dentre as mais diretas estão a contagem dos objetos na imagem e a medida da área em pixels, mas há uma grande quantidade de métodos disponíveis na literatura para a extração de outros atributos dos objetos binários. Por exemplo: centróide, perímetro, excentricidade e muitos outros [[SS] Tópico 3.6, [OM] Tópicos 18.3 e 18.4, [GW], Capítulo 11].

No MATLAB, uma das funções que realiza a rotulação é a `bwlabel`

[<http://www.mathworks.com/help/images/ref/bwlabel.html>]

`L = bwlabel(BW, n)` returns a matrix `L`, of the same size as `BW`, containing labels for the connected objects in `BW`. The variable `n` can have a value of either 4 or 8, where 4 specifies 4-connected objects and 8 specifies 8-connected objects. If the argument is omitted, it defaults to 8.

The elements of `L` are integer values greater than or equal to 0. The pixels labeled 0 are the background. The pixels labeled 1 make up one object; the pixels labeled 2 make up a second object; and so on.

`[L, num] = bwlabel(BW, n)` returns in `num` the number of connected objects found in `BW`.

Using find with bwlabel

You can use the MATLAB `find` function in conjunction with `bwlabel` to return vectors of indices for the pixels that make up a specific object. For example, to return the coordinates for the pixels in object 2, enter the following:

```
[r, c] = find(bwlabel(BW)==2)
```

You can display the output matrix as a pseudocolor indexed image. Each object appears in a different color, so the objects are easier to distinguish than in the original image. For more information, see [label2rgb](#).

```
clear all, close all
clc

bw = [ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
      0 0 1 1 1 0 0 1 0 0
      0 0 1 1 1 0 1 1 1 0
      0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
      0 0 0 0 0 0 1 1 1 0
      0 0 0 1 0 0 0 1 1 0
      0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
      0 1 1 1 0 1 1 0 0 0
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ];

bw = logical(bw);

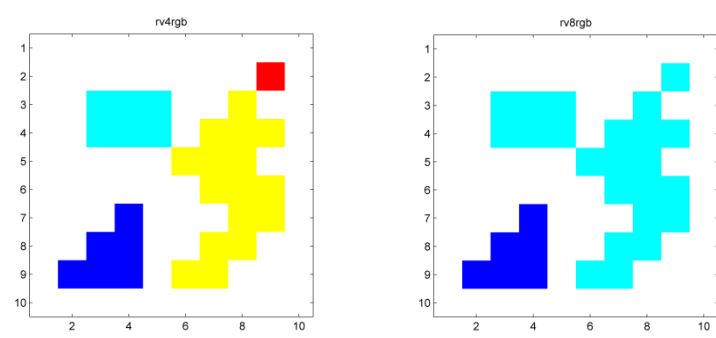
% A saída de bwlabel
% é da classe double
[rv4 nrv4] = bwlabel(bw, 4);
[rv8 nrv8] = bwlabel(bw, 8);

% Aplica pseudocores na
% imagem rotulada para
% visualização
rv4rgb = label2rgb(rv4);
rv8rgb = label2rgb(rv8);
disp(['n. obj em rv4 = ', ...
      num2str(nrv4)])
disp(['n. obj em rv8 = ', ...
      num2str(nrv8)])

% Display
figure, image(rv4rgb)
title('rv4rgb')
figure, image(rv8rgb)
title('rv8rgb')
```

```
>> rv4
rv4 =
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    4    0
    0    0    2    2    2    0    0    3    0    0
    0    0    2    2    2    0    3    3    3    0
    0    0    0    0    0    3    3    3    0    0
    0    0    0    0    0    0    3    3    3    0
    0    0    0    1    0    0    0    3    3    0
    0    0    1    1    0    0    3    3    0    0
    0    1    1    1    0    3    3    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0

>> rv8
rv8 =
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    2    0
    0    0    2    2    2    0    0    2    0    0
    0    0    2    2    2    0    2    2    2    0
    0    0    0    0    0    2    2    2    0    0
    0    0    0    0    0    0    2    2    2    0
    0    0    1    1    0    0    2    2    0    0
    0    1    1    1    0    2    2    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
```



Uma vez que os objetos foram rotulados, é possível obter as coordenadas dos pixels de cada um utilizando a função `find`. Para medir a área de um objeto em pixels, basta contar as suas coordenadas. A partir das coordenadas pode-se também manipular o objeto desejado. No código a seguir, por exemplo, eliminamos o menor objeto da imagem.

```

clear all, close all
clc

bw = [ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
       0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
       0 0 1 1 1 0 0 1 0 0
       0 0 1 1 1 0 1 1 1 0
       0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
       0 0 0 0 0 0 1 1 1 0
       0 0 0 1 0 0 0 1 1 0
       0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
       0 1 1 1 0 1 1 0 0 0
       0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ];

bw = logical(bw);
[rv8 nobj] = bwlabel(bw, 8);

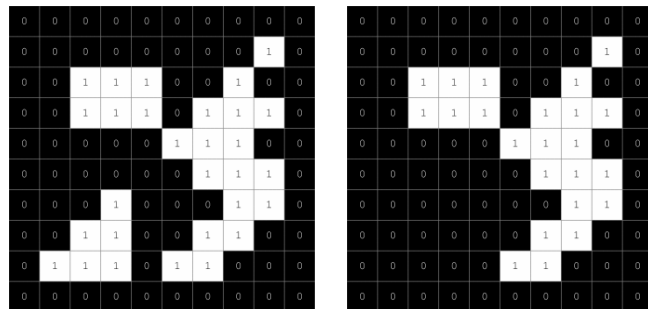
% Aloca vetor para armazenar o número de pixels de cada objeto
area = zeros(1,nobj);
% Aloca cell array para armazenar os índices lineares de cada objeto
linearIdx = cell(1,nobj);

% Para cada objeto
for k = 1:nobj
    % Coordenadas lineares dos pixels do objeto k
    linearIdx{k} = find(rv8==k);
    % Número de pixels do objeto k
    area(k) = length(linearIdx{k});
    fprintf('Área em pixels do obj %d = %d\n', k, area(k));
end

% Elimina o objeto menor
bw2 = bw;
[valor idx] = min(area);
bw2(linearIdx{idx}) = 0;

% Display
imshow(bw)
imshow(bw2)

```



Esta é uma das maneiras de se obter as coordenadas e a área dos objetos binários no MATLAB e pode ser utilizada também em outros ambientes ou linguagens, desde que a imagem rotulada esteja disponível. No MATLAB, se a rotulação for realizada com a função *bwconncomp* ao invés de *bwlabel*, o *find* não é necessário. Isto porque *bwconncomp* retorna uma struct na qual um dos campos é um cell array com os índices lineares de cada pixel de cada objeto. Uma maneira mais direta ainda de obter a área é através da função *regionprops*, que pode retornar também várias outras propriedades dos objetos.

Função *bwconncomp*: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/bwconncomp.html>

Função *regionprops*: <http://www.mathworks.com/help/images/ref/regionprops.html>

To-do:

Função *bwconncomp*, cell array [<http://www.mathworks.com/help/matlab/cell-arrays.html>]

Em <http://www.mathworks.com/help/images/image-enhancement-and-analysis.html> há um exemplo completo e caprichado de segmentação e rotulação da imagem *rice.png*. Vale a pena.

8.3) Rotulação de regiões em imagens binárias (função *bwlabel*)

Agora que vc já tem uma solução para a segmentação automática das lesões de pele (exercícios anteriores), faça um script para determinar qual das imagens *psl1_gray.png*, *psl2_gray.png*, *psl3_gray.png* contém a maior lesão de pele.

8.4) Rotulação de regiões em imagens binárias (função bwlabel)

Faça um script para contar quantas células existem na imagem *whitecells4.png*.

8.5) Rotulação de regiões em imagens binárias (função bwlabel)

Obtenha um histograma das áreas das células da imagem *whitecells4.png*.

8.6) Rotulação de regiões em imagens binárias (função bwlabel)

Faça um script para deixar apenas as 30% maiores células na imagem *whitecells4.png* e eliminar (apagar, transformando em fundo) todas as outras.

8e) Transformada top-hat

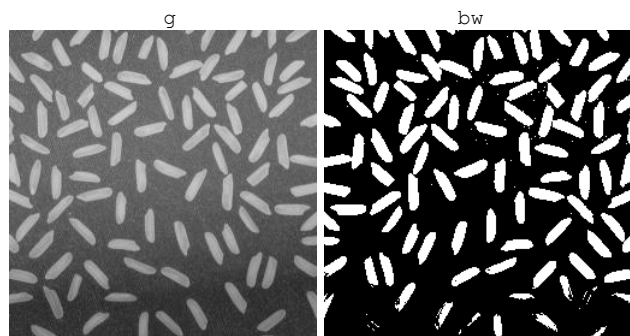
A segmentação por limiarização global pode ser bastante comprometida em situações nas quais a iluminação na imagem não é uniforme (homogênea), como no exemplo a seguir (é um exemplo bem conhecido: <https://www.mathworks.com/help/images/image-enhancement-and-analysis.html> e <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imtophat.html>). Talvez também exista uma versão desse exemplo no blog do Steve Eddins [<http://blogs.mathworks.com/steve/>]).

```
clear all; close all; clc
```

```
g = imread('rice.png');  
figure, imshow(g);
```

```
t = graythresh(g);  
bw = im2bw(g, t);  
figure, imshow(bw)
```

```
% Observe que os grãos da parte  
% inferior não são mantidos  
% na imagem limiarizada
```



A transformada top-hat pode ser utilizada como uma etapa de pré-processamento da imagem, para uniformizar a iluminação do fundo (background), antes de aplicar a limiarização global. A transformada top-hat TH de uma imagem grayscale G é:

$$TH = G - (G \circ S)$$

onde ' \circ ' é a operação morfológica de abertura de G por um elemento estruturante S e '-' é uma subtração de imagens. Assim como nas operações morfológicas binárias, a abertura morfológica de uma imagem grayscale ($G \circ S$) é o resultado da erosão seguida da dilatação, isto é, aplicar a erosão na imagem G usando S e depois aplicar a dilatação na imagem erodida usando S. As figuras a seguir [[BB], Figura 10.19 e Figura 10.20] ilustram as operações de erosão e dilatação morfológica para imagens grayscale (o elemento estruturante usado nas figuras é só um exemplo. Os elementos estruturantes mais usados na prática possuem apenas valores 1, 0 ou don't care (parece digital, mas é coincidência)).

Fig. 10.20

Grayscale erosion $I \ominus H$. The 3×3 pixel structuring element H is placed on the image I in the upper left position. Each value of H is subtracted from the corresponding element of I ; the intermediate result $(I - H)$ for this particular position is shown below. Its minimum value $3 - 1 = 2$ is inserted into the result $(I \ominus H)$ at the current position of the filter origin. The results for three other filter positions are also shown.

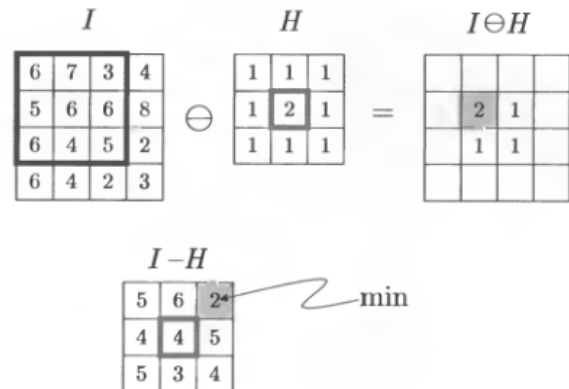
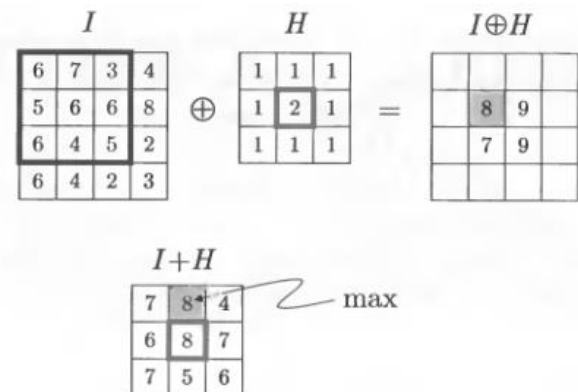


Fig. 10.19

Grayscale dilation $I \oplus H$. The 3×3 pixel structuring element H is placed on the image I in the upper left position. Each value of H is added to the corresponding element of I ; the intermediate result $(I + H)$ for this particular position is shown below. Its maximum value $8 = 7 + 1$ is inserted into the result $(I \oplus H)$ at the current position of the filter origin. The results for three other filter positions are also shown.



8.7) Top-hat para uniformizar a iluminação de fundo

Segmentar os grãos de arroz da imagem *rice.png* da seguinte forma:

1) Aplicar a transformada top-hat.

IMPORTANTE: não pode usar a função `imtophat`. Use as funções `imerode` e `imdilate`.

Observe (`imshow`) as saídas dos passos intermediários pra entender

legal o que está acontecendo.

2) Aplicar uma limiarização global automática pelo método de Otsu (função `graythresh`).

8f) Limiarização local (também chamada de limiarização adaptativa)

8.8) Limiarização adaptativa baseada no desvio padrão

Rodar o código abaixo e explicar. [É o tutorial 'Adaptive Thresholding' do livro [OM] (capítulo 15, páginas 350 até 352). O livro está no moodle da disciplina.]

```
% adaptive_Th [script]
% Tutorial 'Adaptive Thresholding',
% capítulo 15,
% páginas 350 até 352 do livro
% Oge Marques, Practical image and video
% processing using MATLAB, Wiley, 2011.

clear all; close all; clc

g = imread('gradient_with_text.tif');
figure, imshow(g), title('in')

% Global Th
ggth = im2bw(g, graythresh(g));
figure, imshow(ggth), title('ggth')
figure, imhist(g) % pelo histograma:
                  % otsu não é uma boa

% Adaptive Th
% Função blockproc é sem overlap
% Cria function handle
fun = @(myBlock) adaptThStd(myBlock.data);
gath = blockproc(g, [10 10], fun); % processa
figure, imshow(gath), title('gath')
```

```
function y = adaptThStd(x)
% x: bloco da imagem (subimagem)
% y: bloco processado

% std baixo -> é fundo
if(std2(x)) < 1
    % Sai um bloco de uns
    y = ones(size(x,1),size(x,2));
% std alto -> é texto
else
    % Aplica Otsu no bloco
    y = im2bw(x, graythresh(x));
end
```

Referências

- [OM] Oge Marques, Practical image and video processing using MATLAB, Wiley, 2011.
- [GW] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, Digital image processing, Pearson Prentice Hall, 3rd ed, 2008.
- [BB] Wilhelm Burger, Mark Burge, Digital image processing – an algorithmic introduction using Java, Springer, 2010.
- [JR] Jadwiga Rogowska, Overview and fundamentals of image segmentation, In: Handbook of medical imaging: Processing and analysis management, Editor Isaac Bankman, Academic Press, 2000.
- [MMea] Miha Mozina, Dejan Tomazevic, Franjo Pernus, Bostjan Likar, Real-time image segmentation for visual inspection of pharmaceutical tablets, Machine Vision and Applications, v. 22, p. 145-156, 2011.
- [SE] Steve Eddins, Cell segmentation, Blog: Steve on Image Processing, Imagem: Ramiro Massol, junho, 2006. Disponível em <http://blogs.mathworks.com/steve/2006/06/02/cell-segmentation/>,
- [JP] James R. Parker, Algorithms for image processing and computer vision, John Wiley & Sons, 1997
- [SS] Linda G. Shapiro, George C. Stockman, Computer Vision, Prentice Hall, 2001. Disponível em <http://www.cse.msu.edu/~stockman/Book>

- [GLea] Gabriel Landini et al., Auto Threshold plugin para Fiji – ImageJ, 2011. Disponível em http://fiji.sc/Auto_Threshold.
- [NO] Nobuyuki Otsu, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. SMC-9, n. 1, 1979. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=4310064&punumber=21>
Link direto: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04310076>
- [MS] Georges Matheron and Jean Serra, Georges Matheron and Jean Serra, Slides, 2000. Disponível em http://cmm.ensmp.fr/~serra/pdf/birth_of_mm.pdf, via Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology.
- [CD] Mary L. Comer, Edward J. Delp, Morphological operations for color image processing, Journal of Electronic Imaging, n.8, v. 3, p. 279-298, 1999. Disponível em <ftp://jetty.ecn.purdue.edu/ace/delp/color-morph/paper.pdf>
- [LVA] G. Louverdis, M.I. Vardavoulia, I. Andreadis, A new approach to morphological color image processing, Pattern Recognition, v. 35, issue 8, p. 1733-1741, 2002.