

# Projeto 2 de Introdução ao Processamento de Imagens

Marcos Paulo Cayres Rosa (14/0027131)  
Departamento de Ciência da Computação  
Introdução ao Processamento de Imagens  
Brasília, Brasil

**Abstract**—Esse documento tem como finalidade demonstrar diferentes conceitos relativos ao processamento de imagens, como o realce no domínio espacial, a filtragem no domínio da frequência e a aplicação de morfologia matemática. Mais especificamente, apresenta resultados referentes ao filtro notch, observa o uso de morfologia e filtragem durante a binarização de uma imagem e analisa o processo de segmentação. (*Abstract*)

**Keywords**—*matlab, notch, binarização, morfologia, filtragem, segmentação*

## I. INTRODUÇÃO

O *Matlab* é um software de alta performance que permite a manipulação de matrizes, podendo estas representar imagens. Para realização dos procedimentos descritos a seguir é necessário conhecimento a cerca de operações matemáticas básicas e com matrizes, os métodos de implementação das funções requisitadas e o funcionamento dos comandos do *Matlab*.

Tendo em vista que o software descrito anteriormente foi usado para o desenvolvimento de códigos que solucionassem problemas específicos, a seguir está uma síntese das respectivas tarefas solicitadas para esse trabalho e uma explanação de termos mais específicos da área do processamento de imagens.

A primeira questão consiste em aplicar um filtro rejeita-notch no domínio da frequência para a imagem “moire.tif”. Assim, atenuaria o ruído de uma faixa específica de frequência, ao retirar os pontos especificados do espectro, e manteria as demais frequências inalteradas.

Essa aplicação é muito eficiente para casos como o do padrão moiré, uma interferência criada pela sobreposição de duas estruturas periódicas que formam faixas claras e escuras, paralelas e equidistantes. Ademais, sobre o exemplo especificado, já há quatro pares notch pré-definidos, cada um destes passará por um filtro passa-altas Butterworth e não haverá uso de *padding* (preenchimento da borda para melhorar o processo de filtragem, usualmente com zeros).

A segunda questão, objetivando uma imagem binária como resultado, utiliza-se de “morf\_test.pgn” e da aplicação de filtros e operações morfológicas, como transformações *top* e *bottom-hat*, abertura e fechamento. No caso, pretende-se uma melhora subjetiva que separe os objetos/letras do fundo.

Ou seja, o problema está na binarização, conversão de uma imagem de escala de níveis de cinza para uma representação binária, de dois tons. Para isso, é necessário determinar um

valor de corte e que haja uma boa distinção entre o fundo e os objetos que se deseja separar. Sendo que, para facilitar esse último tópico, pode-se usar tanto a filtragem no domínio espacial ou da frequência quanto à morfologia matemática, um modelo teórico baseado na teoria dos reticulados e em topologia.

A terceira questão focaliza-se no processo de segmentação da imagem “img\_cells.jpg”, por meio de binarização, diversas operações morfológicas, cálculo de distância e aplicação do procedimento. Ademais, observou-se mais atentamente a segmentação como uma divisão em múltiplas regiões (ou objetos) da imagem digital, procurando uma determinada representação que seja eficaz para o problema em questão. Dentre os diversos métodos existentes, o utilizado foi o *watershed*, este que é parte do campo de morfologia matemática e é análogo a uma gota de água seguindo o gradiente de uma imagem e fluindo até achar um mínimo local.

## II. METODOLOGIA

### A. Rejeita-notch (*Proj2\_1.m* e *butterworth.m*)

Primordialmente, por meio da função “butterworth”, foram explicitados quais seriam os pontos a serem retirados de acordo com o filtro passa-altas Butterworth, seguindo a fórmula a seguir:

$$H(butterworth) = \frac{1}{1 + \left[\frac{Do}{D}\right]^{2n}}$$

Sendo que  $D$  é o valor do pixel em questão,  $Do$  o limiar a ser determinado e  $n$  foi fixado como 4. Além disso, para cada chamada da função, são usados como parâmetro de entrada: a imagem original, o valor de  $Do$  e os pontos  $u_k$  e  $v_k$  que limitam  $D$ . E como saída: a junção do par de filtros especificados para cada determinação de  $D$ , de acordo com as fórmulas indicadas a seguir, considerando  $med1$  e  $med2$  como o tamanho das dimensões da imagem, dividido por dois e somado com um.

$$D_{k_1}(u, v) = \sqrt{(u - med1 - u_k)^2 + (v - med2 - v_k)^2}$$

e

$$D_{k_2}(u, v) = \sqrt{(u - med1 + u_k)^2 + (v - med2 + v_k)^2}$$

Os pares determinados para essa imagem seguem as características da tabela a seguir:

	$D_0$	$u_k$	$v_k$
1º par	10	39	30
2º par	10	-39	30
3º par	5	78	30
4º par	5	-78	30

Com todos os filtros definidos, concatenou-os em uma máscara, realizou-se a transformada de Fourier com *fft2*, deslocou-se o componente DC para o centro com *fftshift* e aplicou-se a máscara. Após isso, mostrou-se a magnitude da imagem filtrada, com o auxílio de *log* e *abs* e efetivou-se a transformada inversa dos resultados com *ifftshift* e *ifft2*, apresentando sempre na tela os resultados dos procedimentos.

#### B. Binarização (Proj2\_2.m)

Com a imagem em questão é possível perceber dois detalhes importantes, mesmo que bastante ruidosa. No caso, possui um conjunto de números rotacionado e uma silhueta da obra de Leonardo da Vinci, Mona Lisa.

Para o primeiro caso, deveria ser realizada uma transformada *bottom-hat* com *imbothat*, binarizar a imagem e aplicar operações morfológicas para isolar o objeto do fundo, retirar o ruído e fazer com que os símbolos não ficassem desconexos. Especificamente para os últimos problemas, ajustou-se o valor das intensidades (*imadjust*), aumentando o contraste, efetuou-se uma abertura (*imopen*) e aplicou-se um filtro de médias (*imfilter*).

Para o segundo caso, por sua vez, apenas foi realizado um fechamento com um disco como fator estruturante. Dessa forma, isolando o fundo da imagem, representante da silhueta comentada anteriormente.

Ademais, para o processo de binarização foi utilizada a função *graythresh* para determinação do limiar e para um dos casos foram testados diversos fatores estruturantes e mudanças de métodos, a exemplo de outros filtros ou operações morfológicas, o que será explicado no tópico Resultados.

#### C. Segmentação (Proj2\_3.m)

Almejando a segmentação *watershed*, é necessária a binarização da imagem, o preenchimento de espaços desconexos e buracos e o cálculo de distância. Por isso, o procedimento se iniciou com a aplicação de um filtro de médias por *medfilt2* (que já filtra com *padding* de zeros na borda), da transformada *top-hat* (com um disco como fator estruturante pela função *imtophat*) e da binarização por meio das funções *im2bw* e *graythresh*, esta para determinação do limiar.

Conforme os objetos escuros já se apresentavam destacados em relação ao fundo claro e a imagem estava especificada com apenas dois tons, utilizou-se da função *bwareopen* para preencher buracos. Sendo que, para a mesma finalidade, a função *imfill* foi aplicada no complemento da

imagem, com o modo “holes”, ocupando os espaços ainda não conectados das células.

Em seguida, a abertura de área foi feita novamente, retirando pontos sobressalentes (especialmente nas bordas), e foi calculada a distância por *bwdist* e feito o complemento desta por *imcomplement*, encontrando assim os mínimos locais das células. Por conseguinte, foi possível aplicar a função *watershed* e visualizar o resultado de vários modos: colorido por *label2rgb* e associado à imagem original por *imshowpair*, o qual também foi usado para demonstrar a comparação com os pontos de mínimo e a distância.

### III. RESULTADOS

#### A. Rejeita-notch

O filtro formado a partir das características determinadas pela questão segue o modelo a seguir:

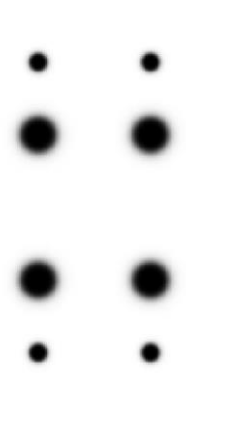


Fig. 1. Máscara do Rejeita-notch.

Com isso, foi possível rejeitar as frequências especificadas e, assim, retirar o padrão ruidoso que existia. A imagem resultante, por conseguinte, ficou mais nítida e sem a presença do padrão moire.

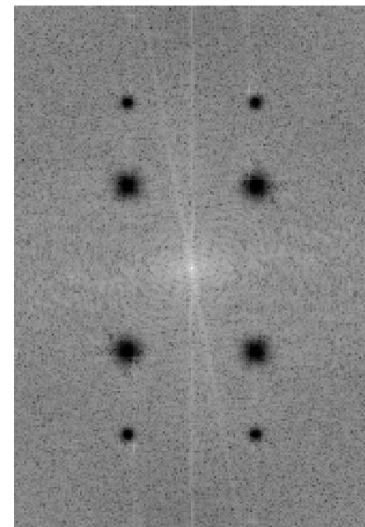


Fig. 2. Magnitude da imagem filtrada.

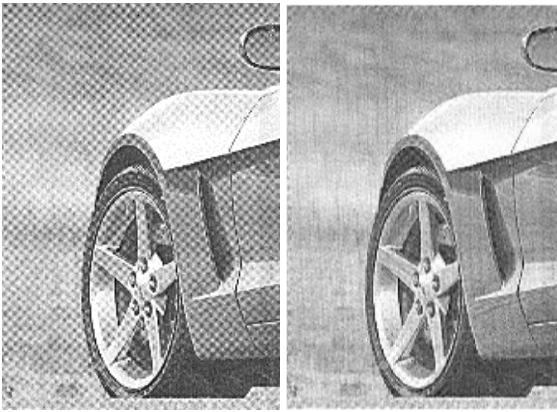


Fig. 3. Imagem original, à esquerda, e imagem filtrada, à direita.

Ainda assim, a filtragem não é perfeita, fato evidente especialmente nas bordas. No caso, percebe-se que o padrão moiré continua se mostrando presente nas extremidades da imagem, já que não foi feito *padding*.

### B. Binarização

O processo teve início com as transformadas *top-hat* e *bottom-hat*, que extraem pequenos elementos e detalhes de uma imagem por meio de um elemento estruturante (este um disco de raio 14). Diferenciando-as, a primeira faz por meio de abertura e a segunda por fechamento. Devido a isso, para a imagem em questão, foi observado que a *bottom-hat* seria mais eficiente para diferenciar os números do fundo, como pode ser evidenciado nas imagens abaixo.



Fig. 4. Imagem com transformada *top-hat*, à esquerda, e com *bottom-hat*, à direita.

Após isso, foi analisado que o aumento do contraste facilitava diferenciar os números claros do fundo escuro. Sendo que é necessário perceber que o processo aplicado anteriormente invertia as cores do que é tido como símbolo ou não. Também foi feito o complemento da imagem, pela questão de inversão indicada anteriormente, e efetivada a binarização.

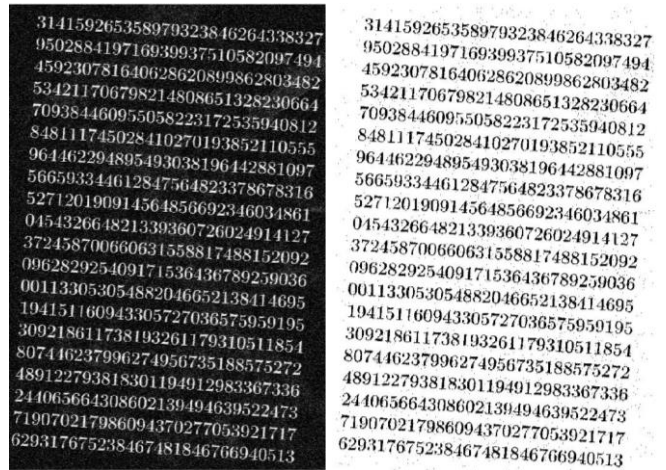


Fig. 5. Imagem após a aplicação de *imadjust*, à esquerda, e imagem binarizada, à direita.

A questão originalmente sugeria criar uma imagem constituída somente pelo fundo e, então, subtrair-la da original. Esse processo, entretanto, demonstrou-se mais trabalhoso e menos eficiente, pois o ruído tornava-se mais difícil de ser retirado. Ao invés disso, foi efetuada uma abertura na imagem binarizada anteriormente, com um disco de raio um como fator estruturante, e aplicou-se um filtro de média, multiplicando cada um dos nove elementos considerados por 1/11 e os somando.

Na abertura, caso utilizasse um raio maior, o ruído começava a atrapalhar a distinção das letras. Enquanto, na filtragem, com valores maiores a borda tornava-se evidente, já que não estava usando *padding* e, com valores menores, os números começavam a perder alguns detalhes.

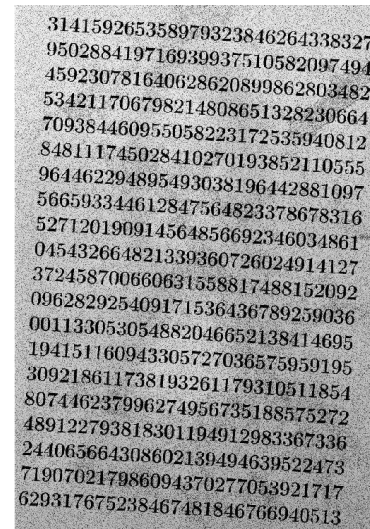


Fig. 6. Tentativa de subtrair o fundo da imagem original, causando mais ruído.

314159265358979323846264338327  
 950288419716939937510582097494  
 459230781640628620899862803482  
 534211706798214808651328230664  
 709384460955058223172535940812  
 848111745028410270193852110555  
 964462294895493038196442881097  
 566593344612847564823378678316  
 527120190914564856692346034861  
 045432664821339360726024914127  
 372458700660631558817488152092  
 096282925409171536436789259036  
 001133053054882046652138414695  
 194151160943305727036575959195  
 309218611738193261179310511854  
 807446237996274956735188575272  
 489122793818301194912983367336  
 244065664308602139494639522473  
 719070217986094370277053921717  
 629317675238467481846766940513

Fig. 7. Imagem após abertura, à esquerda, e após filtro de média, à direita.

Já tendo arrumado os pontos desconexos e retirado a maior parte do ruído, findou-se o processo rotacionando a imagem, para que esta ficasse alinhada na horizontal. Ademais, separaram-se, por erosão com um disco de raio 14 de fator estruturante, as baixas frequências pouco visíveis com os números à frente e o ruído original, evidenciando a silhueta da Mona Lisa.



Fig. 8. Imagem após erosão, mostrando a silhueta da Mona Lisa.

314159265358979323846264338327  
 950288419716939937510582097494  
 459230781640628620899862803482  
 534211706798214808651328230664  
 709384460955058223172535940812  
 848111745028410270193852110555  
 964462294895493038196442881097  
 566593344612847564823378678316  
 527120190914564856692346034861  
 045432664821339360726024914127  
 372458700660631558817488152092  
 096282925409171536436789259036  
 001133053054882046652138414695  
 194151160943305727036575959195  
 309218611738193261179310511854  
 807446237996274956735188575272  
 489122793818301194912983367336  
 244065664308602139494639522473  
 719070217986094370277053921717  
 629317675238467481846766940513

Fig. 9. Imagem final binarizada, separando o fundo branco das imagens pretas.

### C. Segmentação

Primordialmente, almejando uma melhor binarização, aplicou-se o filtro de média e a transformada top-hat. Isso permitiu a redução do ruído e a maior diferenciação das células e seus respectivos centros.

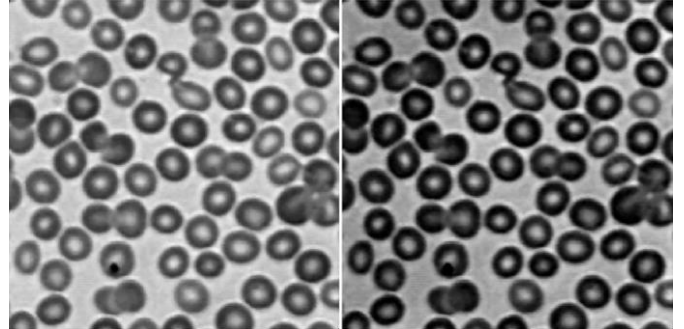


Fig. 10. Imagem após filtro de média, à esquerda, e após transformada *top-hat*, à direita.

A binarização da imagem foi efetuada e, então, foram feitos os processos de abertura (preenchendo a maioria dos centros das células), preenchimento de buracos (pelo complemento da imagem) e abertura de área. Com isso, não havia mais espaços vazios dentro das células e pontos desconexos e ruídos foram atenuados.

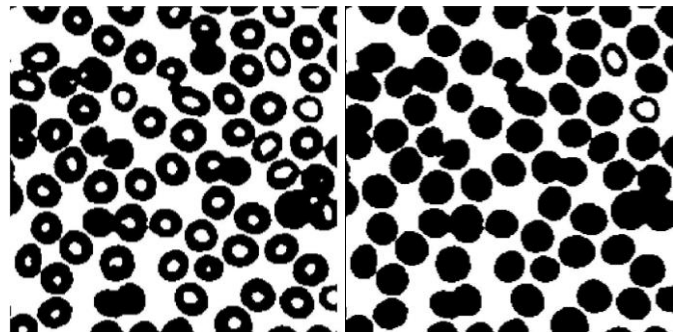


Fig. 11. Imagem binarizada, à esquerda, e após abertura, à direita.

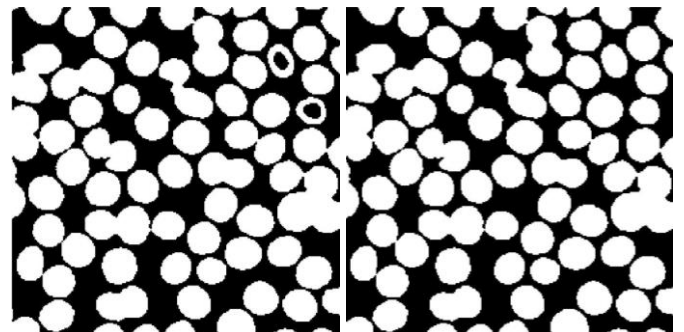


Fig. 12. Complemento da imagem, à esquerda, e após preenchimento de buracos e abertura de área, à direita.

Por fim, a distância foi calculada, foram separados ou pontos não pertencentes às células e encontrados os mínimos para, enfim, a efetuação da segmentação *watershed*. Além disso, foram criadas imagens sobrepondo os resultados

encontrados na imagem original, para efeito de comparação dos objetos segmentados e os que se almejava encontrar.

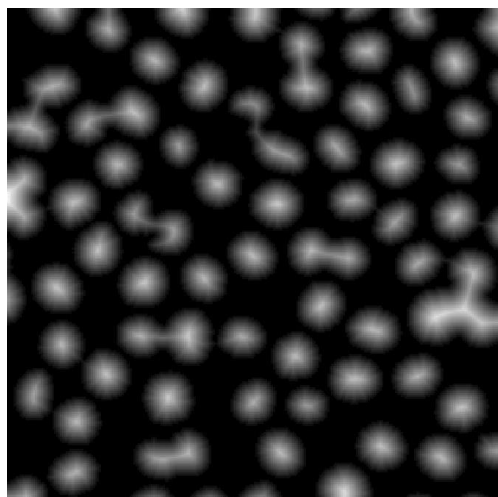


Fig. 13. Resultado da função *bwdist*.

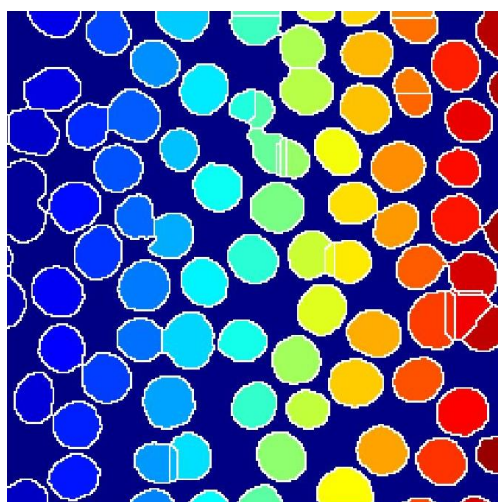


Fig. 14. Resultado da segmentação *watershed*.

Percebe-se que a segmentação teve um bom resultado, ainda que algumas células sejam subdivididas em um número diferente do que eram originalmente. De qualquer forma, todas foram encontradas e, mesmo as que estão interligadas, foram entendidas corretamente como distintas.

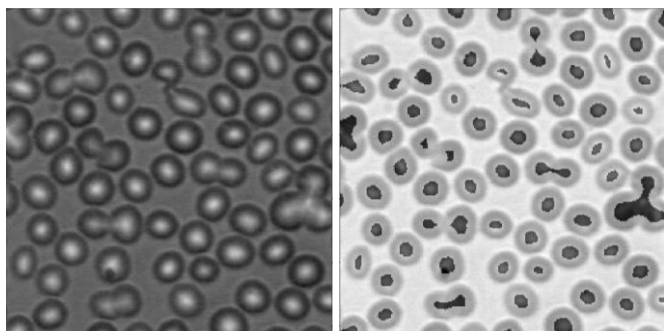


Fig. 15. Imagem original associada à distância, à esquerda, e aos pontos mínimos, à direita.

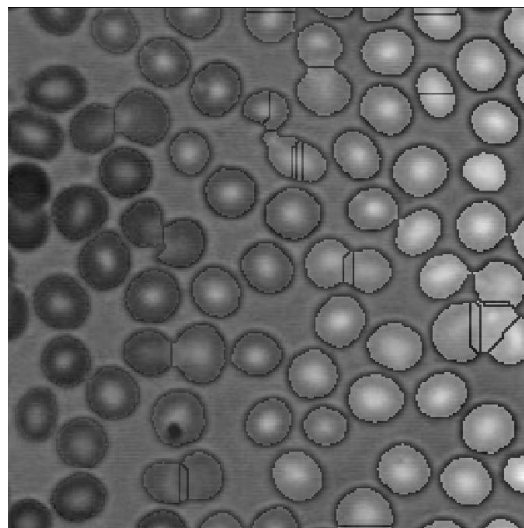


Fig. 16. Imagem original associada ao resultado da segmentação *watershed*.

#### IV. CONCLUSÃO

Evidenciou-se que a maior dificuldade relativa aos problemas propostos não foi a complexidade lógica ou a dificuldade em projetar o código, mas o quanto a morfologia matemática é dependente de uma imagem. Ou seja, o processo repetitivo de tentativa e erro, decorrente das mínimas variações no fator estruturante poder causar um resultado indesejado. Como também, a complicação em determinar os melhores procedimentos para cada etapa, pois podem ter resultados semelhantes, especialmente considerando que a imagem pode ser trabalhada tanto em seu formato original quanto com seu complemento.

Especificamente sobre a questão 1, os empecilhos registrados anteriormente não se aplicam, em vista que o processo consistiu apenas na aplicação dos valores fornecidos em uma filtragem no domínio da frequência. Seria mais complexo se os pares notch não tivessem sido dados no enunciado, porém isso permitiu que o resultado se tornasse bem satisfatório.

Retornando a problemática da morfologia, a questão 2 tornou isso bem evidente. O resultado, ainda que bem efetivo, mostra algumas falhas, como a perda de alguns detalhes dos símbolos e uma mínima presença de ruídos. No caso, o processo poderia ter melhores resultados com outras operações ou elementos estruturantes, mas o apresentado nas imagens anteriores foi o melhor encontrado.

Por fim, a segmentação *watershed* foi, em sua maior parte, um sucesso, pois possibilitou uma boa distinção entre as células e efetuou uma segmentação considerada correta. Ou seja, o objetivo de separar as células foi bem executado, mesmo que algumas especificidades tenham causado erros, assim como a sobreposição de células ou pontos mínimos pouco distinguíveis.