

Projeto 2

Gabriel da Silva Corvino Nogueira - 18/0113330

Dep. Ciência da Computação

Universidade de Brasília (UnB)

Brasília, Brasil

gab.nog94@gmail.com

Resumo—Este projeto aborda conceitos de morfologia matemática aplicada no processamento de imagens, além de tratar sobre segmentação de imagens. Neste documento, a morfologia matemática será utilizada para aprimorar os resultados de um processo de binarização de uma imagem em níveis de cinza. Ademais, processos morfológicos também serão utilizados para extrair um elemento de uma imagem em níveis de cinza a partir de sua binarização. Finalmente, a técnica de segmentação watershed será utilizada para segmentar uma imagem em níveis de cinza.

I. INTRODUÇÃO

O ramo da morfologia matemática tem como base teórica a análise e o processamento de estruturas geométricas. Embora possa ser aplicada em diversas áreas teóricas da matemática, a morfologia matemática tem uma grande utilidade quando aplicada à área de processamento de imagens. Por meio do uso dela, é possível realizar processamentos como extração de regiões de uma imagem, representação e descrição de formas de uma determinada região e até realizar processos de suavização e aguçamento.

As operações básicas da morfologia matemática são **erosão**, **dilatação**, **abertura** e **fechamento**. Para que cada uma dessas operações seja realizada em uma imagem, é necessário se utilizar de um elemento estruturante de duas (imagens binárias e níveis de cinza) ou três (imagens em níveis de cinza) dimensões. Quando aplicado em uma imagem binária, o processo de **erosão** tende a afinar a forma de objetos representados por pixels brancos na imagem, ao passo que, quando aplicado em uma imagem em tons de cinza, a partir de um elemento estruturante plano, a erosão irá aumentar o tamanho dos objetos escuros e diminuir o tamanho dos objetos claros na imagem. Por outro lado, ao se usar um elemento estruturante plano, a operação morfológica de **dilatação** apresenta resultados opostos aos da erosão: em imagens binárias, os objetos representados por pixels brancos são expandidos, enquanto em imagens em tons de cinza, o tamanho de objetos claros é aumentado e o de objetos escuros é diminuído.

A partir das operações de erosão e dilatação, é possível reproduzir as operações morfológicas de **abertura** e **fechamento**. A **abertura** consiste na aplicação de uma erosão seguida por uma dilatação em uma mesma imagem. Em imagens binárias, a abertura tende a suavizar o contorno de um objeto, romper os istmos (pequenas porções da imagem que conectam partes maiores) e eliminar as saliências finas. Já quando é aplicada em imagens em níveis de cinza com um

elemento estruturante plano, a abertura diminui a intensidade dos objetos claros na imagem enquanto os objetos escuros são pouco afetados. Em contrapartida, o **fechamento** é constituído pela aplicação do processo de dilatação seguido do processo de erosão em uma imagem. Quando aplicado em imagens binárias, o fechamento também tende a suavizar contornos, contudo, diferente da abertura, ele funde as descontinuidades estreitas e alonga os golfos finos, além de eliminar pequenos buracos e preencher lacunas em contornos. Além do mais, a aplicação do fechamento em imagens em tons de cinza vai aumentar a intensidade dos objetos escuros enquanto os objetos claros vão ser pouco afetados.

Além da morfologia matemática, este relatório também abordará sobre segmentação de imagens. O processo de segmentar uma imagem consiste em dividi-la em regiões de interesse baseado em algum critério pré-determinado. Tal processamento apresenta grande utilidade para tarefas como localizar objetos e formas em uma imagem. Dentre as diversas técnicas de segmentação existentes, este relatório irá abordar a técnica *watershed*.

Na segmentação *watershed*, a imagem é tratada como se fosse um **mapa topográfico** e o nível de brilho de cada pixel representa a altura de um ponto nesse mapa. Uma das formas de realizar esta segmentação é por meio de um algoritmo de inundação (*flooding*). A ideia desse algoritmo é encher os mínimos locais do relevo da imagem com água para que todo o relevo seja inundado a partir deles e assim demarcar barreiras quando diferentes fontes de água se encontram. Tais barreiras serão as demarcações da segmentação realizada.

Na Seção II-A será detalhado o processo de aprimoramento da binarização se uma imagem em níveis de cinza a partir do uso da morfologia matemática em níveis de cinza para suavizar a imagem original e deixá-la mais clara por meio do processo de remoção de fundo. Já na Seção II-B a morfologia matemática binária será utilizada para extrair um elemento da imagem original e gerar uma nova imagem contendo apenas o elemento extraído. Por fim, na Seção II-C será descrito o uso da segmentação *watershed* para dividir uma imagem em regiões baseadas na quantidade de elementos detectados.

II. METODOLOGIA

A. Questão 1

Nesta questão, a imagem apresentada na Figura 1 deve ser binarizada de forma com que a imagem resultante seja formada por letras pretas e um fundo branco. Para isso, duas técnicas

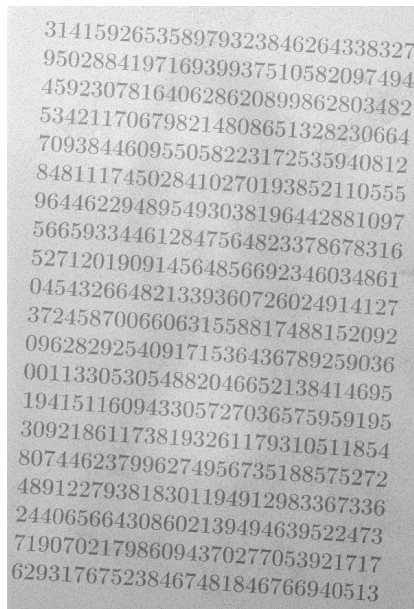


Figura 1. Imagem a ser utilizada nos procedimentos da Questão 1.

diferentes foram utilizadas e os resultados obtidos por meio delas foram comparados.

1) *Binarização direta:* Neste procedimento foi realizada a binarização da imagem original por meio do uso de um operador condicional da linguagem Matlab. Para cada pixel da imagem era verificado se o mesmo possuía valor maior que um limiar (obtido por meio da função `graythresh`) e, caso a condição fosse verdadeira, o pixel correspondente na imagem resultante do processo de binarização irá assumir o valor 1 (branco). Caso contrário, o mesmo irá assumir valor 0 (preto).

2) *Algoritmo morfológico em níveis de cinza seguido por binarização:* Em contrapartida, neste procedimento, um algoritmo foi aplicado na imagem original antes de que a mesma fosse binarizada. Tal algoritmo utiliza técnicas de morfologia matemática em níveis de cinza, para que imagem da Figura 1 tenha seu ruído diminuído e sua iluminação melhorada.

Primeiramente, o algoritmo em questão aplica um filtro de suavização morfológico na imagem. Tal filtro é gerado por meio da soma entre a abertura e o fechamento da imagem original, onde ambas as operações foram realizadas com um elemento estruturante quadrado de lado $d = 2$.

Em seguida, a imagem suavizada pelo filtro sofreu uma transformação *bottom-hat* (cujo elemento estruturante é um disco de raio $r = 10$), a qual é responsável por remover grande parte das sombras presentes no fundo da imagem. Contudo, a mesma acaba por retornar uma imagem com letras claras em um fundo escuro.

Dessa forma, foi necessário inverter a imagem resultante da transformação *bottom-hat* para que a imagem processada fosse composta por letras pretas em um fundo branco.

Por fim, foram aplicados as técnicas morfológicas de erosão e dilatação na imagem invertida anteriormente, onde os ele-

mentos estruturantes utilizados foram quadrados de lado $d_1 = 3$ e $d_2 = 2$, respectivamente.

Sendo assim, após a aplicação algoritmo morfológico descrito na imagem original, a imagem obtida foi binarizada a partir do mesmo processo apresentado na Seção II-A1.

B. Questão 2



Figura 2. Imagem a ser utilizada nos procedimentos da Questão 2.

Nesta etapa do projeto, foi desenvolvido um programa que deve gerar como saída uma imagem que contenha apenas o *cookie* que não foi mordido dentre os dois biscoitos presentes na Figura 2. Para que isso fosse possível, foi realizada uma série de procedimentos de morfologia binária, os quais serão descritos no decorrer desta seção.

1) *Binarização da imagem original:* Primeiramente, a imagem da Figura 2 foi binarizada de forma com que os dois *cookies* possam ser identificados e diferenciados do fundo. Para isso foi necessário escolher um limiar apropriado. Tal limiar foi obtido pela função `graythresh` do Matlab e possui o valor de 0,3667 numa escala onde os níveis de cinza estão contidos no intervalo $[0, 1] \in \mathbb{R}$. Após obtido o limiar ótimo, a imagem original foi binarizada por meio da função `im2bw`.

2) *Remoção de elemento da imagem:* Feita a binarização da imagem original, é necessário remover o *cookie* mordido da imagem binária, para que apenas o *cookie* completo esteja presente no resultado final.

Portanto, foi utilizada a operação morfológica de erosão, visto que no problema em questão era necessário diminuir a área de elementos brancos da imagem. Sendo assim, por meio de critérios empíricos, a erosão morfológica foi realizada com um elemento estruturante cuja forma é um disco de raio $r = 60$.

3) *Restauração de elemento na imagem:* Apesar de o *cookie* mordido ter sido eliminado da imagem, o *cookie* completo acaba por perder grande parte de sua área após o processo de erosão. Logo, é necessário que a área do objeto claro da imagem seja aumentada e, para tal situação, a operação morfológica de dilatação é uma ótima ferramenta. Dessarte, a dilatação foi realizada na imagem resultante da erosão a partir do mesmo elemento estruturante utilizado na Seção II-B2.

4) *Obtenção de elemento isolado em uma imagem em níveis de cinza :* Com a imagem binarizada final em mãos, foi possível utilizar o seu inverso como uma máscara binária, e assim obter uma imagem em níveis de cinza com somente o *cookie* que não havia sido mordido. Para tanto, foi realizada a soma entre a imagem original e a a máscara binária.

C. Questão 3

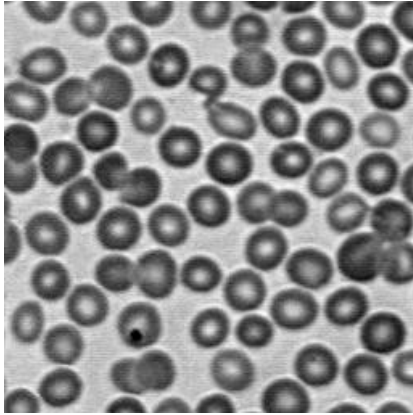


Figura 3. Imagem a ser utilizada nos procedimentos da Questão 3.

Neste estágio do experimento, foi elaborado um programa capaz de segmentar a imagem apresentada na Figura 3

1) *Binarização da imagem original*: Primeiramente, a imagem da Figura 3 foi binarizada por meio de processos análogos aos apresentados nas Seções II-A1 e II-B1.

2) *Preenchimento de espaços desconexos e buracos*: Mesmo após o processo de binarização, a imagem obtida apresentou diversos espaços desconexos e buracos. Tal fato acaba por dificultar o processo de segmentação dos elementos presentes na figura original.

Sendo assim, foram aplicadas as funções `bwareaopen` e `imfill` do Matlab na imagem binarizada, para que fossem preenchidos espaços desconexos e buracos, respectivamente.

3) *Segmentação watershed*: Após obter uma imagem binária livre de buracos e de grande parte das desconexões presentes na binarização da Seção II-C1, foi possível realizar o método de segmentação *watershed*. Em seguida, para tentar obter um resultado melhor no processo de segmentação, foi aplicada a transformada de distância na imagem binária obtida na Seção II-C1.

A transformada de distância em uma imagem binária consiste na substituição de cada pixel pela distância euclidiana entre esse pixel e o pixel mais próximo cujo valor é diferente de zero, sendo que o pixel mais próximo pode vir a ser o próprio pixel em análise.

Dessa forma, a imagem resultante da transformada de distância foi invertida e, por fim, a segmentação *watershed* foi aplicada nessa inversão.

III. RESULTADOS

Esta seção tem o propósito de apresentar os resultados obtidos por meio dos procedimentos realizados na Seção II.

A. Questão 1

1) *Binarização direta*: A Figura 4 apresenta o resultado do procedimento de binarização realizado na Seção II-A1. Ao analisar tal figura, é possível perceber a forte presença de pontos pretos que acabam por prejudicar ou até mesmo

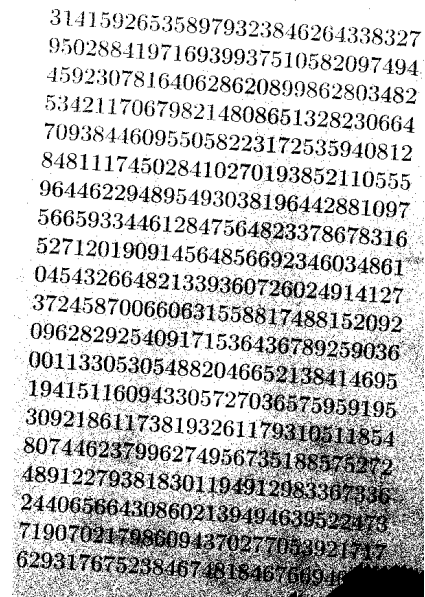


Figura 4. Imagem resultante do processo de binarização realizado na Seção II-A1

inviabilizar a identificação dos números presentes na imagem. A presença desses elementos se deve a grande variação de níveis de brilho no fundo da imagem original, ao ponto de que, em certas regiões mais escuras da imagem, o fundo possui um nível de brilho similar ao das letras localizadas em partes mais claras da imagem.

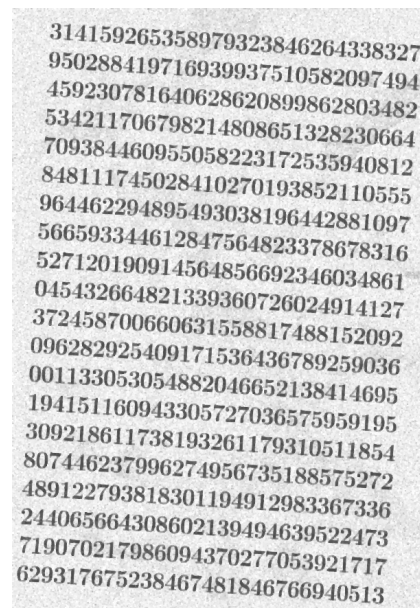


Figura 5. Imagem resultante do processo de aplicação do algoritmo morfológico em níveis de cinza elaborado da Seção II-A2.

2) *Algoritmo morfológico em níveis de cinza seguido por binarização*: A imagem da Figura 5 mostra o resultado após a aplicação do algoritmo morfológico descrito na Seção II-A2

na imagem original. Por meio do resultado apresentado, é possível perceber que o filtro de suavização morfológica aplicado eliminou parte do ruído presente na imagem original. Além disso, é evidente que grande parte do fundo da imagem original foi removido, o que ocorreu graças ao uso da transformada e das operações de erosão e dilatação.

Assim, a aplicação dessas técnicas morfológicas tornou a imagem mais clara e suave, o que a torna uma candidata melhor para um processo de binarização.

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

Figura 6. Imagem binarizada na Seção II-A2 após a aplicação de algoritmo morfológico em níveis de cinza.

A Figura 6 apresenta o resultado da binarização da imagem da Figura 5. É observável que, após a binarização, o fundo da imagem foi completamente retirado, de forma com que apenas os números permaneceram em preto.

Contudo, dada a figura binarizada, é notório que houve a perda no formato de alguns números. Isso se deve ao fato de que parte dos ruídos da imagem original não foram eliminados mesmo com a aplicação de um filtro de suavização morfológica. Tal problema poderia ser solucionado com o uso de filtros de suavização no domínio espacial ou da frequência, filtros esses que apresentam resultados mais precisos em comparação ao processo de suavização morfológica.

B. Questão 2

1) *Binarização da imagem original:* A Figura 7 apresenta o resultado da binarização da imagem da Figura 2 realizada na Seção II-B1. Por meio da análise do resultado, é perceptível que a binarização identifica os dois *cookies* presentes na imagem, bem como os diferencia do fundo.

2) *Remoção de elemento da imagem:* A partir do resultado obtido por meio da binarização, a imagem da Figura 7 sofreu o processo de erosão morfológica e os resultados obtidos podem ser vistos por meio da Figura 8. Nesta, é explícito sumiço do elemento da imagem que representava o *cookie* mordido. Ao

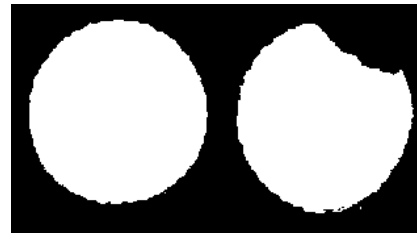


Figura 7. Imagem da Figura 2, após ser binarizada a partir do limiar encontrado na Seção II-B1.

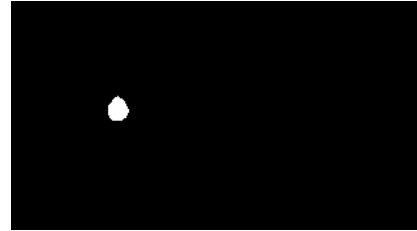


Figura 8. Imagem apresentada na Figura 7 após sofrer o processo de erosão morfológica.

passo que, embora o outro elemento continue na imagem, sua forma e tamanho foram alterados de forma significativa.

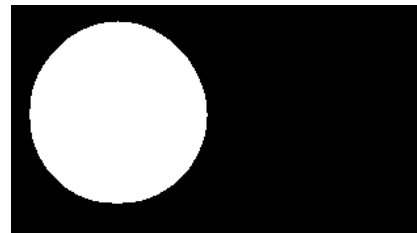


Figura 9. Imagem apresentada na Figura 8 após sofrer o processo de dilatação morfológica.

3) *Restauração de elemento na imagem:* A Figura 9 apresenta o resultado da dilatação da imagem da Figura 8. Nela, o *cookie* não mordido aparece em dimensões muito próximas ao formato original, enquanto o *cookie* mordido, assim como na Figura 8, não está presente na imagem.



Figura 10. *Cookie* completo em níveis de cinza.

4) *Obtenção de elemento isolado em uma imagem em níveis de cinza :* A Figura 10 apresenta a imagem obtida ao se utilizar o inverso da imagem da Figura 9 como máscara binária para extrair o *cookie* não mordido da imagem original. Os resultados dessa extração demonstraram-se extremamente

satisfatórios, visto que o objeto é suficiente próximo ao objeto original.

A única diferença perceptível entre o *cookie* completo da Figura 10 e o *cookie* completo da Figura 2 é o formato das bordas, visto que as bordas do *cookie* original são menos uniformes. Tal fato ocorre devido à uniformidade do elemento estruturante utilizado no processo de dilatação da imagem da Figura 8.

C. Questão 3

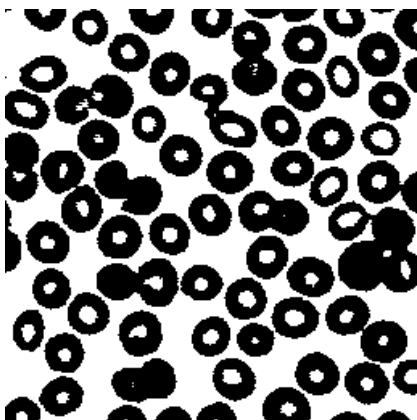


Figura 11. Imagem da Figura 3 após ser binarizada.

1) *Binarização da imagem original*: A Figura 11 apresenta a imagem resultante da binarização da imagem contida na Figura 3. Todavia, o formato concavo das células apresentadas na figura original provoca uma grande variação do brilho no corpo desses objetos e, por consequência, o processo de binarização acabou por gerar buracos e espaços desconexos na imagem resultante.

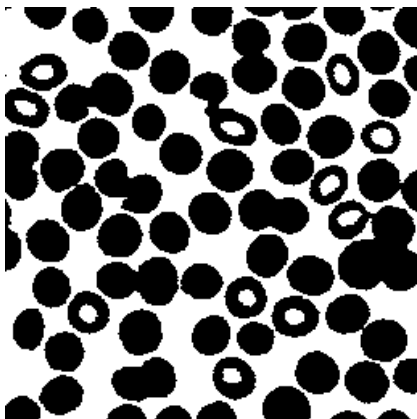


Figura 12. Imagem da Figura 11 após o preenchimento de espaços desconexos.

2) *Preenchimento de espaços desconexos e buracos*: A Figura 12 mostra a imagem da Figura 11 após o processo de preenchimento de espaços desconexos. Tal procedimento de fato eliminou a presença de espaços desconexos, além de eliminar boa parte dos buracos.

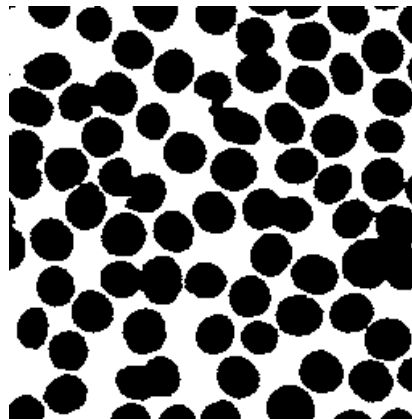


Figura 13. Imagem da Figura 12 após o preenchimento de buracos.

Já a Figura 13 apresenta a imagem da Figura 12 após o processo de preenchimento de buracos. Nela, é possível notar que não há buracos ou elementos desconexos, o que torna a imagem boa para um processo de segmentação, visto que as regiões de interesse estão bem definidas.

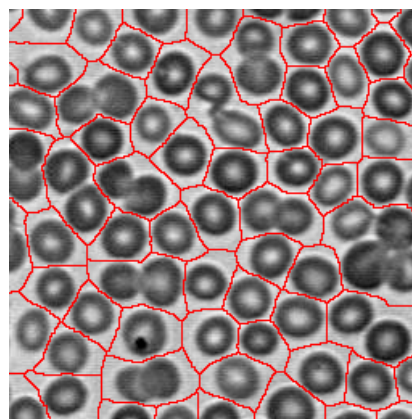


Figura 14. Resultado da segmentação *watershed* da imagem da Figura 13 sobreposto com a imagem original.

3) *Segmentação watershed*: A Figura 14 apresenta a sobreposição do resultado obtido pela segmentação *watershed* da imagem da Figura 13 com a imagem original. Ao analisar os resultados, é possível perceber que alguns que todos os elementos que estão conectados entre si na imagem da Figura 13 são alocados para o mesmo grupo da segmentação. Isso ocorre pois o nível de brilho em todas as partes escuras da imagem é o mesmo, o que fará com que todas as “cavidades” presentes na imagem sejam preenchidas da mesma forma, o que levará o algoritmo a identificar todos os elementos escuros ligados da imagem como uma região só.

Já a Figura 15 apresenta uma representação gráfica da matriz resultante da transformada de distância da imagem da Figura 13. Nela, os elementos são compostos por diferentes níveis de brilho, o que corrobora para a diferenciação de componentes em uma segmentação.

Assim sendo, a Figura 16 apresenta o resultado da

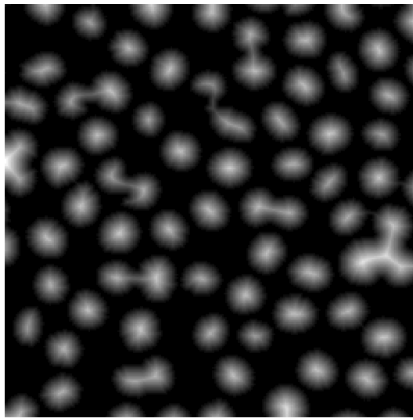


Figura 15. Representação gráfica da matriz gerada pela transformada de distância da imagem da Figura 13

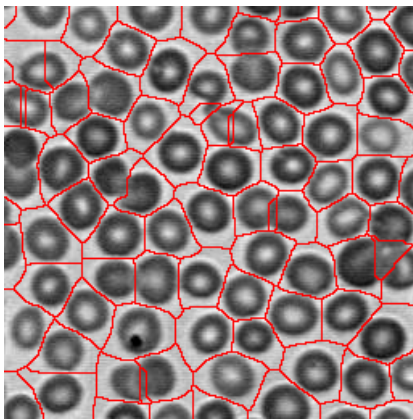


Figura 16. Resultado da segmentação *watershed* aplicada no inverso da imagem apresentada na Figura 15 sobreposto com a imagem original.

segmentação *watershed* no inverso da imagem da Figura 15 em uma sobreposição com a imagem original. Desta vez, é perceptível que, no geral, cada região é ocupada por no máximo uma célula ou por uma intersecção entre células. Todavia, células que adquiriram um formato menos uniforme na binarização da Figura 13 acabaram por ser identificadas como um conjunto de células e foram segmentadas.

Além disso, na imagem, duas células ainda ocupam a mesma região no canto esquerdo central da imagem. Isso se dá devido a fusão entre esses dois elementos que ocorreu na binarização da imagem, o que impossibilita a separação dos dois elementos por meio dos métodos utilizados.

De forma geral, a segmentação exibida na Figura 16 apresentou resultados mais precisos quanto a detecção de elementos em comparação à segmentação retratada na Figura 14, especialmente quando se trata da detecção de elementos que estão sobrepostos de alguma forma. Esse comportamento está relacionado com o fato de que o uso do inverso da imagem da Figura 15 fornece diferentes profundidades de brilho para a aplicação da segmentação *watershed*, o que implica que as “cavidades” da imagem serão preenchidas de forma diferente, o que faz com que as regiões criadas pelo algoritmo tenham

um tamanho menor.

Todavia, mesmo com os resultados obtidos, o processo de segmentação não entregou o resultado esperado, visto que o fundo não foi segmentado na imagem. Para que isso pudesse ser evitado, marcadores poderiam ser usados, tanto para diferenciar o fundo dos objetos, quanto para detectar os pontos mínimos de brilho de cada objeto.

IV. CONCLUSÕES

A partir dos resultados observados na Seção III-A pode-se concluir que a apenas com o uso da morfologia matemática foi possível realizar uma binarização da imagem presente na Figura 1 de forma com que as letras presentes na imagem pudessem ser identificadas de forma correta. Além disso, se a morfologia matemática fosse aplicada na imagem conjuntamente com outras técnicas de suavização, os resultados apresentados poderiam ser ainda mais agradáveis ao olho humano, o que demonstra como diferentes técnicas de processamento de imagem podem ser utilizadas em prol de um mesmo fim.

Tendo em vista os resultados apresentados na Seção III-B foi perceptível que o a extração do elemento pretendido foi realizada com êxito. Assim, foi possível atesar que formas bem comportadas como o *cookie* completo presente da Figura 2 podem ser extraídas facilmente a partir do uso de um elemento estruturante com um formato semelhante. Em contrapartida, a extração do *cookie* mordido seria um processo muito trabalhoso, visto que encontrar um elemento estruturante que o *cookie* completo seja removido da imagem ao invés do *cookie* mordido é uma tarefa complexa, pois o ultimo tende a ser removido no processo.

Com base no que foi apresentado na Seção III-C a segmentação *watershed* foi capaz de indicar as regiões que contém no máximo uma célula, com apenas uma exceção. Contudo, infelizmente o mesmo não foi capaz de segmentar o fundo da imagem, o que acabou por gerar certa imprecisão no proceso. Mesmo assim, os resultados obtidos podem ser aplicados para funcionalidades como detectar a densidades de célula em uma porção da imagem e compará-la com o resto.

Em suma, a morfologia matemática e a segmentação são áreas fulcrais no processamento de imagens e que demonstram-se úteis para diversas aplicações em inúmeras área como saúde, segurança e fiscalização de trânsito.