

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
ISSN 0103-2569

---

**Aplicação da Transformada *Watershed*  
no Processo de Separação de Objetos**

Mário Augusto Pazoti  
Odemir Martinez Bruno

Nº 242

---

RELATÓRIOS TÉCNICOS



São Carlos – SP  
Out./2004

|             |         |
|-------------|---------|
| SYSNO       | 1407407 |
| DATA        | / /     |
| ICMC - SBAB |         |

## Sumário

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>1 INTRODUÇÃO</u></b> .....                                       | <b>4</b>  |
| 1.1 SEGMENTAÇÃO POR DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES.....                  | 4         |
| 1.2 SEGMENTAÇÃO POR CRESCIMENTO DE REGIÕES.....                        | 5         |
| 1.3 LIMIAZIZAÇÃO.....                                                  | 6         |
| <b><u>2 TRANSFORMADA <i>WATERSHED</i> (DIVISOR DE ÁGUAS)</u></b> ..... | <b>7</b>  |
| 2.1 PROCESSO DE IMERSÃO.....                                           | 9         |
| 2.2 CONSTRUÇÃO DAS LINHAS DIVISÓRIAS .....                             | 9         |
| 2.3 ALGORITMO.....                                                     | 10        |
| <b><u>3 ALGUMAS APLICAÇÕES</u></b> .....                               | <b>12</b> |
| 3.1 <i>WATERSHED</i> APLICADA NA SEGMENTAÇÃO DE PARTÍCULAS .....       | 14        |
| 3.2 <i>WATERSHED</i> USANDO MATLAB.....                                | 15        |
| <b><u>4 CONCLUSÃO</u></b> .....                                        | <b>18</b> |
| <b><u>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b> .....                       | <b>19</b> |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - DETECÇÃO DE BORDAS ATRAVÉS DO OPERADOR DE GRADIENTE .....                                                                                                                                                                                                         | 5  |
| FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE SEGMENTAÇÃO POR CRESCIMENTO DE REGIÃO .....                                                                                                                                                                                                      | 6  |
| FIGURA 3 - LIMIAZIZAÇÃO: IMAGEM ORIGINAL EM TONS DE CINZA (A), HISTOGRAMA COM T DEFINIDO (B) E<br>IMAGEM LIMIAZADA (C) .....                                                                                                                                                 | 6  |
| FIGURA 4 - MAPA REPRESENTANDO PARTE DA <i>GREAT DIVIDE</i> .....                                                                                                                                                                                                             | 7  |
| FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DO MÍNIMO LOCAL PARA DUAS REGIÕES DA SUPERFÍCIE .....                                                                                                                                                                                               | 8  |
| FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DOS MÍNIMOS LOCAIS, LINHAS DE PARTIÇÃO E BACIAS DE CAPTAÇÃO. ADAPTADO DE<br>VINCENT E SOILLE (1991) .....                                                                                                                                           | 8  |
| FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE IMERSÃO. ADAPTADO DE VINCENT E SOILLE (1991) .....                                                                                                                                                                                   | 10 |
| FIGURA 8 – ESTÁGIOS DO PROCESSO DE PREENCHIMENTO: DUAS BACIAS DE CAPTAÇÃO NO ESTÁGIO <i>N-1</i> DE<br>PREENCHIMENTO (A); PREENCHIMENTO NO ESTÁGIO <i>N</i> , MOSTRANDO A ÁGUA MISTURADA ENTRE AS BACIAS<br>(B) E O RESULTADO DA DILATAÇÃO E DA CONSTRUÇÃO DO DIQUE (C) ..... | 10 |
| FIGURA 9 - EXEMPLO DE SUPERSEGMENTAÇÃO E DO USO DE MARCADORES PARA CONTORNAR TAL PROBLEMA ....                                                                                                                                                                               | 13 |
| FIGURA 10 - PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO. ADAPTADO DE VINCENT E SOILLE (1991) .....                                                                                                                                                                                               | 13 |
| FIGURA 11 - SEPARAÇÃO DE CÉLULAS SOBREPOSTAS ( <a href="http://www.mmorph.com/cppmorph/">HTTP:// WWW.MMORPH.COM/CPPMORPH/</a> ) .....                                                                                                                                        | 14 |
| FIGURA 12 - SEGMENTAÇÃO DE GRÃOS (BEUCHER, 2004) .....                                                                                                                                                                                                                       | 14 |
| FIGURA 13 - SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM MÉDICA (BUEMI ET AL, 2004) .....                                                                                                                                                                                                           | 14 |
| FIGURA 14 - IMAGEM OBTIDA DO DISCO DE COLETA .....                                                                                                                                                                                                                           | 15 |
| FIGURA 15 - ETAPAS PARA A SEGMENTAÇÃO DAS PARTÍCULAS USANDO <i>WATERSHED</i> .....                                                                                                                                                                                           | 15 |
| FIGURA 16 - IMAGEM DE ENTRADA USADA NA SEGMENTAÇÃO .....                                                                                                                                                                                                                     | 16 |
| FIGURA 17 - IMAGEM DE ENTRADA USADA NA SEGMENTAÇÃO (A) E O RESULTADO DA SEGMENTAÇÃO SEM O USO<br>DE MARCADORES (B) .....                                                                                                                                                     | 17 |

## 1 Introdução

O objetivo do presente relatório é realizar o levantamento bibliográfico referente à Transformada *Watershed*. Além disso, exemplificar a aplicação da mesma em diferentes problemas, especialmente no problema de separação de objetos sobrepostos e conexos existentes em uma imagem.

Segmentação de imagens é um processo complexo que ainda não foi completamente solucionado (Beucher, 1982). Tal complexidade é dada ao fato de a segmentação tentar traduzir para o computador um processo cognitivo extremamente sofisticado, realizado através da visão humana. Ao se observar o mecanismo de segmentação humano, percebe-se que para cada situação e cena o cérebro é capaz de segmentar um determinado elemento. Isso ocorre, por exemplo, quando se lê uma história em quadrinhos e a atenção tende a se concentrar apenas no quadrinho atual, segmentando-o dos demais. Outro exemplo, é quando se assiste a um programa de televisão, mesmo imperceptível, nossa atenção fica basicamente concentrada nas pessoas que o estão apresentando, segmentando-as do restante da imagem. Para separar um elemento de uma imagem ou de uma cena via computador, algumas dificuldades são encontradas e a tarefa que parece ser tão simples para a visão humana torna-se complexa e delicada e ainda sujeita a erros.

O princípio da segmentação foi introduzido no início do século XX por alguns psicólogos alemães, dentre eles Khler, Wertheimer e Koffka (Facon, 1993). Eles mostraram que o sistema de visão humana realiza agrupamentos baseados na proximidade, similaridade e continuidade das imagens captadas. Tais agrupamentos são utilizados na classificação e análise semântica dos objetos percebidos. Essa idéia foi estendida para o contexto computacional e deu origem aos primeiros algoritmos de segmentação de imagens.

O processo de segmentação baseia-se em três principais conceitos: (a) detecção de descontinuidades, (b) crescimento de regiões e (c) limiarização. Cada uma das abordagens possui vantagens e também desvantagens, sejam quanto à velocidade ou necessidade de pós-processamento. A abordagem a ser discutida neste relatório se baseia no conceito de *watershed* morfológico. A segmentação por *watershed* envolve muito dos conceitos das outras três abordagens e, freqüentemente, produz um resultado mais estável (Gonzalez e Woods, 2002).

### 1.1 Segmentação por detecção de descontinuidades

Na segmentação por detecção de descontinuidades, as bordas das regiões homogêneas são extraídas gerando-se um mapa de bordas. Essas bordas caracterizam os contornos dos objetos, ou seja, as transições entre objetos diferentes ou entre objetos e o fundo da imagem.

Os algoritmos de segmentação referentes a essa abordagem geralmente se baseiam na descontinuidade de valores de níveis de cinza. Dessa maneira, a imagem é particionada em função das mudanças bruscas que ocorrem entre esses valores.

Esse método não apresenta bons resultados em algumas aplicações. Isso ocorre por causa da presença de interrupções nas bordas, as quais permitem que duas regiões diferentes sejam agregadas. Além disso, essa abordagem é sensível às variações locais dos níveis de cinza, aos ruídos e à não uniformidade da iluminação, gerando, por esse motivo, contornos abertos. Em razão disso, os algoritmos de detecção de bordas tipicamente são seguidos de alguns procedimentos para construir os contornos fechando as lacunas existentes (Gonzalez e Woods, 2002). Na Figura 1 é mostrado a detecção das bordas de uma imagem. É possível observar nessa figura os contornos detectados com um operador de gradiente.

## 1.2 Segmentação por crescimento de regiões

A técnica por crescimento de regiões é um processo iterativo em que as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas segundo algum critério de similaridade. Esse critério pode ser definido e a partir dele divide-se a imagem em um número de regiões homogêneas. Cada região é identificada por um rótulo, tendo como resultado final do processo de segmentação uma imagem rotulada (Gonzalez e Woods, 2002).

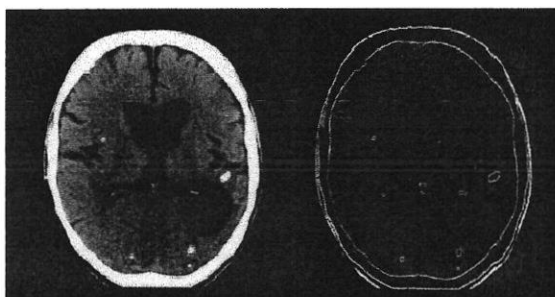


Figura 1 - Detecção de bordas através do operador de gradiente

Os algoritmos de segmentação dessa abordagem geralmente se baseiam na propriedade de similaridade dos valores de níveis de cinza, como apresentado na Figura 2. De maneira simplificada, o processo pode ser descrito pelos seguintes passos:

1. A imagem é particionada em células padrões (um ou mais pontos).
2. Cada célula padrão é comparada com as suas células vizinhas para determinar se elas são similares. Para isso, usa-se uma medida de similaridade definida previamente. Se elas são similares, as células são agrupadas para formar um segmento e as propriedades usadas na comparação são atualizadas.

3. O processo de crescimento continua examinando todos os vizinhos de um determinado segmento até que não existam mais regiões que possam ser agrupadas a ele. Nesse caso, o segmento é rotulado como uma região completa.
4. A próxima célula não completa é então processada repetindo os passos anteriores até que todas as células sejam rotuladas.

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 50  | 51  | 50  | 102 |
| 51  | 49  | 50  | 102 |
| 240 | 240 | 102 | 102 |
| 241 | 240 | 103 | 103 |

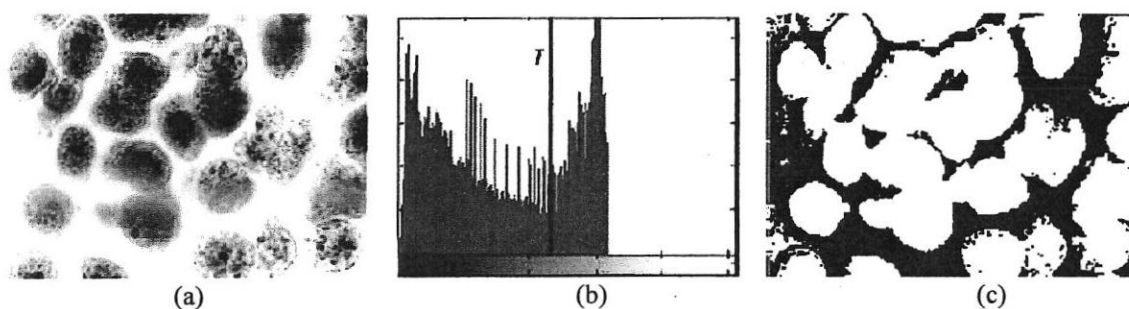
|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 50  | 51  | 50  | 102 |
| 51  | 49  | 50  | 102 |
| 240 | 240 | 102 | 102 |
| 241 | 240 | 103 | 103 |

**Figura 2 - Representação de Segmentação por Crescimento de Região**

Esse método é bastante simples e efetivo em várias aplicações, sua principal desvantagem são os erros nos contornos das regiões, onde os pontos de borda podem ser agregados a uma das regiões vizinhas aleatoriamente.

### 1.3 Limiarização

O processo de limiarização consiste na separação de uma imagem em diferentes regiões de acordo com a distribuição de níveis de cinza. Nesse método, o valor de cada ponto é comparado a um limiar definido por meio da análise do histograma de níveis de cinza da imagem (Weeks,1996). Uma vez definido o limiar, é possível determinar dois grupos: o fundo da imagem e os objetos contidos nela, onde os pontos com intensidade menor que o limiar definido são considerados parte do fundo da imagem, e os demais são considerados parte dos objetos. Uma imagem limiarizada  $g(x, y)$  é definida como  $g(x, y) = 1$  se  $f(x, y) > T$  e  $g(x, y) = 0$  se  $f(x, y) \leq T$ , sendo  $T$  o limiar selecionado. Os pontos rotulados com o valor 1 correspondem ao objeto, enquanto os rotulados com 0 correspondem ao fundo da imagem. Na Figura 3 é mostrado o histograma, o limiar  $T$  selecionado e a imagem limiarizada.



**Figura 3 - Limiarização: imagem original em tons de cinza (a), histograma com T definido (b) e imagem limiarizada (c)**

A limiarização é um método simples e bastante intuitivo de segmentação. Esse método se torna fácil se os níveis de cinza que definem o objeto forem distintos dos níveis que compõem o fundo da imagem. Em uma imagem complexa, os níveis de cinza nem sempre estão bem definidos para ambas as partes, dificultando a seleção de um limiar ideal. Há na literatura métodos que mediante análise prévia do histograma determinam automaticamente esse limiar. Dentre os métodos se pode citar Otsu, Seleção Iterativa, Média, Pun, entre outros (Sahoo, 1988).

## 2 Transformada *Watershed* (Divisor de Águas)

A Transformada *Watershed* pode ser classificada como uma abordagem de segmentação baseada em regiões (Roerdink e Meijster, 2001). *Watersheds* são um dos clássicos na área de topografia e a idéia principal consiste em preencher um relevo topográfico com água, de forma que a superfície seja dividida em regiões devido aos domínios de atração exercida em cada região (Vincent e Soille, 1991). Um exemplo clássico é a *great divide* ou *continental divide* que separa os EUA em duas regiões. Na Figura 4 é mostrado um mapa com a delimitação das regiões formadas pelo *great divide*. A superfície é dividida por uma linha, onde os rios, de um lado, fluem para o oceano Pacífico e do outro, fluem para o oceano Atlântico. Essa divisão é chamada de linha de partição (*watershed line*) e as duas regiões são chamadas de bacias de captação (*catchment basin*), que nesse exemplo são formadas pelos oceanos Pacífico e Atlântico.

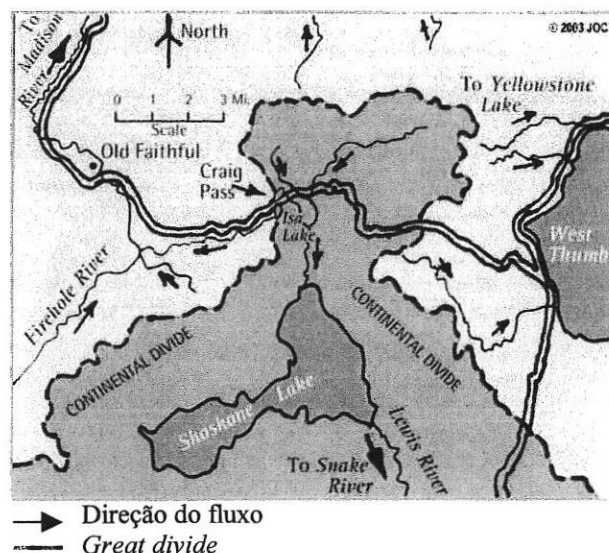


Figura 4 - Mapa representando parte da *great divide*

Na área de processamento de imagens, particularmente em Morfologia Matemática, as imagens em níveis de cinza (*grayscale*) são freqüentemente consideradas como relevos topográficos, onde a intensidade de cada ponto da imagem equivale a elevações da superfície

(Vincent e Soille, 1991). Em uma imagem se pode encontrar partes que se assemelham a vales e outras a montanhas. Quando chove, à medida que a água vai enchendo os vales e formando as poças, elas podem acabar juntando-se a outras poças de vales vizinhos (Hirata, 1997). A partir dessa analogia alguns termos, ilustrados na Figura 6, podem ser definidos como:

- **Bacia de captação** (*catchment basin*): nome dado aos vales onde se acumula a água.
- **Linha divisória** (*watershed line*): lugar geométrico formado pelos pontos onde a junção das águas. Esses pontos se comportam como diques, os quais são construídos para não permitirem que as águas de vales diferentes se misturem.
- **Mínimos locais**: ponto ou conjunto de pontos iguais, com menor altitude em cada vale, ou seja, conjunto de pontos de certa altitude cercados por paredes laterais maiores. Uma outra definição dada é a de que um mínimo local é o ponto para onde todas as gotas d'água convergem ao deslizarem pela parede íngreme de um determinado vale. Isso é melhor representado na Figura 5, onde os mínimos locais são identificados pelas duas circunferências maiores e o caminho percorrido pelas gotas d'água pelas setas.

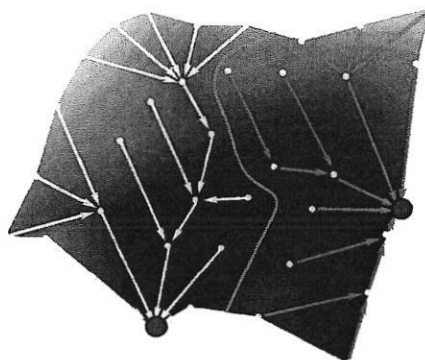


Figura 5 - Representação do Mínimo Local para duas regiões da superfície

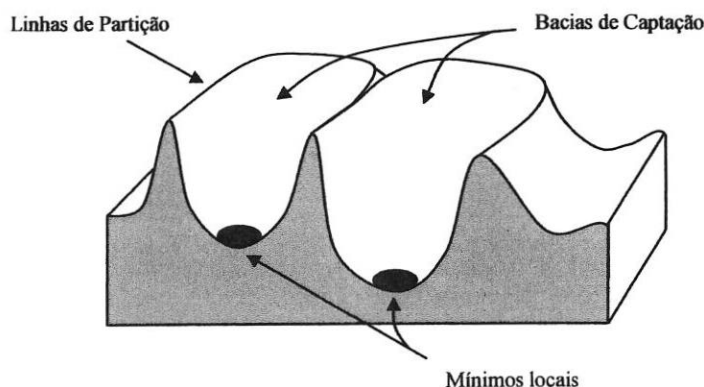


Figura 6 – Representação dos mínimos locais, linhas de partição e bacias de captação. Adaptado de Vincent e Soille (1991)

## 2.1 Processo de Imersão

Essa abordagem pode ser considerada como uma definição algorítmica, segundo Vincent e Soille (1991), por ser aplicável na implementação prática. Para isso, considera-se que em cada região mínima exista uma perfuração, uma vez que a imagem está sendo tratada como uma superfície topográfica.

Essa superfície é imersa lentamente em um lago, e iniciando-se pelo ponto mínimo de menor altitude, a água vai progressivamente enchendo as diferentes bacias de captação. Nos pontos onde ocorrem os encontros de águas de bacias diferentes são construídos os diques, e ao final do processo de imersão, cada mínimo estará completamente cercado por diques, os quais delimitarão as diferentes bacias de captação. Na Figura 7 é mostrado o processo de imersão da superfície definido por essa abordagem.

## 2.2 Construção das linhas divisórias

A construção dos “diques” se baseia em imagens binárias, que são membros do espaço bidimensional ( $Z^2$ ). A maneira mais simples de construir um dique para separar os conjuntos de pontos binários é usando a dilatação morfológica. A idéia básica de como os diques são construídos por dilatação é mostrada na Figura 8. Na Figura 8(a) as bacias de captação estão no estágio  $n-1$  e na Figura 8(b) é mostrado o resultado da imersão no passo  $n$ . As águas das duas bacias de captação se encontraram, e, quando isso ocorre, um dique deve ser construído. Formalmente,  $M_1$  e  $M_2$  denotam os conjuntos das coordenadas dos pontos das duas regiões mínimas e  $C_{n-1}(M_1)$  e  $C_{n-1}(M_2)$  denotam os conjuntos dos pontos das bacias de captação associadas com as regiões mínimas no estágio  $n-1$  do preenchimento (imersão) mostrado na Figura 8.

A união desses dois conjuntos é denotada por  $C[n-1]$ . Existem duas componentes conexas na Figura 8 (a) e apenas uma na Figura 8 (b). O fato de duas componentes ter se tornado uma única componente indica que as águas das duas bacias de captação se misturaram no estágio  $n$  da imersão. Essa componente é denotada por  $q$ . Note que as duas componentes do estágio  $n-1$  podem ser extraídas a partir de  $q$  aplicando-se uma simples operação *AND*, ou seja,  $q \cap C[n-1]$ .

O processo de imersão é dado por uma operação de dilatação, o qual está sujeito a duas condições: (1) A dilatação deve estar limitada à  $q$  (ocorre somente nos pontos pertencentes à  $q$  durante a dilatação) e (2) a dilatação não pode ser efetuada nos pontos que ao serem dilatados resultem na junção de duas componentes.

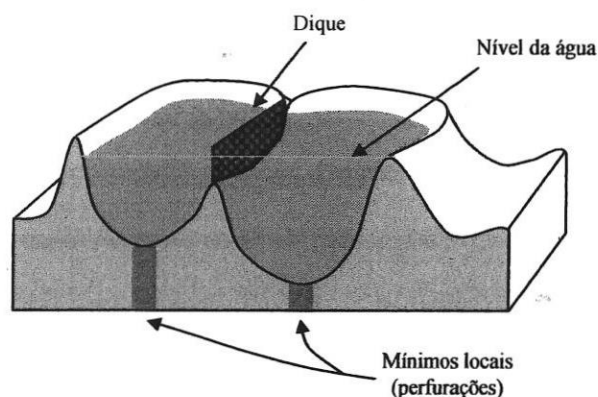


Figura 7 - Representação do processo de imersão. Adaptado de Vincent e Soille (1991).

Em Gonzalez e Woods (2002) é apresentado um exemplo com base no processo de dilatação: Na Figura 8(c), considerando o primeiro passo da dilatação (cinza claro), observa-se que a condição 1 é satisfeita e a condição 2 não é aplicada em nenhum dos pontos, sendo a fronteira expandida uniformemente. Na segunda dilatação (cinza escuro) muitos pontos falham na condição 1 por causa da condição 2, resultando na interrupção da dilatação para aqueles pontos. Dessa maneira, uma linha é constituída, com a qual se tem a separação desejada no estágio  $n$  da imersão. A construção do dique é concluída, dando aos pontos pertencentes à linha divisória o valor máximo dos níveis de cinza da imagem. Isso impede que a água ultrapasse o dique construído num próximo estágio da imersão. Uma importante característica é que os diques construídos por esse processo são componentes conexas, eliminando problemas com linhas de segmentação quebradas.

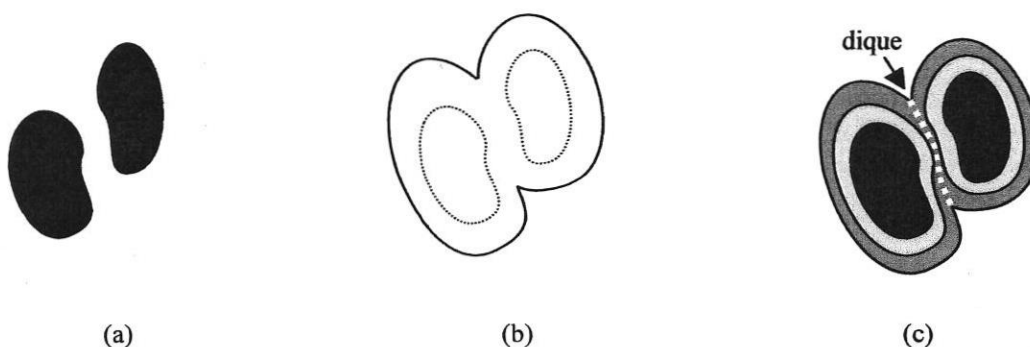


Figura 8 – Estágios do processo de preenchimento: duas bacias de captação no estágio  $n-1$  de preenchimento (a); preenchimento no estágio  $n$ , mostrando a água misturada entre as bacias (b) e o resultado da dilatação e da construção do dique (c)

### 2.3 Algoritmo

Considere  $M_1, M_2, \dots, M_R$  os conjuntos denotando as coordenadas de pontos das regiões mínimas de uma imagem  $g(x,y)$  e  $C(M_i)$  denotando o conjunto das coordenadas dos pontos pertencentes à bacia de captação associada à região mínima  $M_i$ . A notação *min* e *max* são usadas para denotar os valores mínimos e máximos de  $g(x,y)$ , respectivamente. Finalmente,

$T[n]$  representa o conjunto de coordenadas  $(s,t)$  em que  $g(s,t) < n$ . Geometricamente,  $T[n]$  é o conjunto de coordenadas de pontos em  $g(x,y)$  abaixo do plano  $g(x,y) = n$ .

A topografia é preenchida em incrementos inteiros, de  $n=\min+1$  até  $n=\max+1$ . Em qualquer passo  $n$  do preenchimento, o algoritmo precisa saber quais os pontos já foram preenchidos. Para facilitar o entendimento, considere a região já preenchida os pontos em preto de uma imagem binária, os quais correspondem aos pontos abaixo do plano  $g(x,y) = n$ . Considere também que  $C_n(M_i)$  denota o conjunto dos pontos associados à bacia de captação  $M_i$  preenchida até o estágio  $n$ .  $C_n(M_i)$  também pode ser visto como a imagem binária dada por  $C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n]$ . Em outras palavras,  $C_n(M_i)=1$  na coordenada  $(x,y)$  se  $(x,y) \in C(M_i)$  AND  $(x,y) \in T[n]$ ; caso contrário,  $C_n(M_i)=0$ . O operador AND está sendo usado para isolar, no estágio  $n$  de preenchimento, a porção da imagem binária em  $T[n]$  associada à região mínima  $M_i$ .

Em seguida,  $C[n]$  denota a união das porções preenchidas das bacias de captação no estágio  $n$ , isto é,

$$C[n] = \bigcup_{i=1}^R C_n(M_i).$$

Então,  $C[\max+1]$  é a união de todas as bacias de captação, ou seja,

$$C[\max+1] = \bigcup_{i=1}^R C(M_i).$$

Isso mostra que os elementos em  $C_n(M_i)$  e  $T[n]$  não se sobrepõem durante a execução do algoritmo e que o número de elementos nesses dois conjuntos ou aumentam ou permanecem o mesmo quando o  $n$  é incrementado. Assim,  $C[n-1]$  é um subconjunto de  $C[n]$ , que é um importante resultado, visto que cada componente conexa de  $C[n-1]$  está contida em exatamente uma componente conexa de  $T[n]$ .

O algoritmo para encontrar as linhas divisórias é inicializado com  $C[\min+1] = T[\min+1]$ . O mesmo procede recursivamente assumindo no estágio  $n$  que  $C[n-1]$  foi construído. Dado que  $Q$  denota o conjunto de componentes conexas em  $T[n]$ , então, para cada componente conexa  $q \in Q[n]$  há três possibilidades:

- a)  $q \cap C[n-1]$  é vazio.
- b)  $q \cap C[n-1]$  contém um componente conectado de  $C[n-1]$ .
- c)  $q \cap C[n-1]$  contém mais do que um componente conectado de  $C[n-1]$ .

A construção de  $C[n]$  a partir de  $C[n-1]$  depende de que uma dessas três condições seja válida. A condição (a) ocorre quando um novo mínimo é encontrado, e neste caso o componente conectado  $q$  é incorporado a  $C[n-1]$  para formar  $C[n]$ . A condição (b) ocorre quando  $q$  fica dentro da bacia de captação de algumas regiões mínima, e que nesse caso  $q$  é

incorporado a  $C[n-1]$  para formar  $C[n]$ . A condição (c) ocorre quando é encontrado um topo, ou parte dele, separando duas ou mais bacias de captação. O próximo estágio do preenchimento causaria a mistura das águas e, por isso, um dique deve ser construído nesse estágio.

A eficiência do algoritmo é melhorada usando apenas valores de  $n$  que correspondem aos níveis de cinza existentes em  $g(x,y)$ . Esses valores, bem como os valores de *min* e *max* podem ser obtidos a partir do histograma de  $g(x,y)$ . Um algoritmo eficiente é apresentado por Vincent e Soille (1991), o qual se baseia na ordenação crescente das intensidades dos pontos da imagem seguida dos estágios de preenchimento, os quais consistem em uma rápida varredura de todos os pontos na ordem dada pela escala de cinza. Durante a etapa de ordenação, um histograma é construído. Simultaneamente, uma lista de ponteiros para os pontos de nível de cinza  $n$  é criada e associada a cada intensidade no histograma, permitindo um acesso direto a todos os pontos de qualquer nível de cinza. Suponha que o preenchimento tenha sido efetuado até um nível  $n$ . Todos os pontos com intensidade menor ou igual a  $n$  terão sido associado a uma bacia de captação (rótulo de uma região mínima). Em seguida, os pontos de intensidade  $n+1$  deverão ser processados (Sonka et al, 1999).

A aplicação direta do algoritmo de segmentação, no entanto, leva geralmente a supersegmentação por causa de ruídos e outras irregularidades locais. Uma abordagem para contornar esse problema baseia-se no conceito de marcadores. Um marcador é uma componente conexa pertencente a uma imagem. Existem marcadores internos, associados aos objetos de interesse, e externos, associados ao fundo da imagem. A definição dos mesmos envolve dois passos: (1) pré-processamento; e (2) a definição de um conjunto de critérios que os marcadores devam satisfazer (Gonzalez e Woods, 2002). Na Figura 9 são mostrados dois exemplos, um de supersegmentação (b) e outro usando marcadores (c e d).

As etapas do processo de segmentação são mostrados na Figura 10, onde a partir da imagem original obtém-se o mapa de distâncias, aplicando a Transformada da Distância Euclidiana (Costa e Cesar, 2000; Saito e Toriwaki, 1994). Considerando imagem como uma topografia, se define, em seguida, os mínimos locais e após o processo de imersão se obtém as linhas divisórias, as quais permitem a segregação dos objetos de interesse contidos na imagem

### 3 Algumas Aplicações

A *watershed* constitui uma das mais poderosas ferramentas de segmentação fornecidas pela morfologia matemática (Vincent e Soille, 1991). Existem muitas outras aplicações que utilizam essa abordagem, porém na maioria das vezes ela é aplicada juntamente com outras técnicas, como a transformada da distância e gradientes. Cada uma dessas combinações é

realizada para solucionar um caso em particular. Em processamento de imagens, um dos grandes problemas está em encontrar uma solução ótima que atenda a todos os casos. O que se tem atualmente é uma série de técnicas que combinadas oferecem soluções para aplicações específicas.

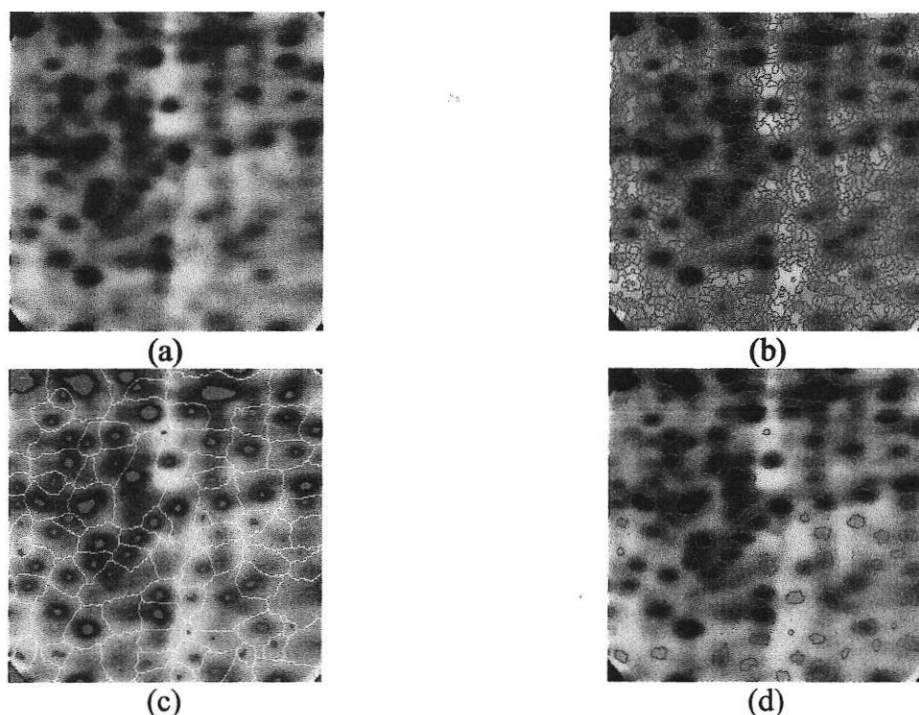


Figura 9 - Exemplo de supersegmentação e do uso de marcadores para contornar tal problema

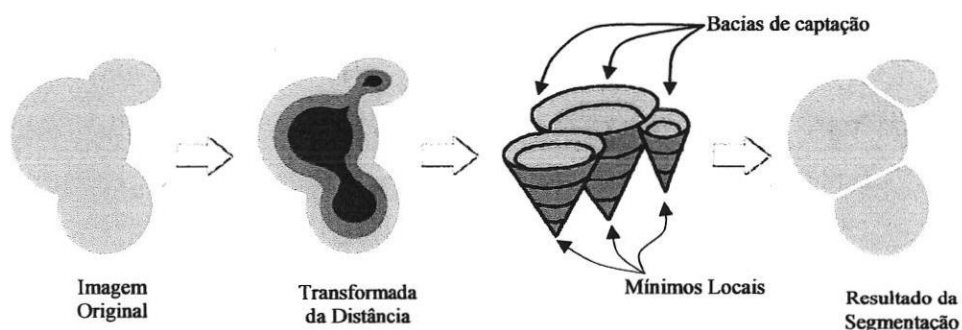


Figura 10 - Processo de segmentação. Adaptado de Vincent e Soille (1991)

Dentre as possíveis aplicações que utilizam a *watershed*, tem-se a separação de objetos sobrepostos ou conexos. Em alguns casos pode-se estar interessados em separar objetos que aparecem sobrepostos em uma imagem como, por exemplo, ter interesse na contagem de células sanguíneas (Figura 11), separação e contagem de grãos (Figura 12). Há também aplicações em análise de imagens médicas, obtidas por meio de tomografia computadorizada e ressonância magnética (Figura 13).

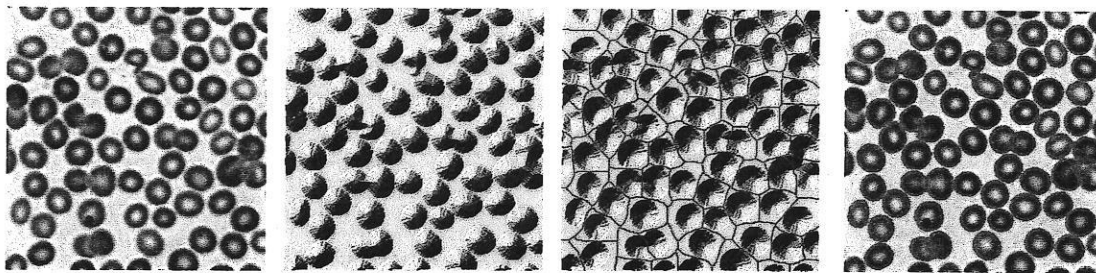


Figura 11 - Separação de células sobrepostas ([http:// www.mmorph.com/cppmorph/](http://www.mmorph.com/cppmorph/))

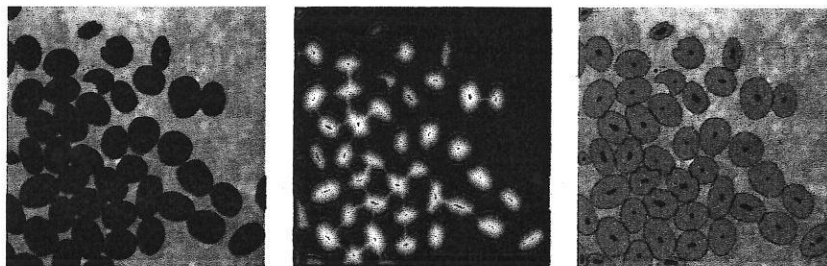


Figura 12 - Segmentação de grãos (Beucher, 2004)

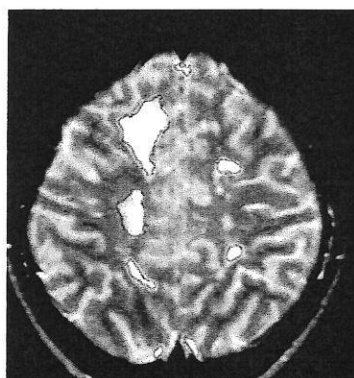
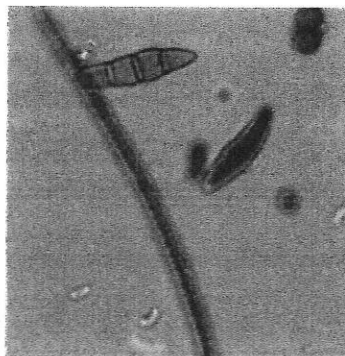


Figura 13 - Segmentação de imagem médica (Buemi et al, 2004)

### 3.1 *Watershed* aplicada na segmentação de partículas

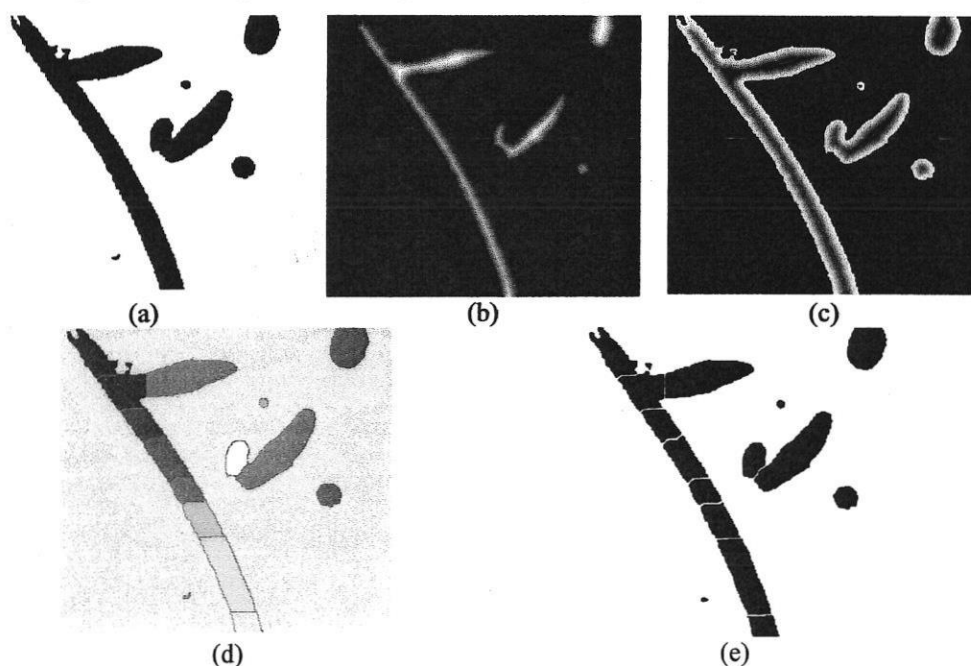
Essa subseção tem por objetivo descrever as etapas do processo de segmentação para as imagens obtidas a partir dos discos de coletas dos pomares. Essas imagens estão relacionadas ao projeto de identificação dos esporos do fungo *Guignardia citricarpa*, causador da mancha preta em citros. O estudo dessa técnica fez-se necessário devido ao processo de limiarização não segmentar partículas que se apresentem sobrepostas ou conexas.

A abordagem utilizada nesse estudo de caso é a apresentada por Vincent e Soille (1991), a qual consiste na utilização da transformada *Watershed* juntamente com a Transformada da Distância Euclidiana (Costa e Cesar, 2000; Saito e Toriwaki, 1994) a fim de dar à imagem uma representação topológica. Na Figura 15 são apresentados os passos para a segmentação da imagem adquirida dos discos de coleta (Figura 14).



**Figura 14 - Imagem obtida do disco de coleta**

Primeiramente, a imagem é binarizada e submetida a um filtro morfológico (Gonzalez e Woods, 2002) para a eliminação de ruídos, lacunas e também suavização da borda das partículas (Figura 15(a)). Em seguida é aplicado sobre a imagem binarizada a Transformada da Distância Euclidiana, a partir da qual dá-se a figura uma representação topográfica (Figura 15(b)). É a partir dessa representação que são identificadas as regiões mínimas, as quais são definidas como marcadores (Figura 15(c)). O processo de imersão é aplicado e as linhas divisórias são encontradas (Figura 15(d)), cujas regiões segmentadas são apresentadas com diferentes cores. Com uma operação AND entre a imagem binarizada e as linhas de partição obtêm-se a imagem com as partículas segmentadas (Figura 15(e)).



**Figura 15 - Etapas para a segmentação das partículas usando *watershed***

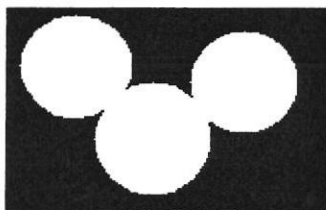
### 3.2 *Watershed* usando MATLAB

Testes podem ser efetuados usando a *toolbox* de Processamento de Imagens do MATLAB. Nessa *toolbox*, um conjunto de funções permite o rápido desenvolvimento de

algoritmos para a aplicação do método, no qual é usada uma variação do algoritmo apresentado por Vincent e Soille (1991), que se baseia no princípio de imersão.

A principal função é a `watershed()` que calcula a matriz de rótulos que identificam as diferentes regiões da imagem de entrada. A matriz retornada por essa função apresenta valores inteiros maiores ou iguais a 0, sendo que os elementos com valores 0 representam as linhas de partição e os demais valores (1, 2, 3 ...) representam as respectivas regiões determinadas pelo algoritmo.

Um exemplo do uso da função `watershed()` aplicado a imagens 2D é apresentado a seguir. Esse exemplo é baseado no material disponibilizado pela própria *The Mathworks* (Mathworks, 2004). A Figura 16 apresenta a imagem 2D a ser considerada na demonstração.

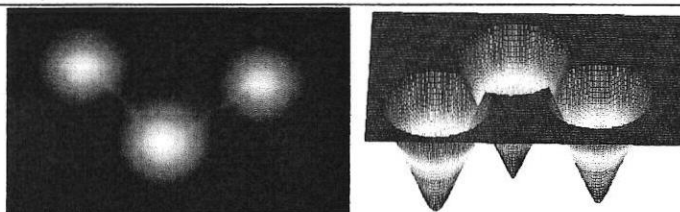


**Figura 16 - Imagem de entrada usada na segmentação**

Os principais passos, seguindo a abordagem de Vincent e Soille (1991), são:

1. Calcular a Transformada da Distância. Para isso, a função `bwdist()` é usada.

```
% Carregar imagem balls.
balls = im2bw(imread('balls.bmp'));
Dist = bwdist(~balls);
imshow(Dist, [], 'n'), title('Transformada da Distância');
Dist = -Dist;
```



Transformada da distância da imagem `balls`, considerando o negativo da mesma para obter o efeito de relevo (vales), como apresentado na figura ao lado.

2. Complementando a Transformada da distância, todos os elementos da imagem que não fizerem parte dos objetos são substituídos por `-Inf`.

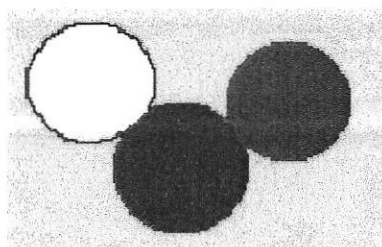
```
% Atribui -Inf para os elementos que não pertencem ao objeto.
Dist(~balls) = -Inf;
```

Todos os elementos na imagem iguais a 0 (zero) são substituídos por um valor negativo, no caso, por `-Inf` (representação aritmética para Infinito

negativo). Esses elementos serão desconsiderados durante a aplicação da Transformada *Watershed*.

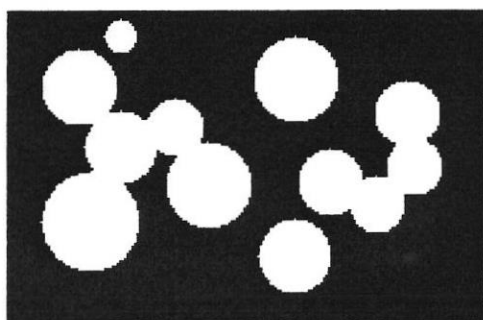
### 3. Calcula-se a Transformada *Watershed*.

```
% Aplica-se a Watershed.
W = watershed(Dist);
Im_color = label2rgb(W,'jet',[.5 .5 .5]);
figure, imshow(Im_color,'n'), title('Resultado da Watershed');
```

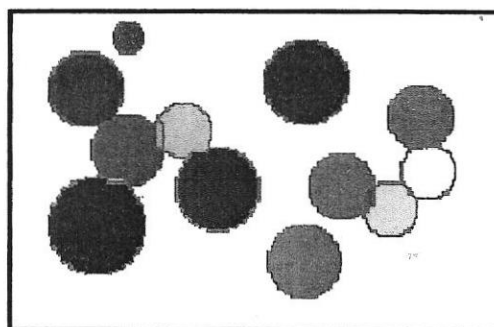


Cada região é representada por uma coloração diferente, podendo ser observada a separação dos três objetos contidos na imagem de entrada, sendo as linhas em vermelho as linhas de partição.

Neste exemplo, pode ser observado que a idéia de marcadores não foi aplicada, o que faz com que problemas como a supersegmentação possam ocorrer. A seguir, um exemplo com a definição de marcadores é apresentado. Apenas serão acrescentados alguns passos à abordagem apresentada anteriormente, entretanto, uma outra imagem será utilizada (Figura 17(a)). Na segmentação dessa imagem sem o uso de marcadores ocorreram alguns erros, como pode ser observado na Figura 17(b).



(a)

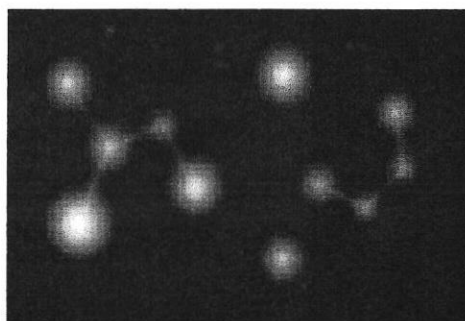


(b)

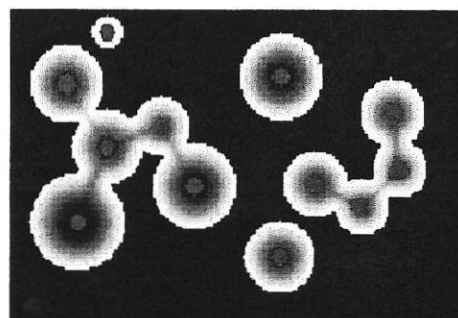
**Figura 17 - Imagem de entrada usada na segmentação (a) e o resultado da segmentação sem o uso de marcadores (b)**

Depois de carregada a imagem e obtida a Transformada da distância (passo 1), efetua-se a definição das regiões mínimas, usando-se a função `imextendedmin()`.

```
% Define as regiões inferiores ao limiar, nesse caso, 3.
Dist = -Dist;
Reg_Min = imextendedmin(Dist,3);
Dist_M = imimposemin(Dist,Reg_Min);
Dist_M(~balls)=-Inf;
imshow(Dist_M,[],'n');
```



Transformada da distância

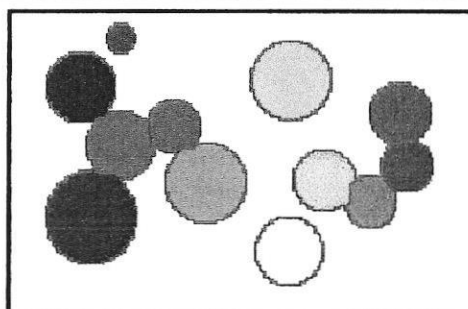


Marcadores selecionados

As regiões mínimas obtidas com a função `imextendedmin()` estão apresentadas em vermelho. Essas regiões serão usadas como marcadores, os quais indicarão as regiões a serem consideradas pela Transformada *Watershed*. Para isso, faz-se necessário o uso da função `imimposemin()` que irá alterar a matriz `Dist`, substituindo os elementos que pertencem às regiões mínimas (definidas em `Reg_Min`) por 0 (zero).

Em seguida, aplica-se a função `watershed()` sobre a matriz com os marcadores, para a separação dos objetos.

```
% Aplica-se a Watershed.
W = watershed(Dist_M);
Im_color = label2rgb(W, 'jet', [.5 .5 .5]);
figure, imshow(Im_color, 'n'), title('Watershed c/ Marcadores');
```



#### 4 Conclusão

O presente relatório teve como objetivo apresentar a Transformada *Watershed* aplicada à segmentação de partículas. Esse método é bastante robusto. Entretanto, no caso de segmentação de formas irregulares, por exemplo, o resultado nem sempre é o esperado.

A aplicação mais difundida da Transformada *Watershed* é a separação de objetos, no entanto, a técnica pode ser adaptada para outros problemas de processamento e análise de imagens, como por exemplo segmentação e detecção de bordas.

## 5 Referências Bibliográficas

BEUCHER, S.; MEYER, F. *Image Analysis and mathematical Morphology*. London Academic Press, 1982. v.1, p.433-481.

BEUCHER, S. *Image Segmentation and Mathematical Morphology: The Watershed Transformation*. Disponível em: <http://cmm.ensmp.fr/~beucher/wtshed.html>. Acessado em 05/04/2004.

BUEMI, A. V. E.; GALLO, G.; SPINELLO, S. *Fast Segmentation using Fuzzy Connectedness and Watershed Decomposition*. Disponível em: <http://www.dmi.unict.it/~anile/FuzzyArith/home/paper7.htm>. Acessado em (01/07/2004).

COSTA, L. F.; CESAR, Jr, R. M. *Shape analysis and classification: theory and practice*. CRC Press, 2000. 659 pgs.

COSTA, L. F.; ESTROZI, L. F. *The Scale Space Skeletonization Page*. (01/12/1999) Disponível em: <http://cyvision.if.sc.usp.br/msskeletons/>. (06/06/2003).

FACON, J. Processamento e análise de imagens. In: ESCUELA BRASILEÑO ARGENTINA DE INFORMATICA, 6., Córdoba, 1993. *Anais...* Córdoba.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital image processing*. 2ª ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 793 pgs.

HIRATA JR, R. *Segmentação de imagens por morfologia matemática* 1997. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MATHWORKS, The. *Image Processing Toolbox User's Guide (Printable Documentation in PDF)*. (01/08/2004) Disponível em: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/> (27/09/2004).

ROERDINK, B.T.M.; MEIJSTER, A. *The Watershed transform: Definitions, algorithms and parallelization strategies*, *Fundamenta Informaticae*, 41, 2000, p.187-228

SAHOO, P. K.; SOLTANI, S.; WONG, A. K. C.; CHEN, Y. C. *A survey of thresholding techniques*. *Comput. Vision Graph. Image Process.*, 41, no. 2, 1988, p. 233–260.

SAITO, T.; TORIWAKI, J. I. *New Algorithms for Euclidean Distance Transformation of an n-Dimensional Digitized Picture with applications*. *Pattern Recognition*, v.27, n.11, p.1551-1565, 1994.

SANTOS, V. T. *Segmentação de imagens mamográficas para detecção de nódulos em mamas densas*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. *Image processing, analysis, and machine vision*. 2 ed.. Pacific Grove: Brooks Cole, 1999. 770 pgs.

VINCENT, L.; SOILLE, P. *Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13, 1991, no. 6, p.583-598.

WEEKS, Jr, A. R. *Fundamentals of electronic image processing*. SPIE/IEEE Press, 1996. 570 pgs.