

Departamento de Sistemas e Computação – FURB
Curso de Ciência da Computação
Trabalho de Conclusão de Curso – 2013/2

UBER: Uma ferramenta para realce de microcalcificações mamárias

Acadêmico: Jackson Krause

Jackson.kra@gmail.com

Orientador: Prof. Aurélio Hoppe

aurelio.hoppe@gmail.com

<http://www.inf.furb.br/~aurelio/>

Grupo de Pesquisa em Computação
Gráfica, Processamento de Imagens e
Entretenimento Digital
<http://www.inf.furb.br/gcg>



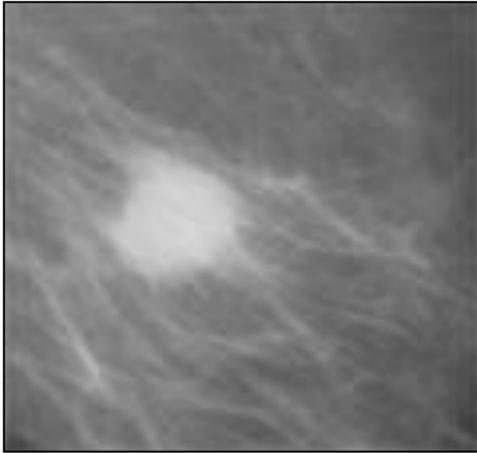
Roteiro

- Motivação
- Trabalhos relacionados
- Trabalho proposto
- Requisitos
- Desenvolvimento
- Experimentos
- Conclusão
- Limitações
- Extensões
- Demonstração

Motivação

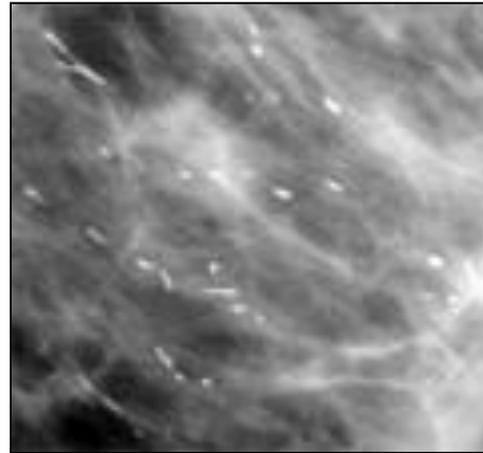
- Estima-se que o número de casos de câncer no mundo aumentará 75% até 2030
- Um dos principais órgãos afetados pelo câncer é a mama, onde na maioria dos casos atinge as mulheres
- A Mamografia de Alta Resolução é o único método capaz de detectar precocemente as malignidades, aumentando a chance de cura.
- Sistemas para análise de mamografias possuem um custo muito elevado e são vendidos acoplados a equipamentos médicos, tornando inviável a aplicação, principalmente se tratando do caso de saúde pública.

Motivação



Nódulo mamário

Microcalcificações



Trabalhos relacionados

características / trabalhos relacionados	Mascaro (2007)	Pereira (2009)	Henrique Neto, Ribeiro, Valeri (2004)
Utilização de redes neurais	Sim	-	-
Pré-processamento (separação entre filme e mama)	Sim	Sim	-
Ambiente de programação (software)	MatLab	MatLab 6.1	C++ Builder 5.0
Utilização de informações multivisão (CC e MLO)	-	Sim	-
Algoritmos utilizados no processamento	Histograma da soma, LBP, GLCM, SOM e K-Médias	Wavelet Coiflet, algoritmo genético	Limiarização, contraste, negativo e region growing
Origem das amostras testadas	Mini MIAS - MiniMammographic Database	DDSM (Digital Database for Screening Mammography)	Scanner

Trabalho proposto

Desenvolver uma ferramenta capaz de realçar microcalcificações mamárias em imagens mamográficas.

Objetivos:

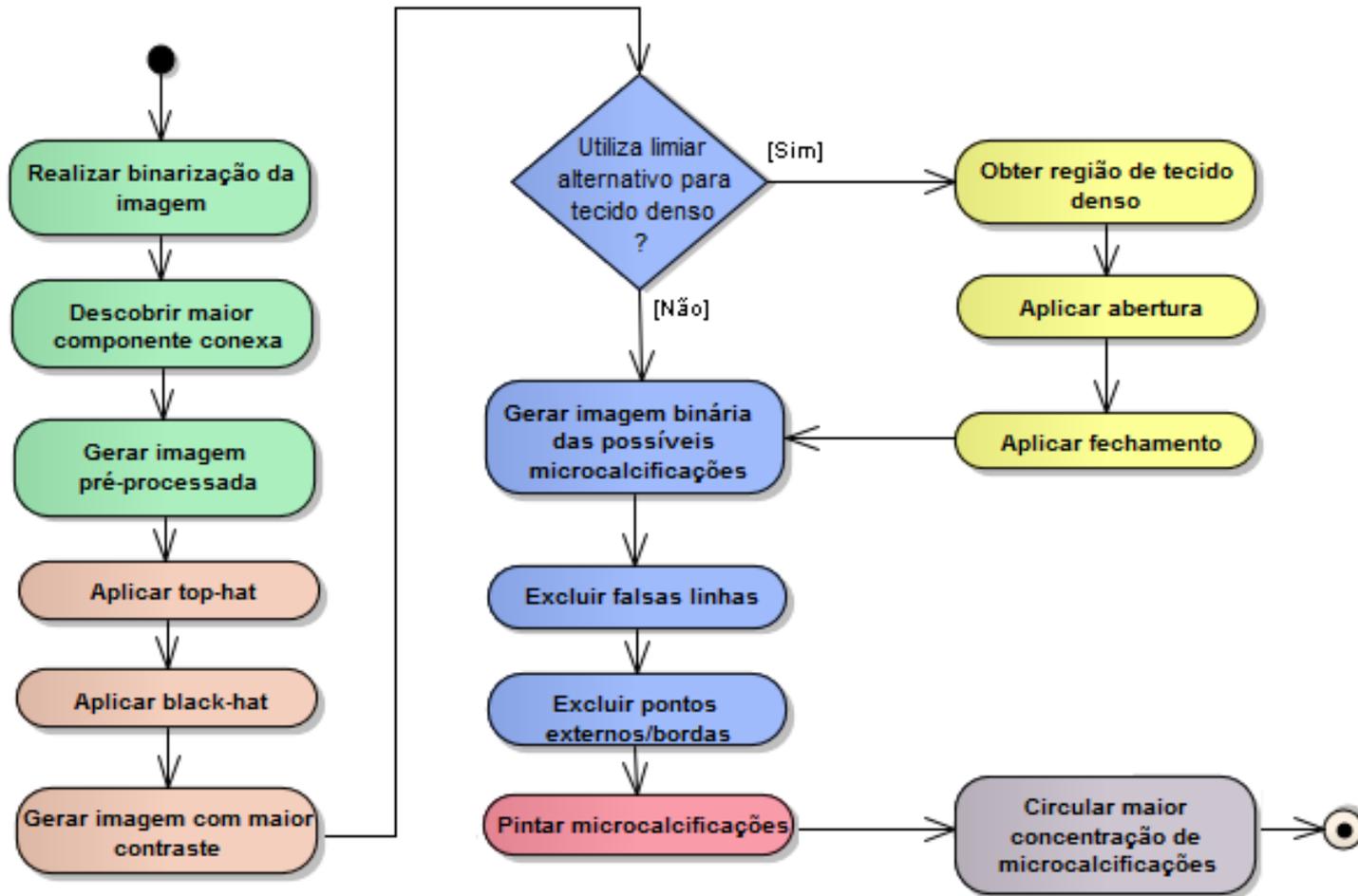
- Identificar a área de interesse a ser analisada em mamografias digitais
- Realçar possíveis microcalcificações encontradas a partir da área de interesse

Requisitos

A seguir estão enumerados os requisitos funcionais do projeto:

- Permitir que o usuário selecione uma imagem previamente existente no computador a fim de ser analisada (RF)
- Utilizar técnicas de realce e segmentação a fim de gerar uma nova imagem, a partir da original, que mostre de forma realçada possíveis microcalcificações (RF)
- Identificar na imagem a maior concentração de possíveis microcalcificações em um determinado raio cadastrado pelo usuário (RF)

Fluxo geral da ferramenta



- Etapa de pré-processamento
- Etapa de realce da imagem
- Etapa de geração de imagem binária das microcalcificações

- Etapa de segmentação dos tecidos da mama
- Etapa de realce de microcalcificações
- Etapa de demarcação da maior concentração de microcalcificações

Pré-processamento

Imagem original

```
cvLoadImage(path, CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE), name);
```

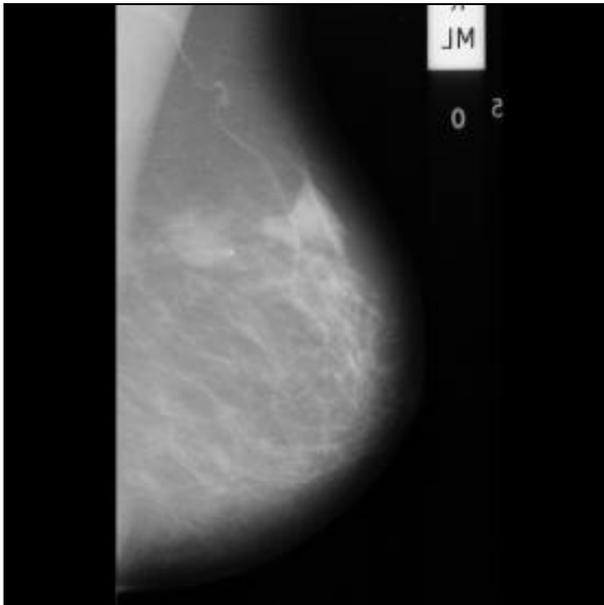
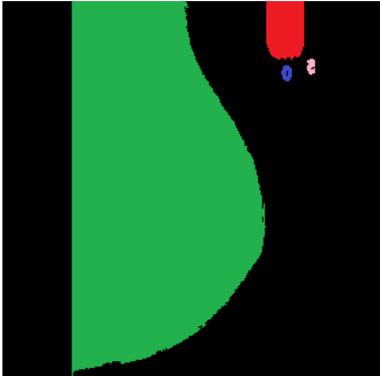


Imagem binária

```
cvThreshold(image, binaryImage, thresholdValue,  
255, CV_THRESH_BINARY);
```

Pré-processamento

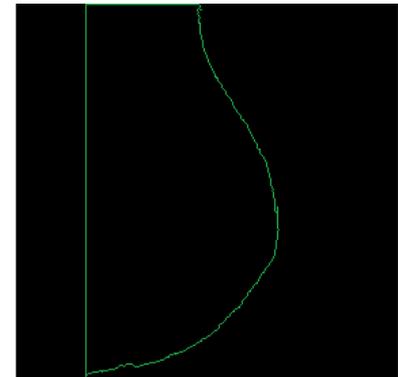


Componentes conexas

```
cvFindContours(binaryImage, mem, contours,  
Loader(sizeof(opencv_core.CvContour.class), CV_RETR_CCOMP,  
CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE, cvPoint);
```

Maior componente conexa (contorno)

```
for (ptr = contours; ptr != null; ptr =  
ptr.h_next()) {  
    if (connectedCompTemp == null) {  
        connectedCompTemp = ptr;  
    } else {  
        if (ptr.total() >  
connectedCompTemp.total()) {  
            connectedCompTemp = ptr;  
        }  
    }  
}
```



Pré-processamento

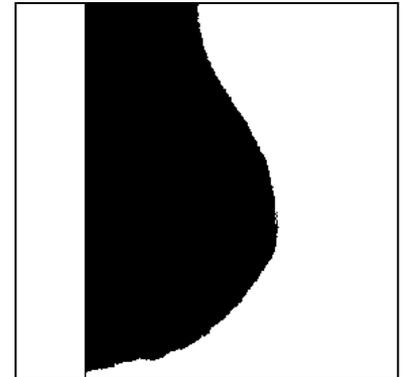
Maior componente conexa (branca)



```
CvScalar cvScalar = new opencv_core.CvScalar(255, 255, 255, 0);  
CvScalar cvScalar2 = new opencv_core.CvScalar(0, 0, 0, 0);  
cvDrawContours(largestConnectedComponentImage, connectedCompTemp,  
              cvScalar, cvScalar2, -1, -1, 0, cvPoint);
```

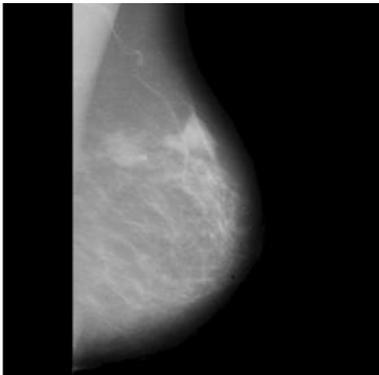
Maior componente conexa invertida

```
IplImage invertedImage = cvCloneImage(normalImage);  
cvNot(largestConnectedComponentImage,  
      invertedImage);
```



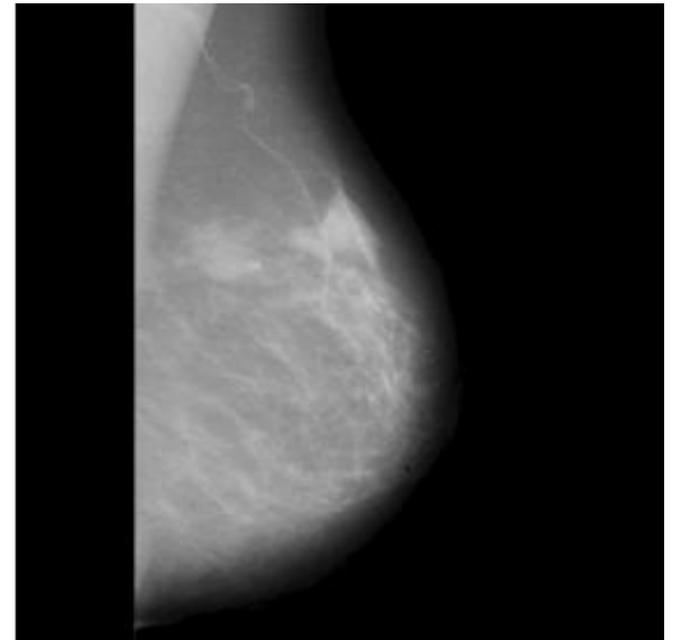
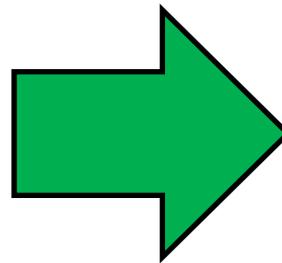
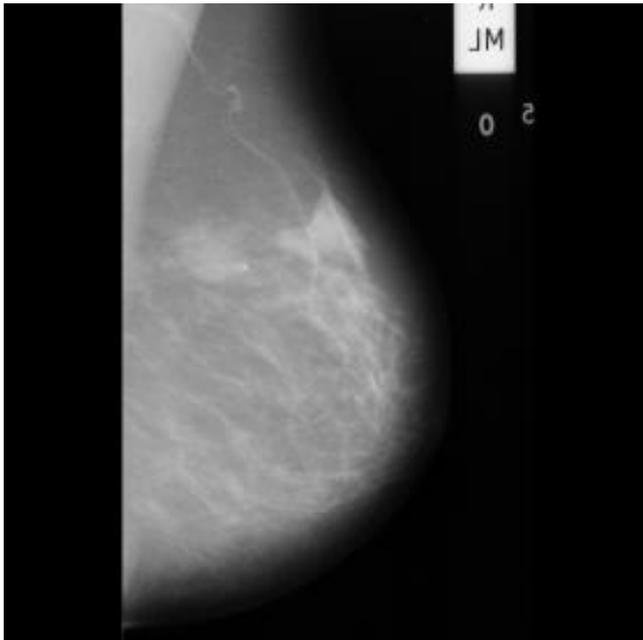
Geração da imagem final

```
IplImage preProcessedImage= cvCloneImage(normalImage);  
  
for (ptr = contours; ptr != null; ptr = ptr.h_next()) {  
    cvDrawContours(preProcessedImage, ptr, cvScalar2, cvScalar,  
                  -1, -1, 0, cvPoint);  
}
```



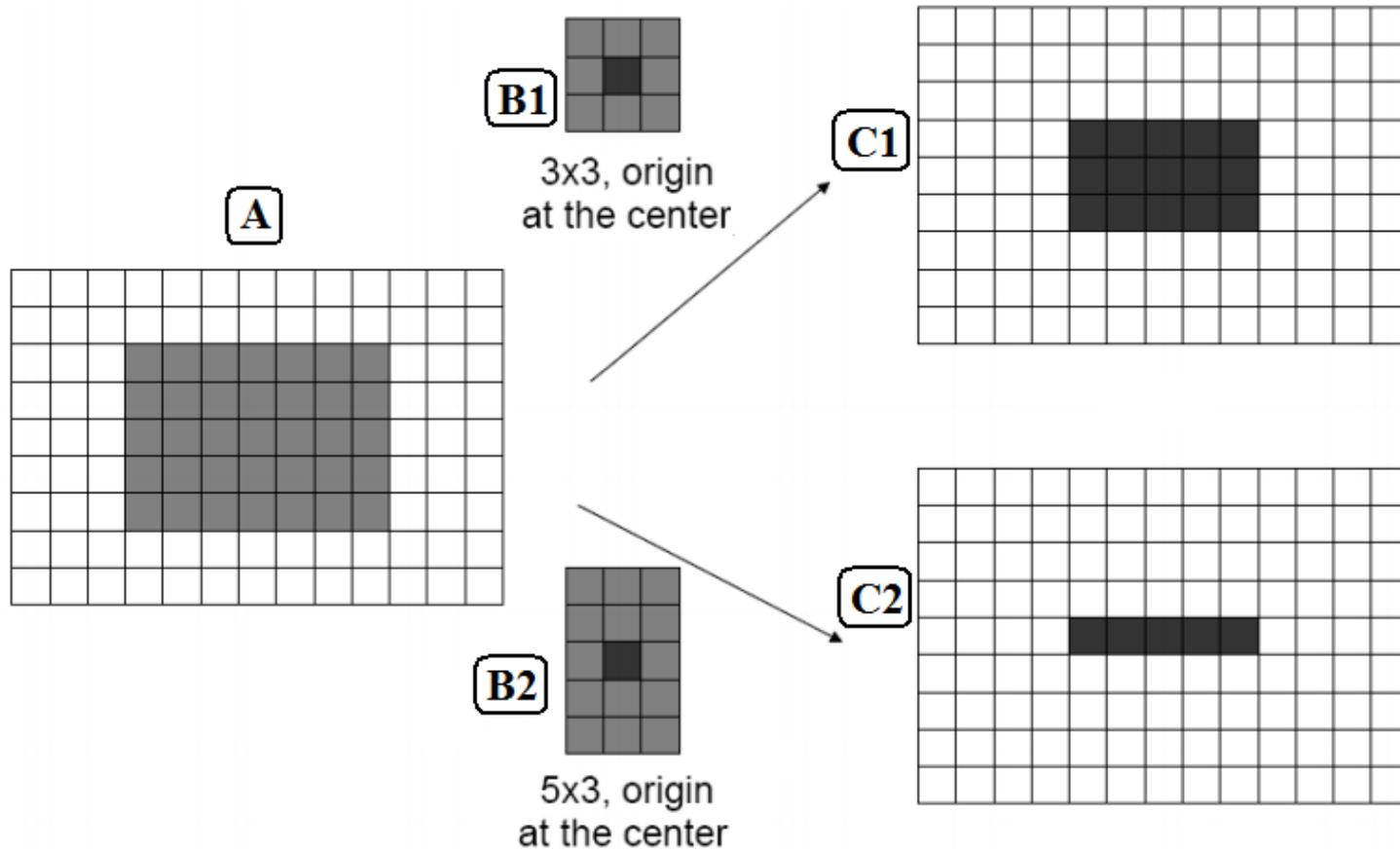
Pré-processamento

Resultado



Operadores morfológicos

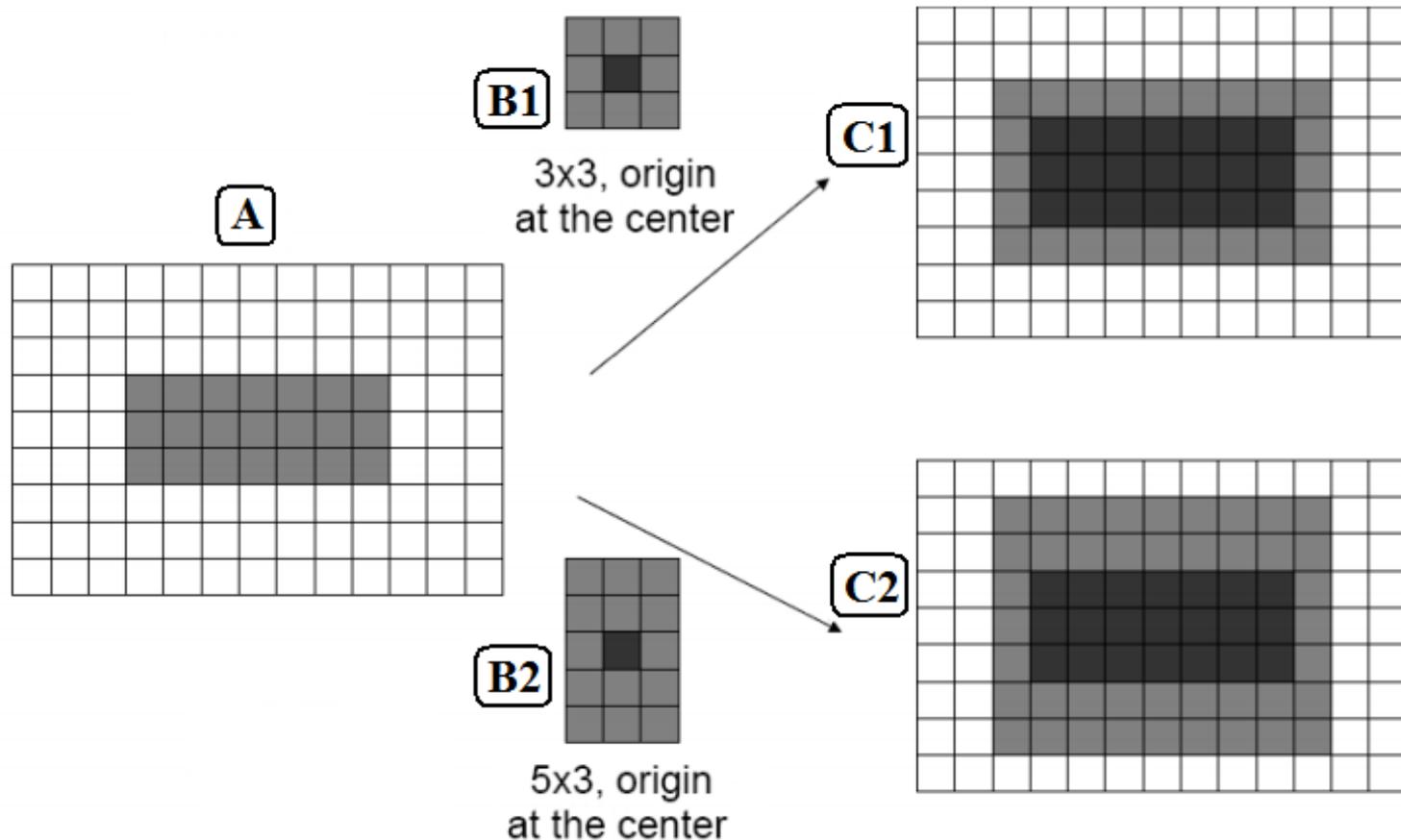
Erosão: $A \ominus B$



- Faz com que objetos encolham.

Operadores morfológicos

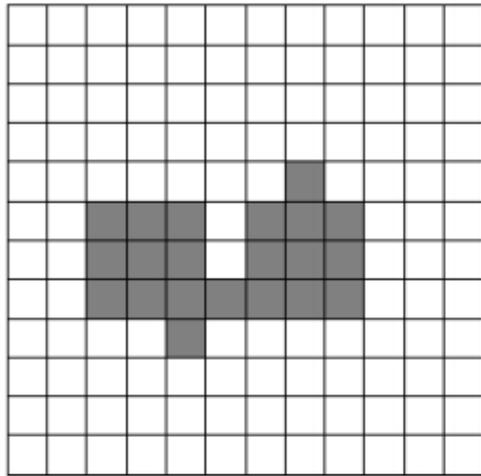
Dilatação: $A \oplus B$



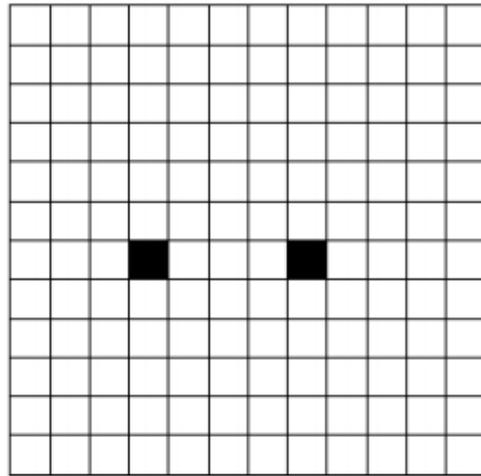
- Faz com que objetos aumentem.

Operadores morfológicos

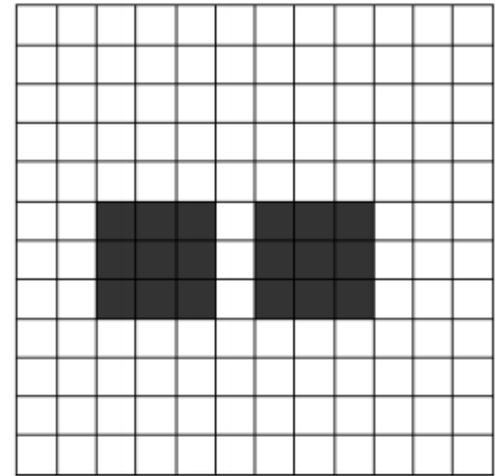
Abertura: $(A \ominus B) \oplus B$



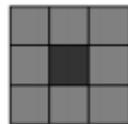
A



A ⊖ B



(A ⊖ B) ⊕ B

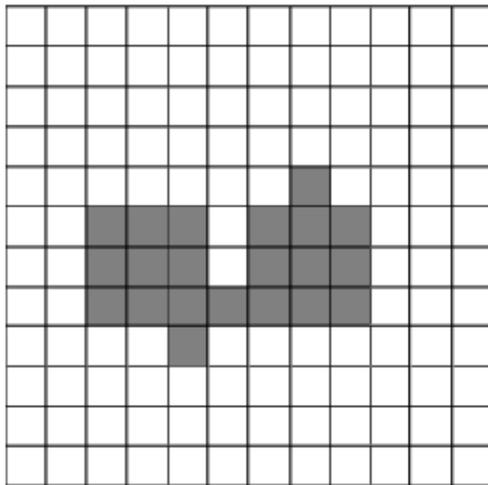


B 3x3, origin at the center

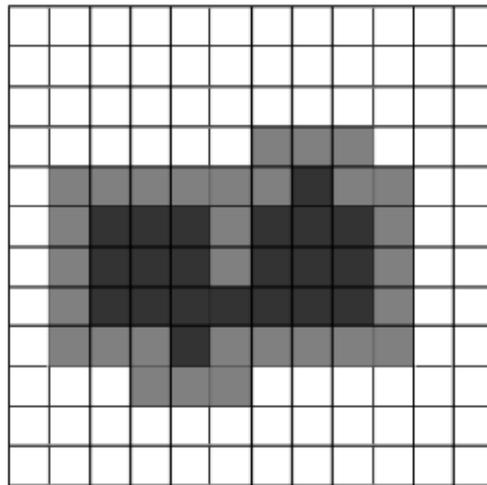
- Alisamento de contorno e quebra de istmos estreitos.

Operadores morfológicos

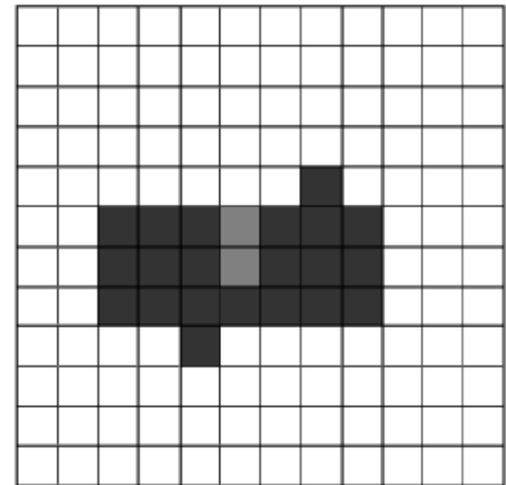
Fechamento: $(A \oplus B) \ominus B$



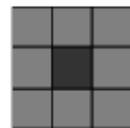
A



A ⊕ B



(A ⊕ B) ⊖ B



B 3x3, origin at the center

- Preencher pequenos buracos e lacunas no contorno da imagem.

Realce da imagem

Fórmula utilizada:

$$K = I_O + X_{TH} - Y_{BH}$$

$$X_{TH} = I_O - \gamma_B$$

$$Y_{BH} = \emptyset_B - I_O$$

Onde:

K = Imagem realçada

I_O = Imagem original

X_{TH} = Imagem *top-hat*

Y_{BH} = Imagem *black-hat*

γ_B = Abertura da imagem com EE B

\emptyset_B = Fechamento da imagem com EE B



Parte da imagem original

```
cvLoadImage(path, CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE), name);
```

Realce da imagem

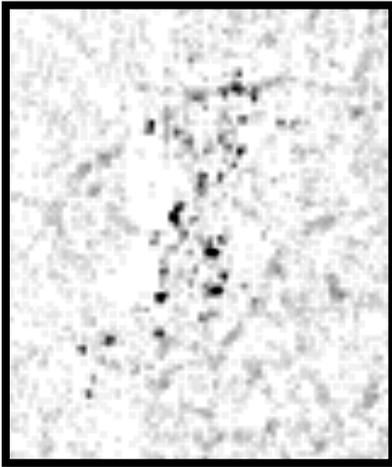
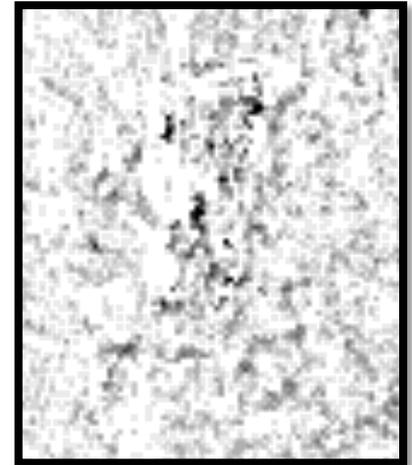


Imagem *top-hat* (invertida, com ajuste automático de cores)

```
cvMorphologyEx(preProcessedImage, outputImage, temp,  
structuringElement, MORPH_TOPHAT, 1);
```

Imagem *black-hat* (invertida, com ajuste automático de cores)

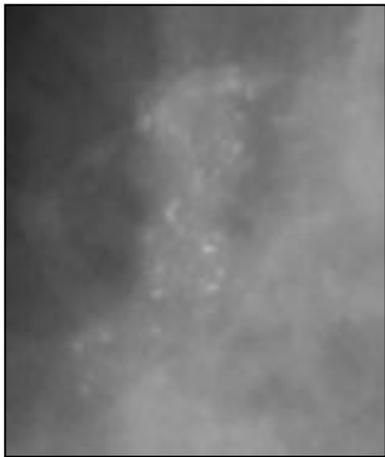
```
cvMorphologyEx(preProcessedImage, outputImage, temp,  
structuringElement, MORPH_BLACKHAT, 1);
```



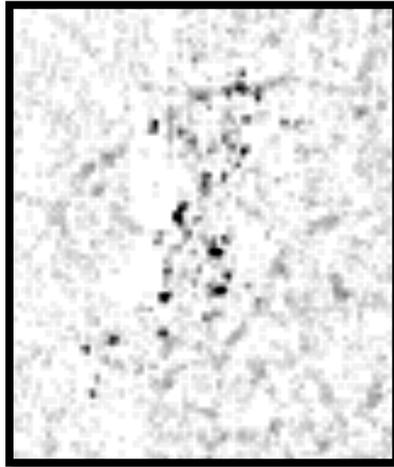
Realce da imagem

$$K = I_0 + X_{TH} - Y_{BH}$$

```
outputImage = subtract(add(preProcessedImage, topHatImage), blackHatImage);
```



+

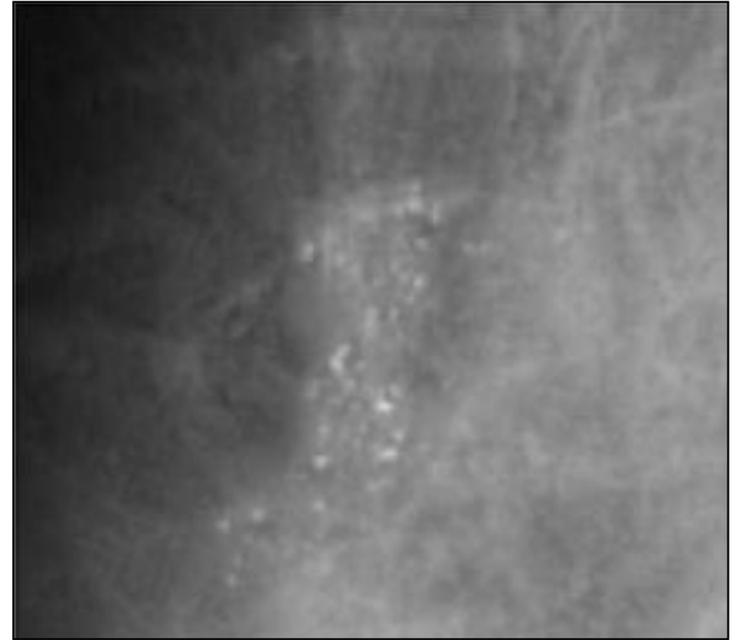
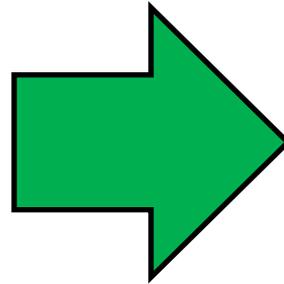
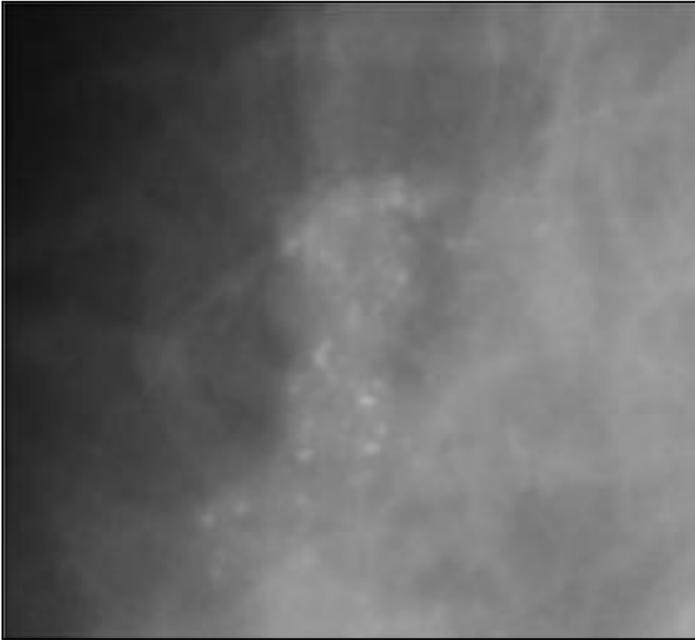


-



Realce da imagem

Resultado



Segmentação dos tecidos da mama

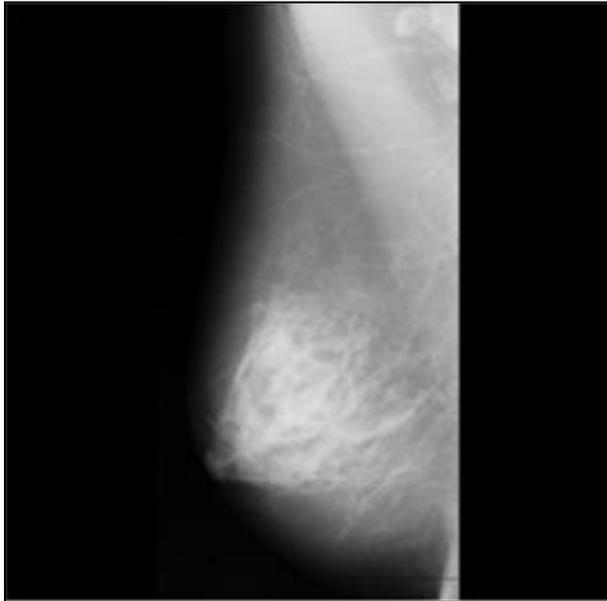


Imagem original

```
cvLoadImage(path, CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE), name);
```

Imagem segmentada

Pixels com valor:

> 0 e < 23 = Tecido adiposo

>= 23 e <170 = Tecido glandular

>=170 e <= 255 = Tecido glandular denso



■ Tecido adiposo

■ Tecido glandular

■ Tecido glandular denso

Segmentação dos tecidos da mama



Região original (tecido glandular denso)



Abertura morfológica

```
cvMorphologyEx(image, outputImage, temp,  
structuringElement, MORPH_OPEN, 1);
```



Fechamento morfológico

```
cvMorphologyEx(image, outputImage, temp,  
structuringElement, MORPH_CLOSE, 1);
```

Geração de imagem binária das microcalcificações

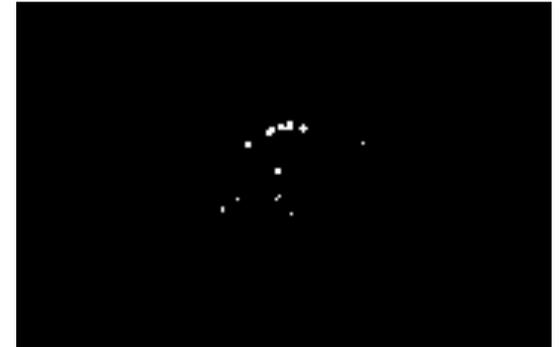


Imagem original

```
cvLoadImage (path, CV_LOAD_IMAGE_GRAYSCALE), name);
```

Imagem binária

```
microcalcificationImage =  
    ih.threshold (mm.subtractResult (preProcessedImage,  
    enhancedImage), ValuesUtil.microcalcificationThreshold)  
  
public IplImage subtractResult (IplImage preProcessedImage,  
    IplImage enhancedImage) {  
    ...  
    outputImage = subtract (enhancedImage,  
    dilation (preProcessedImage));  
    ...  
}
```



Geração de imagem binária das microcalcificações



Imagem realçada com
microcalcificação em tecido
glandular denso

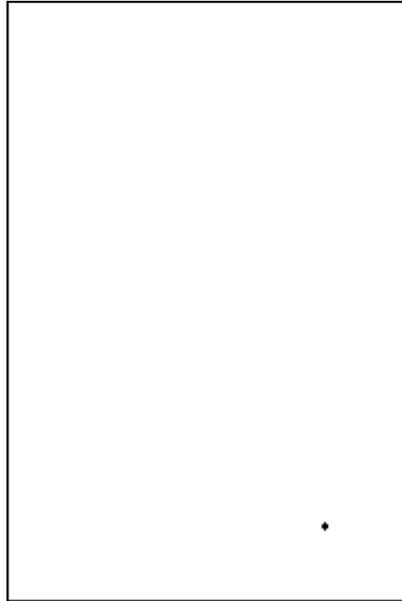


imagem sem limiar
alternativo para tecido
glandular denso

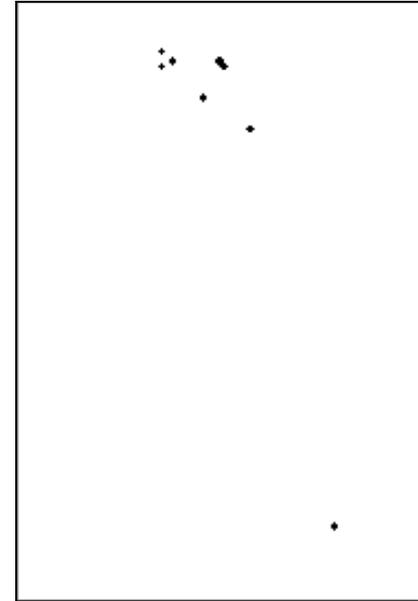


imagem sem limiar
alternativo para tecido
glandular denso

Geração de imagem binária das microcalcificações

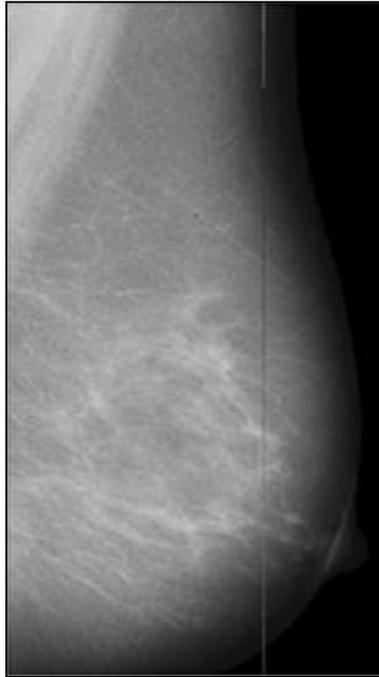


Imagem realçada com defeito
(linha vertical)

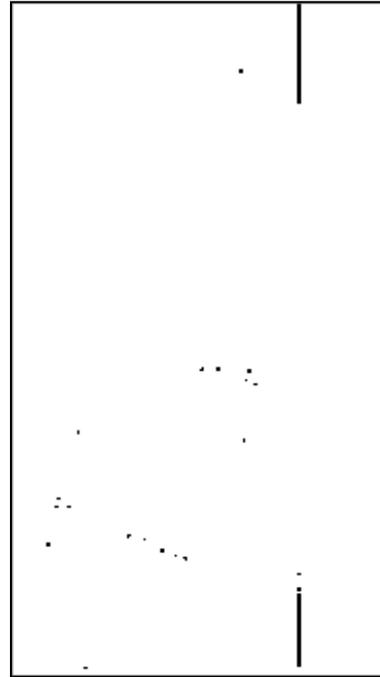


Imagem binária sem
tratamento

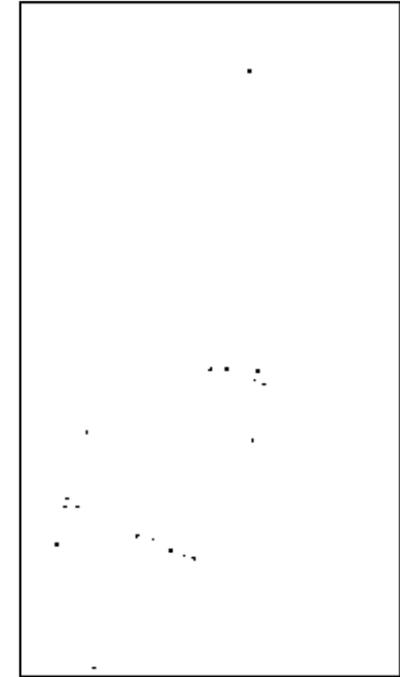
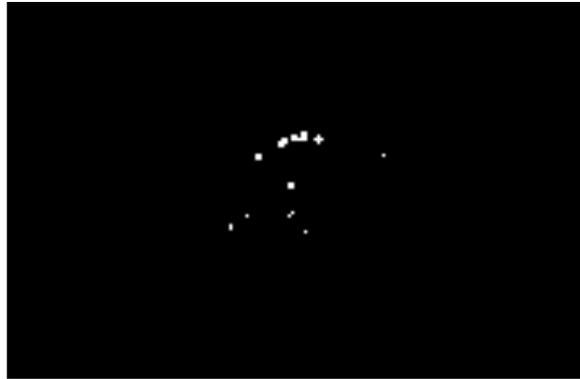


Imagem binária com
tratamento

Realce de microcalcificações

Imagem binária de microcalcificações



```
IplImage outputImage = IplImage.create(normalImage.width(),
    normalImage.height(), IPL_DEPTH_8U, 3);
...
if (microcalcificationValue == 255) {
    outputIndex = y * outputImage.widthStep() + x *
        outputImage.nChannels();
    outputBuffer = paintPoint(outputIndex, outputBuffer);
    outputBuffer = paintNeighbors(x, y, outputBuffer, outputImage);
}
```

Realce de microcalcificações

Imagem original

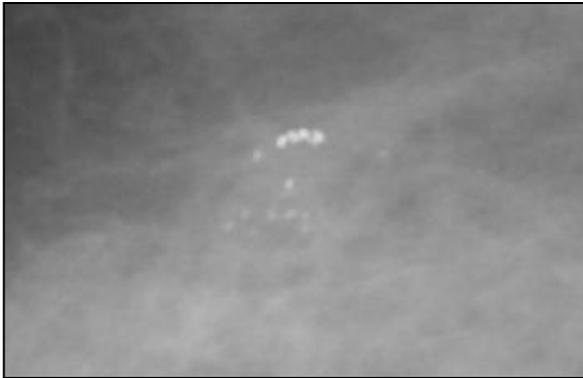


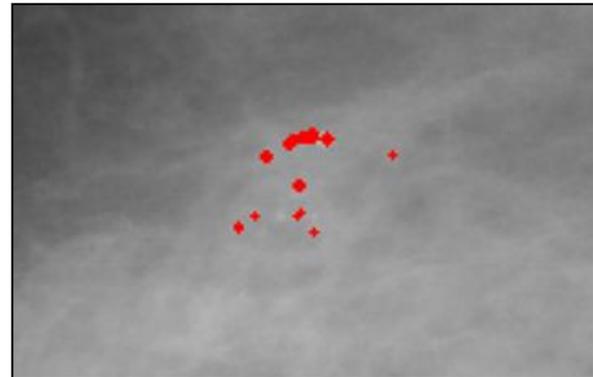
Imagem realçada



**Imagem binária de
microcalcificações**



**Imagem com microcalcificações
realçadas**



Demarcação da maior concentração de microcalcificações

Fórmula para cálculo da distância euclidiana entre dois pontos

$$P = (p_x, p_y)$$

$$Q = (q_x, q_y)$$

$$\sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}$$

Implementação do cálculo da distância euclidiana

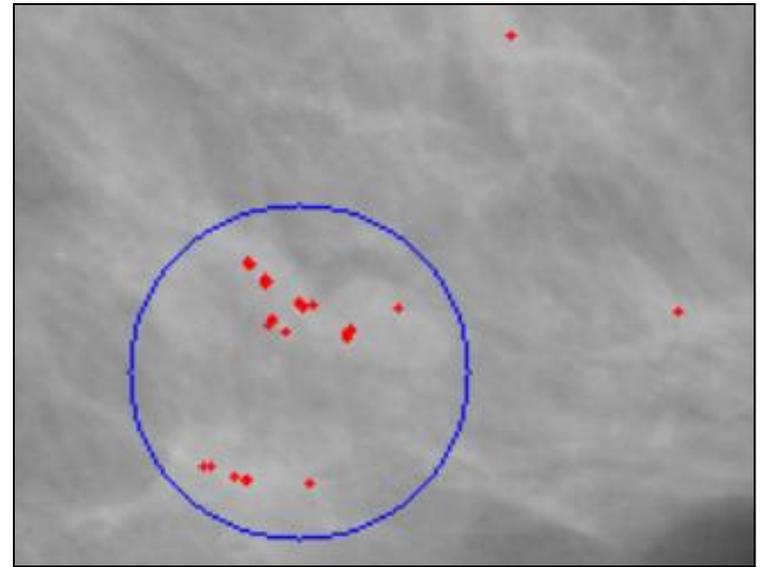
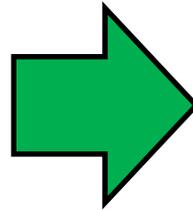
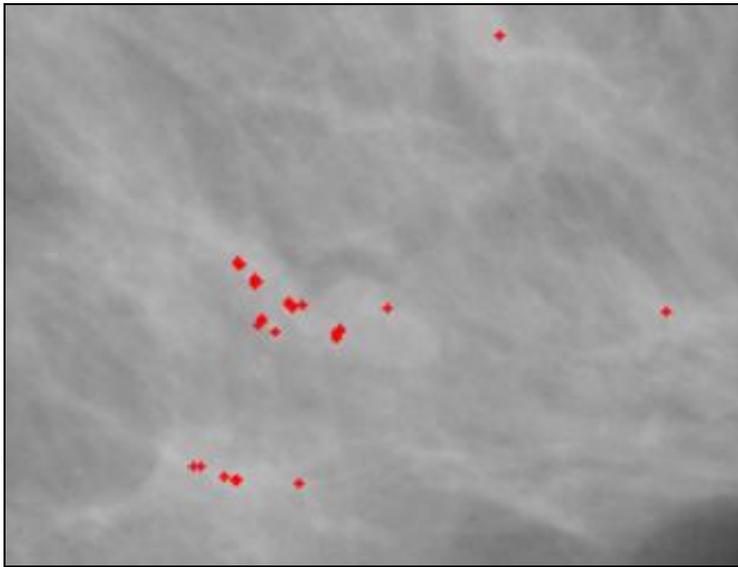
```
distance = Math.sqrt(Math.pow((x1 - x2), 2) + Math.pow((y1 - y2), 2));
```

Código responsável por circular a maior concentração de microcalcificações

```
cvCircle(outputImage, centralPoint, ValuesUtil.radiusDistance,  
CV_RGB(ValuesUtil.circleColor.getRed(), ValuesUtil.circleColor.getGreen(),  
ValuesUtil.circleColor.getBlue()), 1, 8, 0);
```

Demarcação da maior concentração de microcalcificações

Resultado

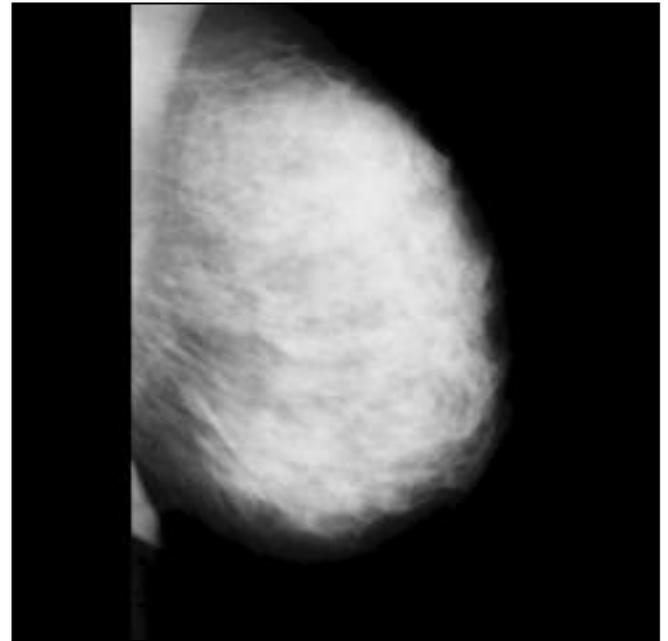
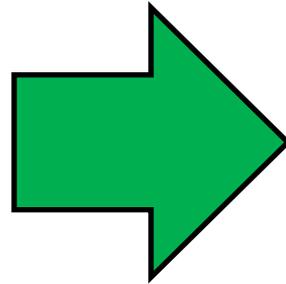
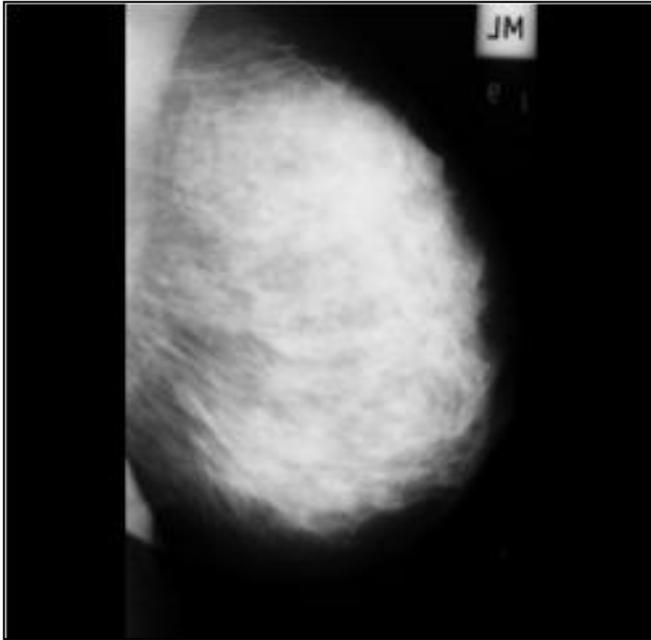


Testes

- Testes efetuados utilizando a biblioteca MIAS *MiniMammographic Database*, onde foram escolhidos os casos em que existiam microcalcificações, totalizando 22 imagens.
- *Valores de limiar para pré-processamento e identificação de microcalcificações foram escolhidos conforme melhor desempenho apresentado durante os testes.*

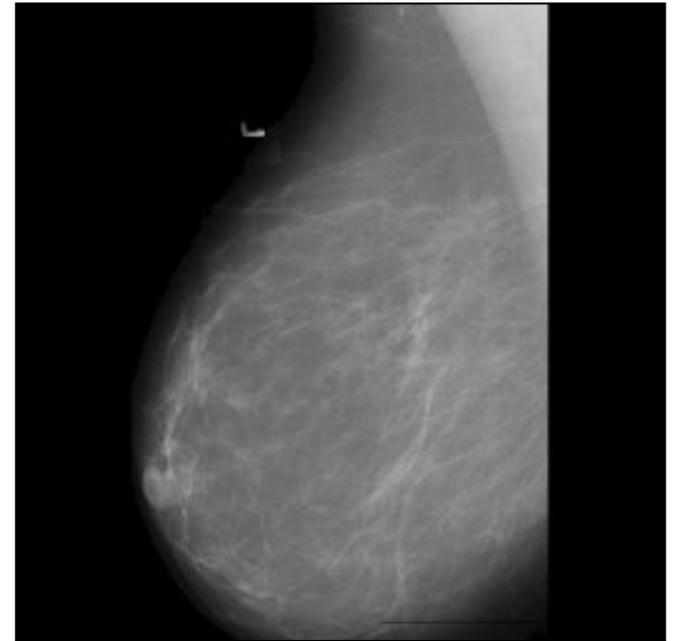
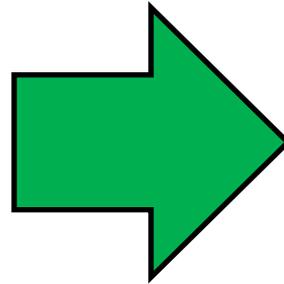
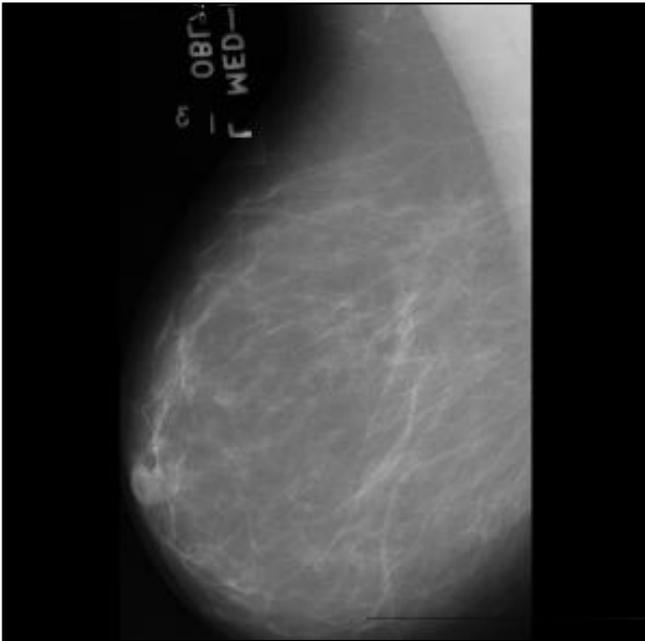
Experimento pré-processamento

Resultado positivo



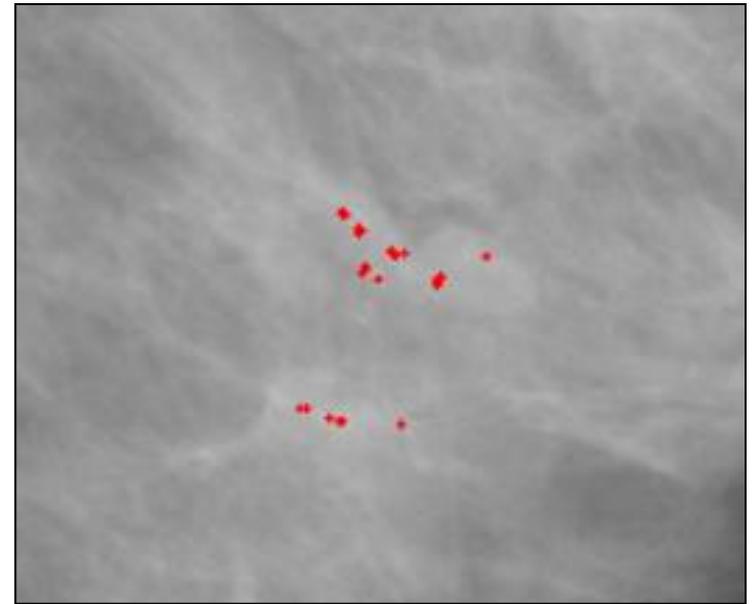
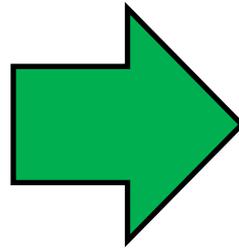
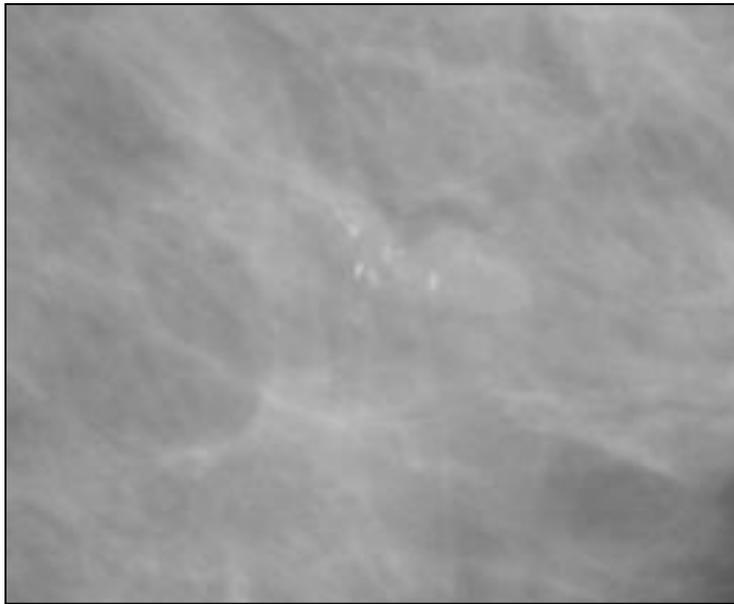
Experimento pré-processamento

Resultado negativo



Experimento realce de microcalcificação

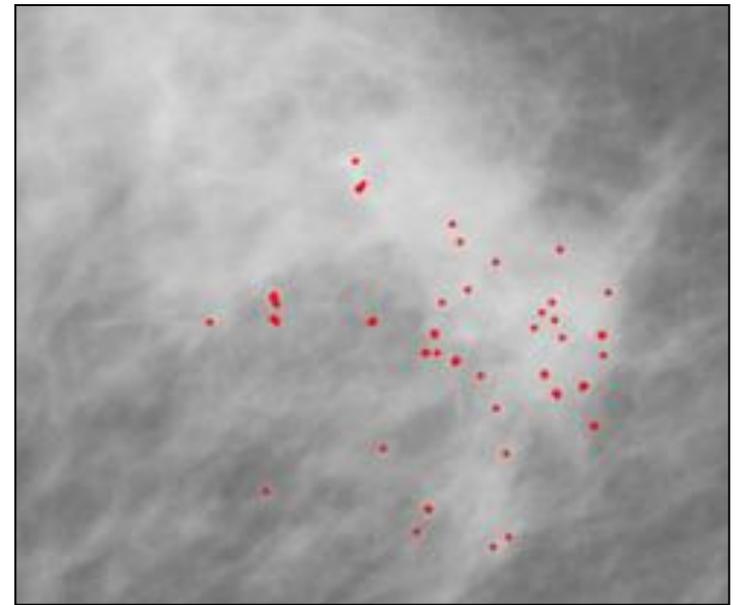
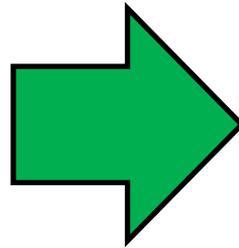
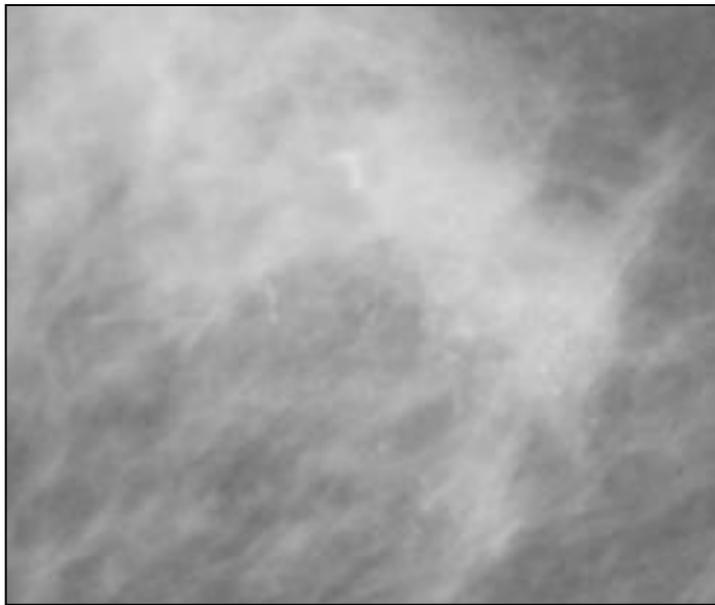
Resultado positivo



Tecido glandular

Experimento realce de microcalcificação

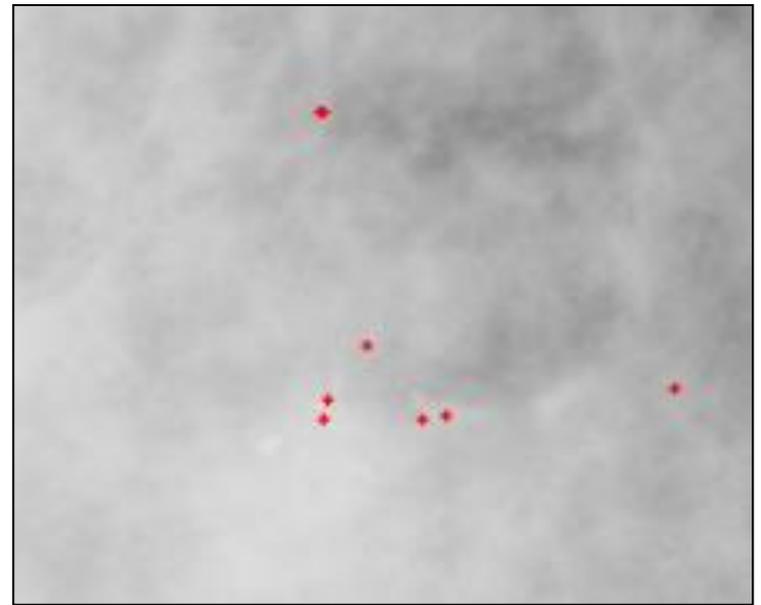
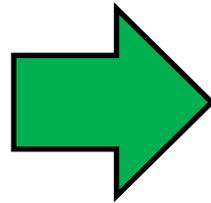
Resultado positivo



Tecido glandular e tecido glandular denso

Experimento realce de microcalcificação

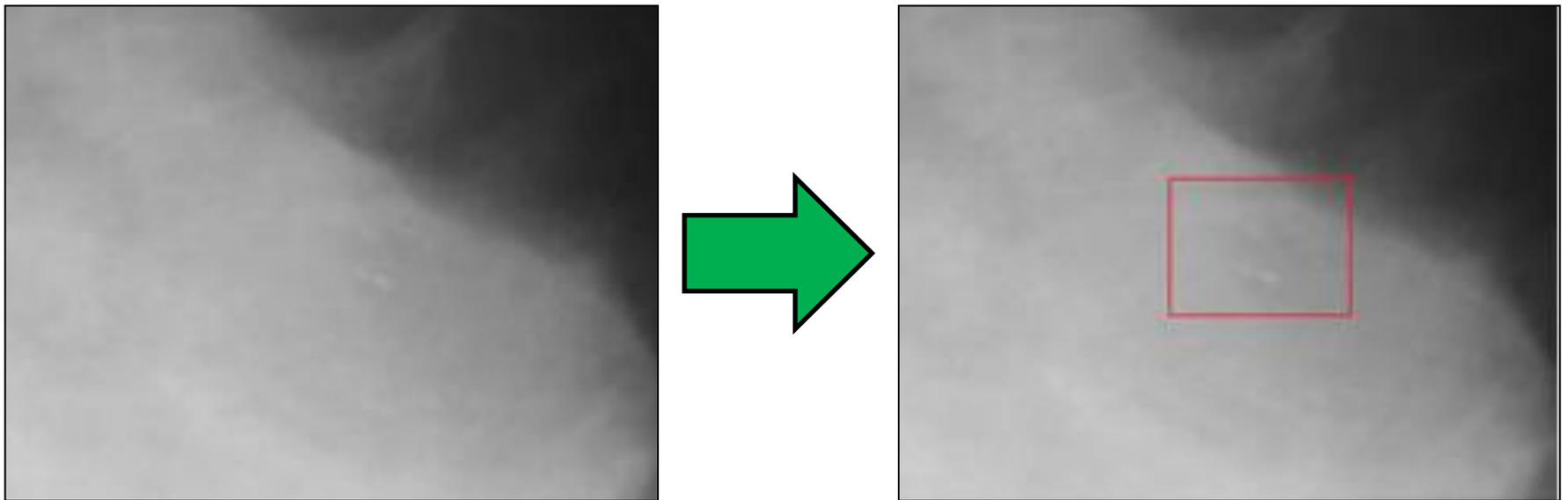
Resultado positivo



Tecido glandular denso

Experimento realce de microcalcificação

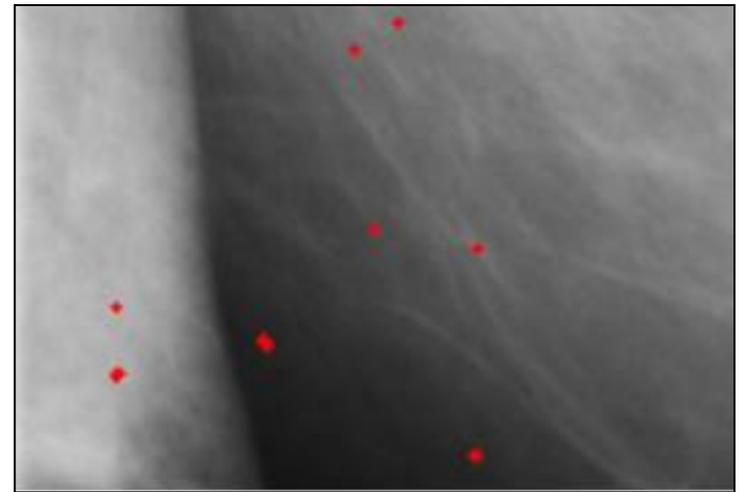
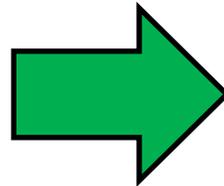
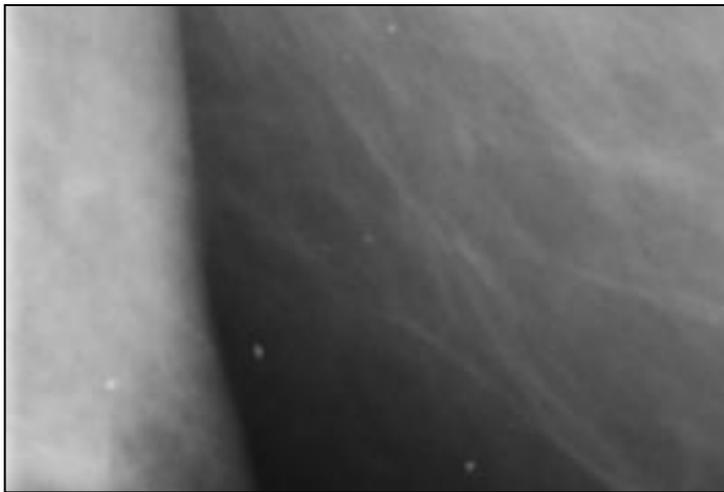
Resultado negativo



Tecido glandular denso

Experimento realce de microcalcificação

Sujeiras ou microcalcificações em outras áreas



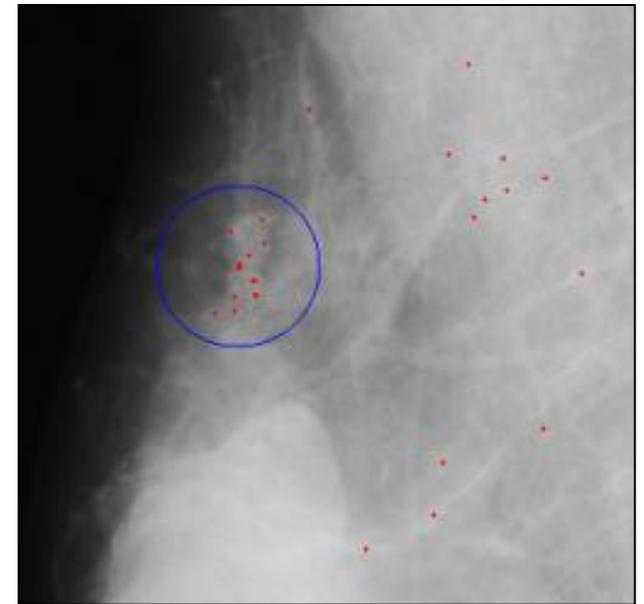
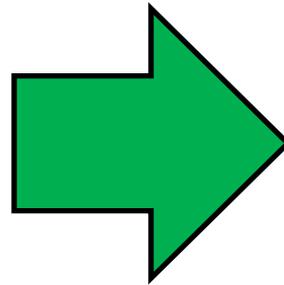
Quantidade de imagens	Imagens realçadas corretamente pela ferramenta	Percentual de imagens realçadas corretamente
22	21	95,45%

Experimento de maior concentração de microcalcificação

Resultado positivo



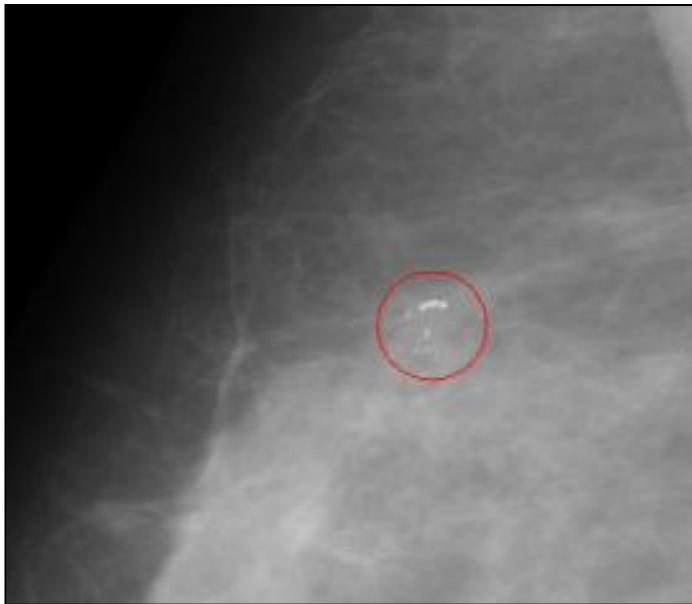
Classificação biblioteca



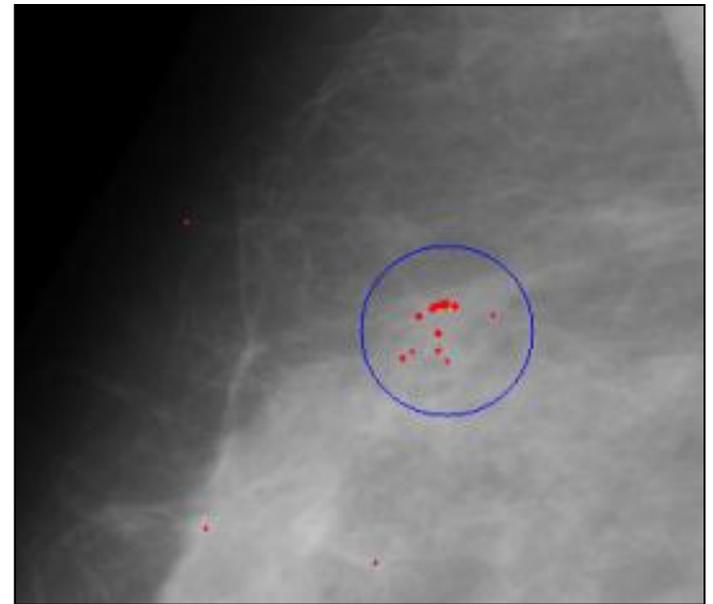
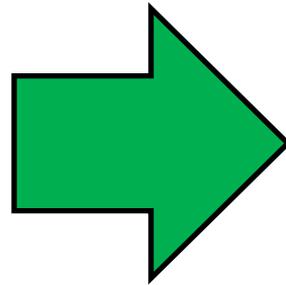
Classificação ferramenta

Experimento de maior concentração de microcalcificação

Resultado positivo



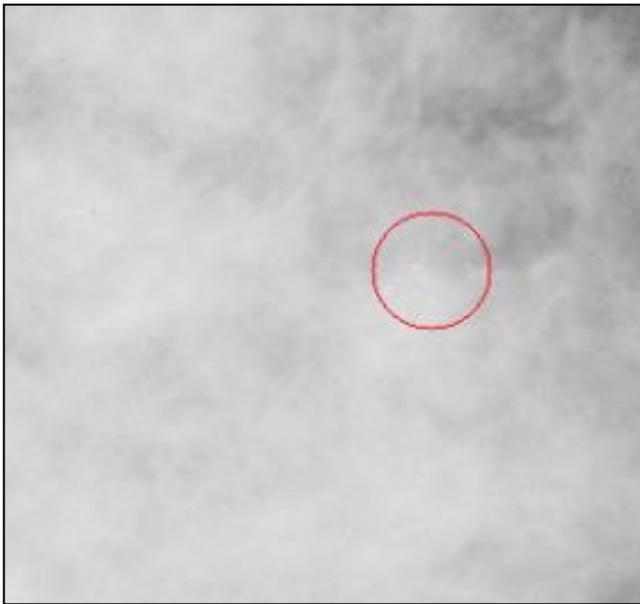
Classificação biblioteca



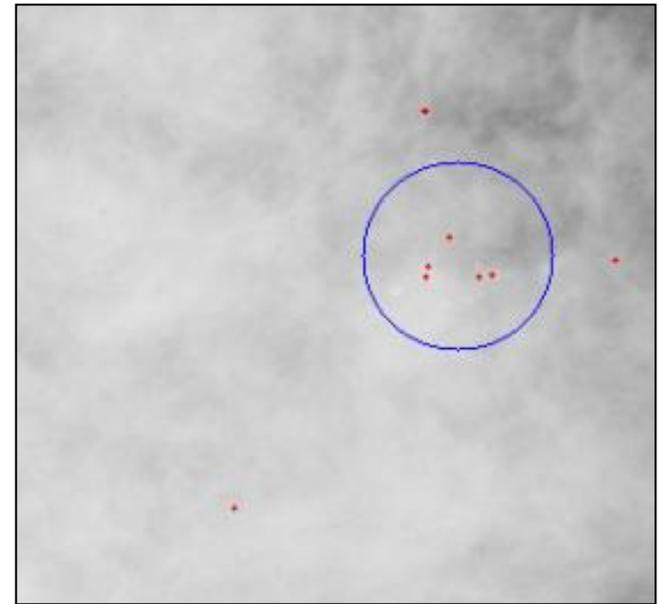
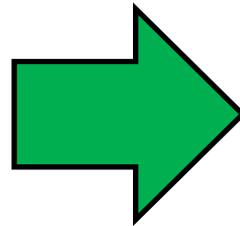
Classificação ferramenta

Experimento de maior concentração de microcalcificação

Resultado positivo



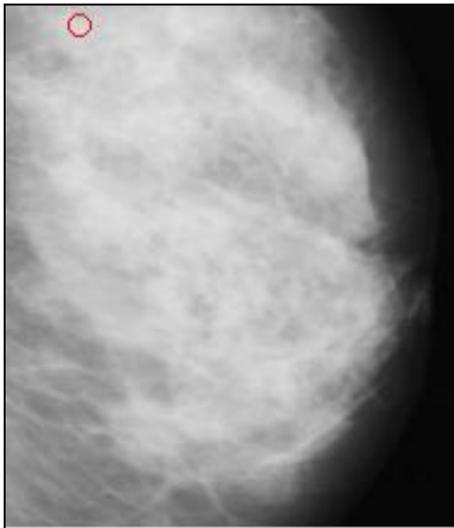
Classificação biblioteca



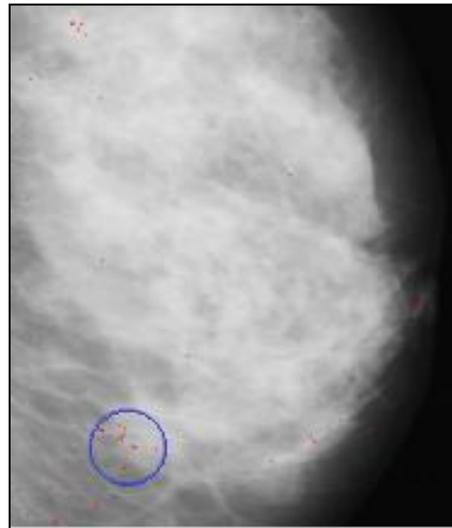
Classificação ferramenta

Experimento de maior concentração de microcalcificação

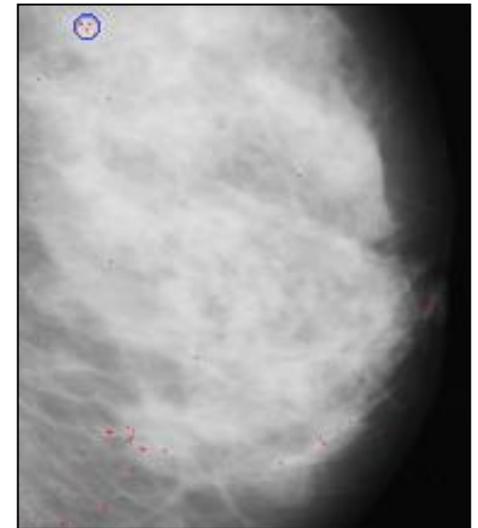
Resultado negativo



Classificação biblioteca



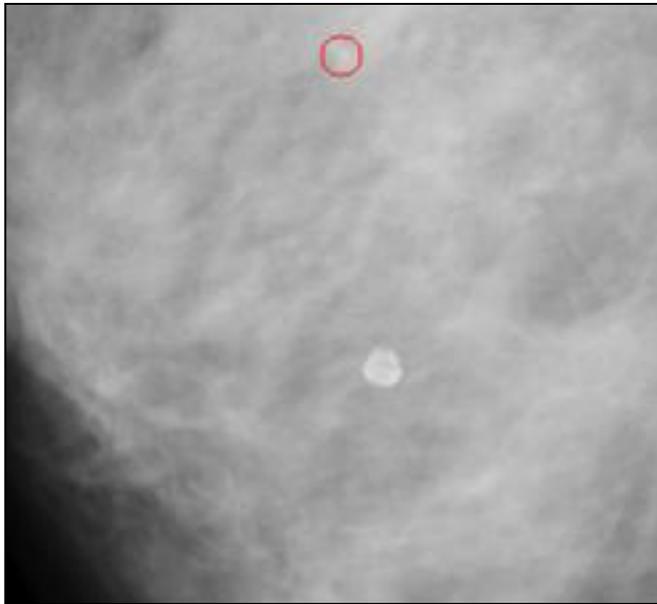
Classificação ferramenta
(raio 45)



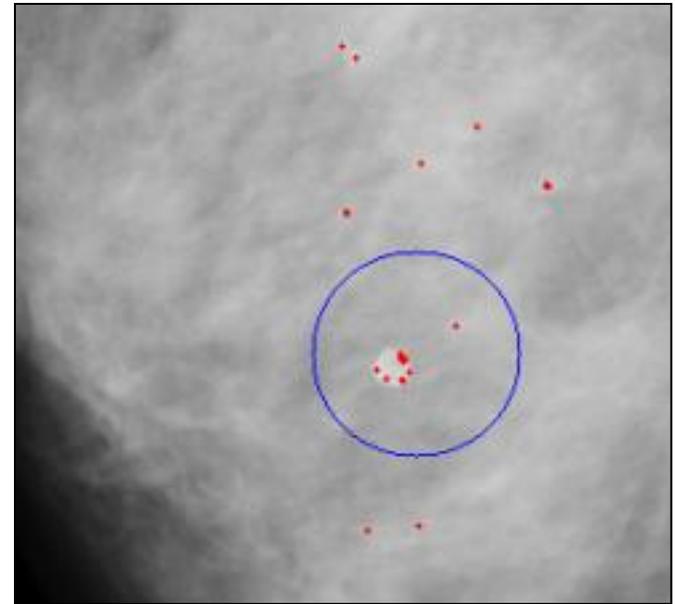
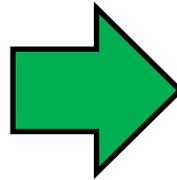
Classificação ferramenta
(raio 14)

Experimento de maior concentração de microcalcificação

Resultado negativo



Classificação biblioteca



Classificação ferramenta

Resultado final

Utilizando o raio padrão (45 pixels)

Quantidade de imagens	Imagens realçadas corretamente pela ferramenta	Percentual de imagens realçadas corretamente
22	16	72,72%

Utilizando raio idêntico utilizado pelos especialistas (biblioteca)

Quantidade de imagens	Imagens realçadas corretamente pela ferramenta	Percentual de imagens realçadas corretamente
22	18	81,81%

Tabela comparativa dos trabalhos

características / trabalhos relacionados	Mascaro (2007)	Pereira (2009)	Henrique Neto, Ribeiro, Valeri (2004)	Jackson Krause (2013)
Utilização de redes neurais	Sim	-	-	-
Pré-processamento (separação entre filme e mama)	Sim	Sim	-	Sim
Ambiente de programação (software)	MatLab	MatLab 6.1	C++ Builder 5.0	IDE Netbeans 7.2.1 (Java)
Utilização de informações multivisão (CC e MLO)	-	Sim	-	-
Algoritmos utilizados no processamento	Histograma da soma, LBP, GLCM, SOM e K-Médias	Wavelet Coiflet, algoritmo genético	Limiarização, contraste, negativo e region growing	limiarização, top-hat, black-hat, negativo, componentes conexas
Origem das amostras testadas	Mini MIAS - MiniMammographic Database	DDSM (Digital Database for Screening Mammography)	Scanner	Mini MIAS - MiniMammographic Database

Conclusões

- A rotina de pré-processamento mostrou-se muito eficiente, falhando em apenas um caso, onde a informação estava sobreposta à área da mama.
- O realce de microcalcificações também mostrou-se eficiente, onde cerca de 95% das imagens tiveram as microcalcificações realçadas com sucesso.
- O módulo responsável por circular a maior concentração de microcalcificações obteve 81,81% de acerto em relação ao que a biblioteca MIAS aponta como maior concentração de microcalcificações.

Limitações

- Os resultados demonstram que a ferramenta desenvolvida é eficiente para encontrar aglomerados de microcalcificações, porém necessita de alguns ajustes para diminuição de falsas microcalcificações eventualmente realçadas.

Extensões

- Melhoria na técnica de segmentação dos tecidos, utilizando técnicas de inteligência artificial, como por exemplo, *Support Vector Machines (SVM)* ou uma Rede Neural Perceptron Multicamadas
- Exclusão do tecido muscular da paciente ao realizar o realce de microcalcificações
- Melhoria na técnica de realce de microcalcificações, a fim de apresentar um menor número de falsas ocorrências

Extensões

- Adaptação da ferramenta, se necessário, para utilização de imagens provenientes de aparelhos digitais, não digitalizadas. A qualidade deste tipo de imagem é bem superior à utilizada
- Ao utilizar uma imagem com melhor resolução, pode-se desenvolver métodos para classificação das lesões através do método *Breast Image Reporting and Data System* (BI-RADS).

Demonstração

Obrigado!